



Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu

Ministerie van Volksgezondheid,
Welzijn en Sport

Vijftien jaar incidentanalyse

Oorzaken, gevolgen en andere
kenmerken van incidenten
met gevaarlijke stoffen bij
majeure risicobedrijven in
de periode 2004-2018





Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu
*Ministerie van Volksgezondheid,
Welzijn en Sport*

Vijftien jaar incidentanalyse

Oorzaken, gevolgen en andere kenmerken van incidenten
met gevaarlijke stoffen bij majeure risicobedrijven in
de periode 2004-2018

RIVM Rapport 2019-0042

Colofon

© RIVM 2019

Delen uit deze publicatie mogen worden overgenomen op voorwaarde van bronvermelding: Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), de titel van de publicatie en het jaar van uitgave.

DOI 10.21945/RIVM-2019-0042

E.S. Kooi (auteur), RIVM
H.J. Manuel (auteur), RIVM
M. Mud (auteur), RPS

Contact:
Eelke Kooi
Milieu en Veiligheid\Centrum Veiligheid
eelke.kooi@rivm.nl

Dit onderzoek werd verricht in opdracht van het ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid, in het kader van Z/110021/19/MH - Analyse MHC-ongevallen met Storybuilder

Dit is een uitgave van:
**Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu**
Postbus 1 | 3720 BA Bilthoven
Nederland
www.rivm.nl



Incidenten

Bij 28% van de incidenten ontstond een brand of explosie. Bij 71% van de incidenten kwamen gevaarlijke stoffen vrij zonder brand of explosie. Bij drie incidenten (1%) werd een tank met gevaarlijke stoffen betreden.

Omstandigheden

Incidenten ontstonden voornamelijk tijdens normaal bedrijf (60%) en onderhoud (20%). Tijdens onderhoud vielen verhoudingsgewijs meer slachtoffers. Slachtoffers liepen meestal brandwonden op of ademden giftige stoffen in.

Betrokken onderdelen

De meeste incidenten traden op in onderdelen van procesinstallaties, zoals procesleidingen, reactorvaten en productscheiders. Onderdelen voor opslag, transport en verlading waren minder vaak betrokken.

Directe oorzaken

De meest voorkomende directe oorzaken zijn fouten bij menselijke handelingen en materiaalverzwakking. Samen waren deze twee directe oorzaken verantwoordelijk voor 56% van alle incidenten.

Preventie

Incidenten ontstaan vooral doordat in de reguliere procesvoering afwijkingen ontstaan die niet worden opgemerkt. De veiligheid kan worden verbeterd met extra maatregelen om afwijkingen tijdig in beeld te brengen en te herstellen.

Publiekssamenvatting

Vijftien jaar incidentanalyse

Oorzaken, gevolgen en andere kenmerken van incidenten met gevaarlijke stoffen in de periode 2004-2018

Het RIVM heeft 326 incidenten met gevaarlijke stoffen geanalyseerd die tussen 2004 en 2018 plaatsvonden bij grote chemische bedrijven. Bij deze incidenten was de veiligheid van werknemers in het geding. In totaal vielen er 215 slachtoffers, onder wie vijf doden. De aard, omvang en oorzaken van de incidenten zijn in de onderzochte periode gelijk gebleven. Het jaarlijkse aantal incidenten met relatief ernstige gevolgen is in de periode ook niet wezenlijk veranderd.

Bij 90 procent van de incidenten kwamen gevaarlijke stoffen vrij. Bij 28 procent ontstond een brand of explosie. Drie keer (1 procent) gingen werknemers een installatie met gevaarlijke stoffen binnen. Incidenten ontstonden vooral tijdens de normale werkzaamheden (60 procent) of tijdens het onderhoud (20 procent). Slachtoffers ademden giftige of schadelijke stoffen in of kregen brandwonden door chemische reacties of hitte. Bij de incidenten tijdens het onderhoud vielen verhoudingsgewijs meer slachtoffers.

Chemische bedrijven zijn ervoor verantwoordelijk dat installaties op orde zijn en de productieprocessen en -werkzaamheden veilig worden uitgevoerd. De incidenten ontstonden doordat in de reguliere procesvoering dingen mis gingen. De afwijkingen die daar het gevolg van waren, zijn niet op tijd opgemerkt. De veiligheid kan onder meer worden verbeterd door geschikte maatregelen in te voeren om deze afwijkingen op tijd in beeld te krijgen en te herstellen. Dit verkleint onder andere de kans dat incidenten ontstaan door ongewenste menselijke handelingen of door materiaalverzwakking.

Voor deze analyse zijn incidentonderzoeken van de Inspectie SZW gebruikt. In opdracht van het ministerie van SZW gaat het RIVM na wat de overeenkomsten en verschillen tussen de onderzochte incidenten zijn. Inspectiediensten kunnen de analyse gebruiken voor hun inspectie- en handhavingsstrategieën. Bedrijven kunnen de inzichten gebruiken om de veiligheid te verbeteren.

Kernwoorden: veiligheid, gevaarlijke stoffen, incidenten, Staat van de Veiligheid, Brzo, incidentanalyse, leren van ongevallen, Storybuilder

Synopsis

Fifteen years of incident analysis

Causes, consequences, and other characteristics of incidents with hazardous substances during the 2004-2018 period

RIVM has analysed 326 incidents involving hazardous substances that took place at large chemical companies between 2004 and 2018. These incidents posed a threat to the safety of workers. A total of 215 persons were injured, including five fatalities. The nature, scale, and causes of the incidents remained the same during the period analysed. The number of incidents per year with relatively serious consequences also did not change significantly during the same period.

Hazardous substances were released in 90% of the incidents. A fire or explosion occurred in 28%. In three incidents (1%), workers entered an installation containing hazardous substances. Most of the incidents took place during normal work activities (60%) or during maintenance (20%). Victims inhaled toxic or hazardous substances or suffered burn wounds caused by chemical reactions or heat. The incidents that took place during maintenance resulted in a relatively larger number of victims.

Chemical companies are responsible for ensuring that their installations are in order and that their production processes and activities are carried out safely. The incidents took place because things went wrong during the regular operational processes. The resulting deviations were not noticed in time. One of the ways to improve safety is to implement suitable measures to timely identify and correct these deviations. This would, for example, reduce the risk of incidents occurring as a result of unwanted human actions or material degradation.

Incident investigations carried out by the SZW (Ministry of Social Affairs and Employment) Inspectorate were used for the analysis at hand. RIVM is commissioned by the Ministry of Social Affairs and Employment to analyse the similarities and differences between the investigated incidents. Inspection services can use this analysis for their inspection and enforcement strategies. Companies can use the insights to improve safety.

Keywords: safety, hazardous substances, incidents, Brzo (Major Accidents (Risks) Decree), incident analysis, learning from accidents, Storybuilder

Inhoudsopgave

Samenvatting — 13

1 Inleiding — 17

2 Belangrijkste kenmerken van de incidenten — 21

- 2.1 Inleiding — 21
- 2.2 Aantal incidenten — 21
- 2.3 Aard van het incident — 23
 - 2.3.1 Type incident: direct effect — 23
 - 2.3.2 Ontwikkeling van het incident — 24
 - 2.3.3 Direct effect en vervolgeffect samengenomen — 25
- 2.4 Slachtoffers — 25
 - 2.4.1 Ernst van het letsel — 25
 - 2.4.2 Type letsel — 26
 - 2.4.3 Overige gevolgen — 27
 - 2.4.4 Oorzaak van het letsel — 27
 - 2.4.5 Kenmerken van de slachtoffers — 28
- 2.5 De bedrijven en activiteiten — 28
 - 2.5.1 Wettelijk regime — 28
 - 2.5.2 Type bedrijf — 28
 - 2.5.3 Grootte van de vestigingslocatie — 29
 - 2.5.4 Processtadium en activiteit voorafgaand aan het ongeval — 30
- 2.6 De directe oorzaken — 30
- 2.7 Stoffen en hoeveelheden — 32
 - 2.7.1 Betrokken stoffen en producten — 32
 - 2.7.2 Gevarencategorieën — 32
 - 2.7.3 Betrokken hoeveelheden — 34
- 2.8 Installatieonderdelen en locatie van de uitstroming — 35
- 2.9 Materiële en ecologische gevolgen — 35

3 Beheersing van de veiligheid: veiligheidsmaatregelen — 37

- 3.1 Inleiding — 37
- 3.2 1^e LoD: procesbeheersing — 40
 - 3.2.1 Welke onderdelen van de procesbeheersing faalden? — 41
 - 3.2.2 Wat waren de gevolgen van het falen van de procesbeheersing? — 43
- 3.3 2^e LoD: herstel van afwijkingen buiten operationele grenzen — 43
 - 3.3.1 Welke onderdelen van het herstel van afwijkingen buiten operationele grenzen faalden? — 44
 - 3.3.2 Wat waren de gevolgen van het falen van het herstel? — 46
- 3.4 3^e LoD: noodbescherming — 47
 - 3.4.1 Welke onderdelen van de noodbescherming faalden of waren succesvol? — 49
 - 3.4.2 Wat waren de gevolgen van het falen van de noodbescherming? — 51
- 3.5 Mitigerende maatregelen (4^e, 5^e en 6^e LoD's) — 51
 - 3.5.1 Welke mitigerende maatregelen faalden of waren succesvol? — 53
 - 3.5.2 Wat waren de gevolgen van het falen van mitigerende maatregelen? — 55
- 3.6 Hoe faalden de veiligheidsmaatregelen? — 56
- 3.7 Waarom faalden veiligheidsmaatregelen? — 58
 - 3.7.1 Managementfactoren (Storybuilder-model) — 58

3.7.2	Tekortkomingen in het Veiligheidsbeheerssysteem (VBS) — 60
3.8	Samenvatting — 61
4	Veelvoorkomende scenario's en achterliggende oorzaken — 63
4.1	Veelvoorkomende scenario's — 63
4.1.1	Fysiek falen van het insluitsysteem door materiaalverzwakking — 63
4.1.2	Het falen van het veiligstellen van een insluitsysteem voorafgaand aan het openen daarvan — 65
4.1.3	Hoge druk in een insluitsysteem — 66
4.2	Veelvoorkomende oorzaken vanuit organisatorisch perspectief — 67
4.2.1	Controle op de exploitatie — 67
4.2.2	Identificatie van de gevaren en beoordeling van de risico's — 68
4.2.3	Beleid bij wijzigingen (Management of Change) — 69
4.3	Veelvoorkomende oorzaken vanuit menselijke factor perspectief — 69
4.3.1	Overtredingen — 70
4.3.2	Vergissingen — 70
4.3.3	Afdwalingen en uitglijders — 71
5	Trends en patronen — 73
5.1	Trends in de tijd — 74
5.2	Veranderingen van oorzaken en gevolgen in de tijd — 76
5.3	Correlaties met ernst van het letsel — 81
6	Vergelijking met andere arbeidsongevallen — 87
7	Conclusies — 91
	Begrippenlijst — 95
	Referenties — 99
1	Bijlage 1 Modelbeschrijving Storybuilder — 101
B1.1	Algemene beschrijving van Storybuilder — 101
B1.2	Algemene beschrijving van het MHC-model — 103
B1.3	Doel en gebruik van het Storybuilder MHC-model — 105
B1.4	Falende maatregelen en succesvolle maatregelen — 106
2	Bijlage 2 Aanvullende data/statistiek — 107
B2.1	Aantal incidenten — 107
B2.2	Aard van het ongeval — 107
B2.2.1	Centrale gebeurtenis (direct effect) — 107
B2.2.2	Vervolgeffecten na de centrale gebeurtenis — 108
B2.3	Slachtoffers en letsel — 109
B2.3.1	Aard en ernst van het letsel — 109
B2.3.3	Overige gevolgen — 110
B2.3.4	Kenmerken van de slachtoffers — 110
B2.4	Betrokken stoffen en hoeveelheden — 112
B2.4.1	Betrokken stoffen en producten — 112
B2.4.2	CLP classificatie — 114
B2.4.3	Betrokken hoeveelheden — 115
B2.5	Type bedrijven en activiteiten — 116
B2.5.1	Type bedrijf (SBI-indeling) — 116
B2.5.2	Type bedrijf (MARS-classificatie) — 118
B2.5.3	Activiteit voorafgaand aan het incident — 118

- B2.6 Installatieonderdelen, uitstroomlocaties en gatgrootten — 119
- B2.6.1 Installatieonderdeel met betrekking tot het incident (direct effect) — 119
- B2.6.2 Locatie van de uitstroming — 121
- B2.6.3 Gatgrootte — 122
- B2.7 Overtredingen van wet- en regelgeving en handhaving — 123
- B2.7.1 Overtredingen tijdens voorafgaande Brzo-inspectie — 124

3 Bijlage 3 Directe en onderliggende oorzaken — 125

- B3.1 Onderliggende factoren: totaal gemiddelde — 125
- B3.2 1^e LoD: procesbeheersing — 127
- B3.2.1 Falende veiligheidsmaatregelen — 127
- B3.2.2 Hoe faalden veiligheidsmaatregelen voor veilige procesbeheersing? — 128
- B3.2.3 Waarom faalden veiligheidsmaatregelen voor veilige procesbeheersing? — 130
- B3.2.4 Gevolgen — 132
- B3.3 2^e LoD: herstel van afwijkingen buiten operationele grenzen — 132
- B3.3.1 Falende veiligheidsmaatregelen — 132
- B3.3.2 Hoe faalden veiligheidsmaatregelen voor het herstel van afwijkingen? — 133
- B3.3.3 Waarom faalden veiligheidsmaatregelen voor het herstel van afwijkingen? — 134
- B3.3.4 Gevolgen — 136
- B3.4 3^e LoD: bescherming bij afwijking buiten veilige grenzen — 137
- B3.4.1 Falende veiligheidsmaatregelen — 137
- B3.4.2 Hoe faalden veiligheidsmaatregelen voor noodbescherming? — 137
- B3.4.3 Waarom faalden veiligheidsmaatregelen voor noodbescherming? — 138
- B3.4.4 Gevolgen — 140
- B3.5 Mitigerende maatregelen — 142
- B3.5.1 Succesvolle en falende veiligheidsmaatregelen — 142
- B3.5.2 Hoe faalden de mitigerende maatregelen? — 142
- B3.5.3 Waarom faalden de mitigerende maatregelen? — 144
- B3.5.4 Gevolgen — 145
- B3.6 Menselijke fouten (human error) — 146

4 Bijlage 4 Toegepaste filters bij veelvoorkomende scenario's — 148

5 Bijlage 5 Vergelijking met de conclusies van de voorgaande meerjarenrapportage (2004-2013) — 150

Samenvatting

Het RIVM heeft 326 incidenten met gevaarlijke stoffen geanalyseerd die tussen 2004 en 2018 hebben plaatsgevonden bij grote chemische bedrijven. Bij deze incidenten vielen 215 slachtoffers, onder wie vijf doden. Het betreft incidenten die door de vakgroep Major Hazard Control van de Inspectie SZW zijn onderzocht. De hoeveelheid gegevens is groot genoeg om robuuste conclusies te kunnen trekken. Uit de data kan worden afgeleid of de incidenten overeenkomsten vertonen en of er ontwikkelingen in de tijd zijn. Ook kunnen correlaties tussen verschillende kenmerken van incidenten in beeld worden gebracht. Inspectiediensten kunnen de bevindingen gebruiken voor hun inspectie- en handhavingsstrategieën. Bedrijven kunnen de inzichten gebruiken om de veiligheid te verbeteren.

Overeenkomstig het werkgebied van de vakgroep Major Hazard Control vond het overgrote deel (97%) van de incidenten plaats bij inrichtingen die vallen onder het Besluit risico's zware ongevallen (Brzo) 2015. Tussen deze Brzo-inrichtingen ging het vooral om hogedrempelinrichtingen (88%) en minder om lagedrempelinrichtingen (12%). De helft van de incidenten trad op in onderdelen van procesinstallaties, zoals procesleidingen, reactorvaten en productscheiders. Onderdelen voor opslag, transport en verlading waren minder vaak betrokken. 60% van de incidenten vond plaats tijdens normaal bedrijf en 20% tijdens onderhoud.

Kenmerken van de incidenten, de slachtoffers en de ernst van het letsel

Bij 90% van de incidenten kwamen gevaarlijke stoffen vrij. Bij 28% van de incidenten ontstond een brand of explosie. Bij drie incidenten (1%) werd een tank met gevaarlijke stoffen betreden. De meest voorkomende directe oorzaken waren fouten bij menselijke handelingen en materiaalverzwakking. Samen waren deze twee directe oorzaken verantwoordelijk voor 56% van alle incidenten.

Zoals kon worden verwacht, waren de slachtoffers vooral onderhoudsmedewerkers en procesoperators. Van de 215 slachtoffers zijn er vijf overleden en hebben zeker tien personen blijvend lichamelijk letsel opgelopen. Voor 62 slachtoffers (29%) is niet bekend of het lichamelijk letsel tijdelijk of blijvend was en de overige 138 slachtoffers (64%) hadden tijdelijk letsel. De slachtoffers ademden giftige of schadelijke stoffen in of liepen chemische of thermische brandwonden op. Drie van de vijf dodelijke slachtoffers overleden door toedoen van een explosie in een insluitsysteem. Twee personen overleden toen zij een insluitsysteem met gevaarlijke stoffen betraden. Blijvend letsel had verhoudingsgewijs vaak betrekking op brandwonden door chemische reacties of hitte.

Incidenten tijdens onderhoud en incidenten waarbij handmatige handelingen werden verricht, resulteerden verhoudingsgewijs vaak in ernstig lichamelijk letsel. De gevarencategorie van de betrokken gevaarlijke stoffen, de directe oorzaak van het incident, en ook het beroep, het dienstverband en de leeftijd van de slachtoffers waren niet aantoonbaar relevant voor de ernst van het letsel.

Onderliggende oorzaken

De toedracht van het incident en de onderliggende oorzaken zijn gedetailleerd onderzocht met het wetenschappelijk onderbouwde model Storybuilder MHC. In dit model zijn 41 veiligheidsmaatregelen opgenomen waarmee incidenten kunnen worden voorkomen of waarmee de gevolgen van het incident kunnen worden beperkt. Deze 41 veiligheidsmaatregelen zijn verdeeld over zes beschermingslagen ('line of defence', LoD).

- **1^e LoD: procesbeheersing.** Incidenten beginnen met tekortkomingen (fouten) in de reguliere procesbeheersing. De tekortkomingen in deze LoD waren divers van aard: bij 42% van de incidenten faalde de borging van de materiële integriteit van de installatie, bij 32% faalde de beheersing van procesparameters en bij 29% van de incidenten werden processen of werkzaamheden niet veilig (op)gestart.
- **2^e LoD: herstel van afwijkingen.** Om incidenten te voorkomen moeten de ontstane afwijkingen tijdig worden ontdekt en hersteld. Daarbij valt op dat veel afwijkingen onopgemerkt bleven door het ontbreken van geschikte instrumenten en procedures voor het identificeren van afwijkingen (48% van de incidenten). Bij de overige incidenten was er wel een indicatie van de afwijking, maar faalde de detectie daarvan, de juiste diagnose of de adequate en tijdige herstelactie.
- **3^e LoD: noodbescherming.** Bij 59% van de incidenten leidde het uitblijven van een tijdig herstel automatisch tot het vrijkomen van gevaarlijke stoffen. Voor deze incidenten waren geen verdere noodmaatregelen mogelijk. Dit betreft incidenten waarbij de installatie faalde door materiaalverzwakking of door het losraken van verbindingen en incidenten waarbij een insluitsysteem met gevaarlijke stoffen actief werd geopend of waarbij een proces werd opgestart terwijl er nog kleppen open stonden. Bij de overige 41% hadden aanvullende beschermingsmaatregelen het incident nog kunnen voorkomen. Bij deze incidenten faalde vooral de preventie van brand en explosie binnen een installatie en de bescherming van de installatie tegen hoge druk. Er waren ook 22 incidenten (7%) waarbij het falen van de installatie door te hoge druk wel succesvol werd voorkomen door het afblazen of affakkelen van gevaarlijke stoffen.
- **4^e, 5^e en 6^e LoD.** Na het ontstaan van het incident zijn er nog verschillende maatregelen mogelijk om de gevolgen daarvan te beperken. De ene maatregel functioneerde bij de incidenten beter dan de andere. Over het geheel was er iets vaker sprake van tekortkomingen (387x) dan van successen (335x).

Het Storybuilder MHC-model bevat ook een structuur om te achterhalen hoe en waarom veiligheidsmaatregelen falen. Veiligheidsmaatregelen faalden vooral doordat ze niet (goed) waren ingevoerd (33%) of niet (goed) werden gebruikt (28%). Het eerste houdt in dat de benodigde veiligheidsinstrumenten en -procedures ontbraken of onvoldoende geschikt waren. Het tweede houdt in dat de veiligheidsmiddelen wel waren geïmplementeerd, maar niet goed werden gebruikt, bediend of toegepast. Op organisatieniveau blijkt dat het falen van veiligheidsmaatregelen vooral werd veroorzaakt door tekortkomingen in plannen en procedures (26%). In mindere mate speelden ook onvoldoende ervaring en deskundigheid

van het personeel (16%), ongeschikt materiaal en materieel (14%) en onvoldoende alertheid van het personeel (14%) een rol. Met betrekking tot het veiligheidsmanagement schoot vooral de vertaling van het bewustzijn van gevaren en risico's naar adequate maatregelen en middelen (VBS onderdeel iii: controle op de exploitatie) tekort.

In hoofdstuk 4 worden enkele veelvoorkomende scenario's en achterliggende oorzaken geïllustreerd als verhaal. Deze verhalen zijn bedoeld om de incidenten invoelbaar te maken en bieden praktische aanknopingspunten om van te leren.

Trends in de tijd

Het aantal incidenten dat door de Inspectie SZW werd onderzocht, is gedurende de periode afgenomen. Deze afname is ongeveer tien jaar geleden ingezet. Mogelijk weerspiegelt dit een reële afname van incidenten met gevaarlijke stoffen binnen de industrie. Het kan ook zo zijn dat de Inspectie SZW verhoudingsgewijs minder incidenten is gaan onderzoeken. Het aantal meldingsplichtige incidenten dat werd onderzocht, neemt nog niet aantoonbaar af. Dit zijn incidenten met relatief ernstige gevolgen.

De kenmerken van de incidenten en de directe en onderliggende oorzaken van de incidenten zijn in de periode 2004-2018 niet wezenlijk veranderd.

Mogelijke verbeteringen van de veiligheid

De analyse laat zien dat het beheersen van de veiligheid bij grote chemische bedrijven complex is. Er is een grote verscheidenheid aan mogelijke oorzaken van incidenten en aan maatregelen waarmee de veiligheid kan worden vergroot. Verder zijn de onderzochte bedrijven en hun activiteiten onderling verschillend. Het verbeteren van de veiligheid blijft daardoor maatwerk, waarbij bedrijven zelf moeten analyseren welke maatregelen voor hun situatie effectief kunnen zijn.

Desalniettemin zijn er in de incidenten verschillende overeenkomsten te zien. Allereerst waren twee directe oorzaken samen verantwoordelijk voor 56% van alle incidenten en 49% van alle slachtoffers. Het betrof fouten bij menselijke handelingen en materiaalverzwakking. In paragraaf 4.1 is beschreven hoe de veiligheid voor deze twee scenario's kan worden verbeterd. Ten tweede bleek dat de veiligheid bij 59% van de incidenten rustte op twee pijlers: de veilige procesbeheersing en het tijdig en adequaat herstel van afwijkingen. Het versterken van deze twee pijlers levert dus relatief veel veiligheidswinst op. Goed zicht op mogelijke afwijkingen buiten operationele grenzen is daar onderdeel van. Tot slot bleek dat met betrekking tot het veiligheidsbeheerssysteem vooral de controle op de exploitatie faalde. Dat betekent dat de gevaren en risico's in principe bekend waren, maar dat de vertaling naar goed functionerende maatregelen in de praktijk tekortschoot. Voor het vergroten van de veiligheid moet nog zorgvuldiger bekeken worden of de geïmplementeerde instrumenten en procedures gegeven de mogelijke afwijkingen toereikend zijn, en of deze op de werkvloer ook worden gebruikt zoals was beoogd.

Aanpak van het onderzoek

Voor de analyses is gebruikgemaakt van de informatie die beschikbaar was bij de Inspectie SZW en van rapporten die zijn gepubliceerd door de Onderzoeksraad voor Veiligheid. De analyses zijn uitgevoerd met een wetenschappelijk onderbouwd model: Storybuilder MHC. Dit model is specifiek ontwikkeld voor incidenten met gevaarlijke stoffen bij grote chemische bedrijven. Na de oorspronkelijke ontwikkeling is het analysemodel nog uitgebreid en aangepast. Voorafgaand aan de analyses voor dit rapport zijn alle incidenten nog een keer opnieuw bekeken. De eisen ten aanzien van de analyses zijn vastgelegd in een analysevoorschrift.

1 Inleiding

Waarom dit onderzoeksrapport?

In Nederland wordt op verschillende manieren en met verschillende doeleinden onderzoek gedaan naar incidenten en ongevallen. Vaak heeft het onderzoek betrekking op één specifiek incident. Allereerst onderzoeken bedrijven en instanties incidenten en ongevallen om daarvan te leren. Uit het onderzoek moet blijken welke directe en onderliggende factoren een rol speelden bij het incident, en met welke veranderingen de kans op herhaling kan worden verkleind. Daarnaast onderzoeken toezichthouders specifieke incidenten en ongevallen om te controleren of wet- en regelgeving is overschreden. Dit heeft tot doel de regel naleving te vergroten, en kan voor slachtoffers positief bijdragen aan het verwerkingsproces.

In dit onderzoek wordt niet naar één incident gekeken, maar zijn 326 incidenten en ongevallen bij grote chemische bedrijven geanalyseerd. Door het grote aantal is het mogelijk om de 'rode draden' in die incidenten zichtbaar te maken en de onderliggende patronen in kaart te brengen. Dit levert kennis op die kan worden gebruikt om de veiligheid bij deze bedrijven te verbeteren en die het niveau van individuele incidenten en betrokken bedrijven overstijgt.

Hoe is het onderzoek uitgevoerd?

Uitgangspunt zijn de incidenten bij bedrijven met grote hoeveelheden gevaarlijke stoffen die in de afgelopen vijftien jaar door de vakgroep Major Hazard Control (MHC) van de Inspectie SZW zijn onderzocht. Aanvullend zijn ook rapportages van de Onderzoeksraad voor Veiligheid gebruikt, voor zover die betrekking hadden op ongevallen met gevaarlijke stoffen bij grote chemische bedrijven.

Voor elk incident zijn op basis van de beschikbare informatie de belangrijkste kenmerken inclusief de directe en onderliggende oorzaken in kaart gebracht. Dit gebeurde op een gestructureerde manier en met gebruikmaking van het wetenschappelijk onderbouwde analysemodel Storybuilder MHC.¹ Dit model is specifiek ontwikkeld voor incidenten met gevaarlijke stoffen bij grote chemische bedrijven. Voor elk incident is voor ruim 50 verschillende onderdelen informatie verzameld en in een database vastgelegd [1]. Als er sprake was van slachtoffers, dan kwamen daar nog 10 aspecten bij. Na de oorspronkelijke ontwikkeling is het analysemodel nog uitgebreid en aangepast. Voorafgaand aan de analyses voor dit rapport zijn alle incidenten nog een keer opnieuw bekeken. De eisen ten aanzien van de analyses zijn vastgelegd in een analysevoorschrift [2].

¹ MHC staat voor 'Major Hazard Control'. Deze vakgroep (voorheen Directie) van de Inspectie SZW houdt zich voornamelijk bezig met de arbeidsveiligheid bij bedrijven die vallen onder het Besluit risico's zware ongevallen (Brzo).

De informatiestroom van incident tot analyse is weergegeven in Figuur 1.1. Het gedetailleerde incidentonderzoek is uitgevoerd door de vakgroep MHC van de Inspectie SZW of door de Onderzoeksraad voor Veiligheid. De analyses zijn uitgevoerd door RIVM in samenwerking met ingenieurs- en adviesbureau RPS Advies.



Figuur 1.1 Informatiestroom van incident tot analyse

Wat levert het onderzoek op?

Het onderzoek laat zien of er tussen verschillende incidenten overeenkomsten zijn, en zo ja, wat de gemeenschappelijke kenmerken zijn. Vragen die met dit onderzoek kunnen worden beantwoord, zijn bijvoorbeeld:

- Bij welke typen bedrijven en bij welke installatieonderdelen ontstaan de meeste incidenten?
- Bij welke activiteiten treden incidenten op?
- Wat zijn de aard en ernst van het letsel van slachtoffers? Welke factoren bepalen de ernst van het letsel?
- Zijn er directe of achterliggende oorzaken die regelmatig terugkeren?
- Hoe kan de veiligheid verder worden verbeterd?

Scope

De analyse heeft betrekking op 326 incidenten met gevaarlijke stoffen bij grote chemische bedrijven, in het bijzonder Brzo-bedrijven.² Het gaat om de incidenten die in de periode 2004-2018 door de vakgroep Major Hazard Control (MHC) van de Inspectie SZW of door de Onderzoeksraad voor Veiligheid zijn onderzocht.

Het model is erg uitgebreid en biedt talloze mogelijkheden voor nadere analyse. In dit rapport is ervoor gekozen om de overkoepelende kenmerken te presenteren. Voor een aantal kenmerken is tevens onderzocht of deze in de loop der tijd zijn veranderd. Ook is voor een aantal aspecten van incidenten onderzocht of er een samenhang was met de ernst van het letsel dat ontstond. De database is openbaar en te verkrijgen via de RIVM-website. Geïnteresseerden kunnen de gegevens gebruiken voor verder onderzoek.

Context

Het voorliggende rapport is onderdeel van de rapportage voor de Staat van de Veiligheid Majeure Risicobedrijven 2018. Parallel aan dit overzichtsrapport wordt ook een apart rapport met de belangrijkste bevindingen van het afgelopen onderzoeksjaar gepubliceerd [4]. In 2014 is een trendrapportage voor de periode 2004-2013 uitgebracht

² Brzo: Besluit risico's zware ongevallen [3]. In Nederland betreft dit ruim 400 bedrijven in de chemische industrie, raffinage, afvalverwerkende industrie, groothandel, opslag, vervaardiging van metaal en vervaardiging van voedingsmiddelen. De 'gevaarlijke stoffen' in dit rapport zijn ontvlambaar, explosief, acuut giftig of acuut schadelijk voor de gezondheid.

[5]. In bijlage 5 is gecontroleerd of de toenmalige conclusies nog steeds standhouden.

Leeswijzer

In hoofdstuk 2 worden de algemene kenmerken gegeven van de 326 incidenten. Het gaat bijvoorbeeld om de aard van de incidenten, het aantal slachtoffers en hun letsel, en de bedrijven, activiteiten, stoffen en installatieonderdelen.

Hoofdstuk 3 beschrijft de onderliggende oorzaken van de incidenten. Het hoofdstuk volgt de structuur van het analysemodel (Storybuilder MHC) dat met analogieën wordt toegelicht. Het model laat zien met welke veiligheidsmaatregelen incidenten kunnen worden voorkomen, of de ernst ervan kan worden beperkt. Uit hoofdstuk 3 blijkt welke maatregelen bij de incidenten hebben gefaald en waarom deze faalden.

In hoofdstuk 4 worden enkele veelvoorkomende scenario's en achterliggende oorzaken geïllustreerd als verhaal. Deze verhalen zijn bedoeld om de incidenten invoelbaar te maken en bieden praktische aanknopingspunten om van te leren.

In hoofdstuk 5 wordt met behulp van statistische analyses bekeken of er trends in de tijd zijn te onderscheiden en of er correlaties bestaan tussen de ernst van het letsel en andere factoren. Op basis van de geconstateerde ontwikkelingen, of de afwezigheid daarvan, kunnen overheden besluiten of de regelgeving of de handhaving daarvan, bijgestuurd moet worden, of niet.

In hoofdstuk 6 wordt een vergelijking gemaakt met andere arbeidsongevallen. Mogelijke verschillen met arbeidsongevallen kunnen wellicht worden gebruikt als leerpunt voor MHC-incidenten.

In hoofdstuk 7 worden de belangrijkste conclusies in dit rapport gegeven.

2 Belangrijkste kenmerken van de incidenten

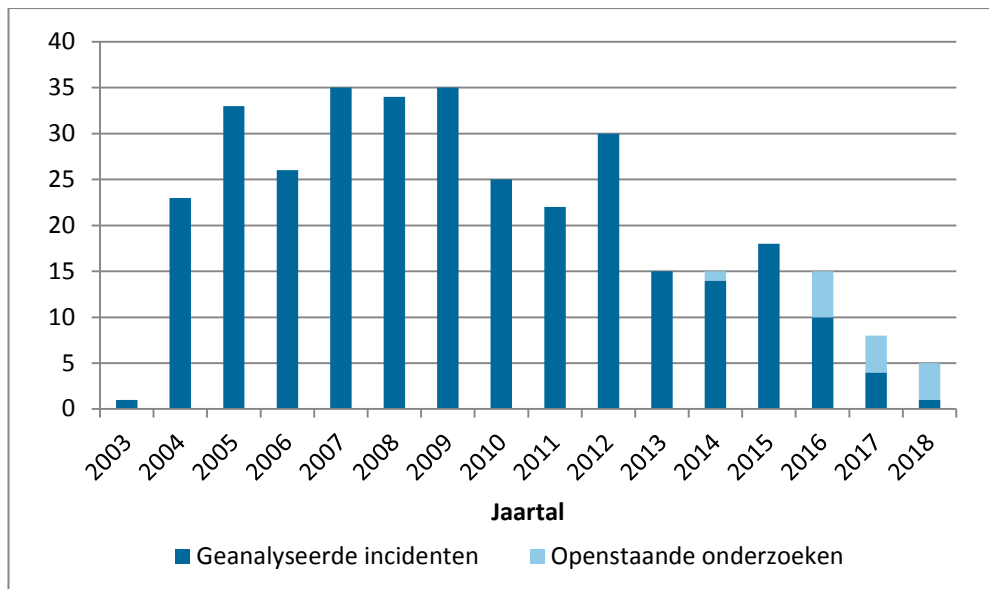
2.1 Inleiding

In dit hoofdstuk worden de belangrijkste kenmerken van de incidenten besproken, gericht op een breed publiek. Tenzij anders is vermeld, heeft dit hoofdstuk betrekking op alle 326 incidenten die vanaf 2004 zijn geanalyseerd.³

2.2 Aantal incidenten

In Figuur 2.1 is het totaal aantal geregistreerde incidenten weergegeven. In de figuur is het volgende te zien:

- In totaal zijn er 326 incidenten onderzocht en geanalyseerd. Voor 14 incidenten was het incidentonderzoek d.d. 31 december 2018 nog niet afgerond. Dit kan bijvoorbeeld betrekking hebben op een strafrechtelijk proces dat nog loopt. Deze 14 openstaande incidenten zijn nog niet geanalyseerd.
- Het jaarlijkse aantal incidenten dat wordt onderzocht en geanalyseerd, neemt af.⁴ De afname begon rond 2009. In de periode 2005-2010 waren er jaarlijks 25 tot 35 incidenten die werden onderzocht. Vijf jaar later ligt het aantal jaarlijks incidenten dat wordt onderzocht rond de 15. In 2017 en in 2018 zijn er minder dan 10 incidenten waarvoor onderzoek is uitgevoerd of nog in uitvoering is.



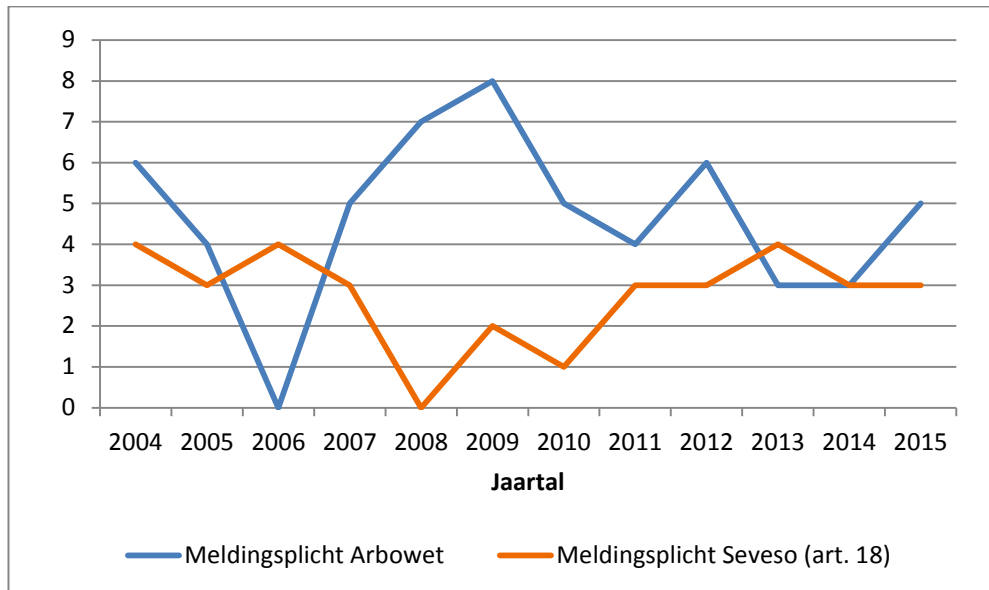
Figuur 2.1 Geanalyseerde incidenten en openstaande onderzoeken

De oorzaak van de afname in het jaarlijkse aantal onderzochte incidenten kan niet eenduidig worden vastgesteld. De meest voor de hand liggende

³ Abusievelijk is ook één incident uit 2003 geanalyseerd.

⁴ Zie paragraaf 5.1 voor de statistische onderbouwing en voor meer informatie.

verklaring is dat het jaarlijks aantal incidenten bij Brzo-bedrijven gedurende de periode is gedaald. Zo is volgens Veiligheid Voorop⁵ de indicator 'loss of primary containment' sinds 2013 elk jaar gedaald [6]. Een tweede mogelijke verklaring is dat de Inspectie SZW in de loop van de tijd verhoudingsgewijs minder incidenten is gaan onderzoeken.⁶



Figuur 2.2 Meldingsplichtige incidenten in de periode 2004-2015

Figuur 2.1 bevat zowel incidenten met ernstige gevolgen als incidenten met beperkte gevolgen. In Figuur 2.2 zijn alleen incidenten met relatief ernstige gevolgen weergegeven. Dit zijn incidenten die ofwel op grond van artikel 9 van de arbeidsomstandighedenwet [8] ofwel op grond van artikel 18 van de Europese Seveso-III richtlijn [9] gemeld moesten worden. In tegenstelling tot de incidenten van Figuur 2.1, is voor deze 'meldingsplichtige incidenten' geen toe- of afname in de tijd zichtbaar.

- In de periode zijn er 56 incidenten geregistreerd die volgens de arbeidsomstandighedenwet meldingsplichtig waren. Dit zijn incidenten met slachtoffers met ernstig letsel.⁷
- In dezelfde periode waren er 33 incidenten die op grond van artikel 18 van de EU Seveso-III richtlijn moesten worden gemeld aan de Europese commissie, de zogenaamde eMARS meldingen.⁸ Dit zijn overwegend incidenten waarbij grote hoeveelheden gevaarlijke stoffen zijn vrijgekomen.

⁵ Veiligheid Voorop is een samenwerkingsverband van brancheorganisaties, zie www.veiligheidvoorop.nu

⁶ Voor reguliere inspecties is een duidelijke daling zichtbaar: in de periode 2011-2015 daalde het jaarlijkse aantal reguliere inspecties van de (toenmalige) Directie MHC van de Inspectie SZW van 612 naar 350 [7]. Voor incidentonderzoeken golden echter andere afwegingen. Het is niet bekend of de Inspectie gedurende de periode verhoudingsgewijs minder incidentonderzoeken is gaan uitvoeren.

⁷ Specifiek gaat het om incidenten waarbij een slachtoffer door toedoen van het incident overlijdt, blijvend letsel oploopt of in het ziekenhuis wordt opgenomen.

⁸ In Bijlage VI van de Europese Seveso-III-richtlijn zijn criteria opgenomen wanneer incidenten moeten worden gemeld aan de Europese Commissie opgenomen, c.q. moeten worden opgenomen in het Europese registratiesysteem eMARS. Het betreft incidenten waarbij aanzienlijke hoeveelheden gevaarlijke stoffen vrijkwamen, incidenten met ernstige schade aan personen, goederen of milieu en incidenten met grensoverschrijdende schade.

- De data voor de periode 2016-2018 zijn niet meegenomen omdat voor deze jaartallen in verband met openstaande onderzoeken data ontbreken. Het jaartal 2003 is buiten beschouwing gelaten omdat voor dit jaartal maar één incident is geanalyseerd (zie voetnoot 3).

2.3 Aard van het incident

Hier wordt gekeken naar hoe het incident begint en hoe het incident zich daarna ontwikkelt. Tenzij anders vermeld, betreft het de hele dataset met 326 incidenten.

2.3.1 *Type incident: direct effect*

Bij 292 incidenten kwamen er in eerste instantie gevaarlijke stoffen vrij, 32 incidenten begonnen als brand en 31 incidenten begonnen met een explosie (zie Tabel 2.1). Bij 3 incidenten werden personen in een insluitsysteem blootgesteld aan gevaarlijke stoffen. Per incident kunnen meerdere effecten optreden, bijvoorbeeld incidenten waarbij zowel brand als explosie optrad (9x), of incidenten waarbij brand en/of explosie gepaard ging met het vrijkomen van gevaarlijke stoffen (19x). In paragraaf B2.2.1 van Bijlage 2 wordt het type incident in meer detail beschreven.

Tabel 2.1 *Type incident: direct effect*

Direct effect	Aantal incidenten	% incidenten
Uitstroming van gevaarlijke stoffen	292	90%
Directe brand	32	10%
Directe explosie	31	10%
Blootstelling in een insluitsysteem	3	1%

Tabel 2.2 *Manier waarop gevaarlijke stoffen vrijkomen*

Manier waarop gevaarlijke stoffen vrijkomen	Aantal incidenten	% incidenten
Vanuit een opening die bij normale bedrijfsvoering gesloten is	93	32%
Vanuit een nieuw ontstaan gat, inclusief lasnaad	77	26%
Vanuit falende of losse verbinding	67	23%
Vanuit een reguliere opening in een insluitsysteem	23	8%
Door catastrofaal falen van het insluitsysteem	20	7%
Vanuit een open systeem	13	4%
Onbekend	6	2%

Bij de 292 incidenten waarbij gevaarlijke stoffen vrijkwamen, kwamen deze hoofdzakelijk vrij via openingen die normaal gesproken gesloten zijn (zie Tabel 2.2), zoals afsluiters, drukveiligheidsventielen, aftappunten, afblaasopeningen en open leidingen. Verder ging het om nieuwe gaten in het insluitsysteem (zoals corrosielekken) en falende of losse verbindingen. Opvallend is dat installaties meestal niet fysiek bezweken. De weergegeven percentages in Tabel 2.2 hebben betrekking op de 292 incidenten waarbij gevaarlijke stoffen vrijkwamen. Per incident kunnen

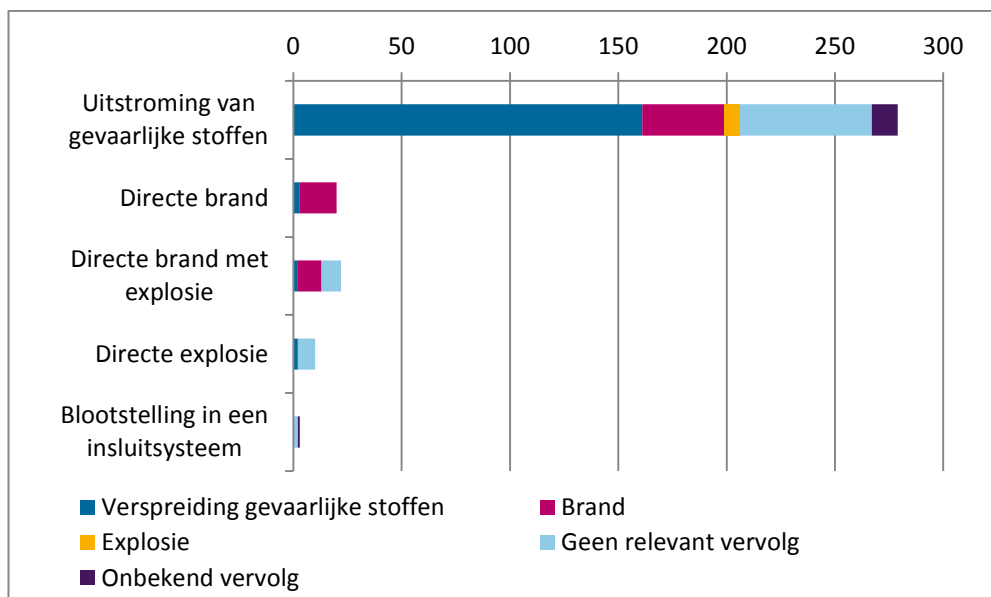
gevaarlijke stoffen op meerdere manieren vrijkomen. In paragraaf B2.6 van Bijlage 2 is de locatie van de uitstroming in meer detail beschreven.

“Stoffen komen niet vrij doordat installatieonderdelen fysiek bezwijken maar omdat installaties open staan of open gezet worden of omdat verbindingen losraken.”

2.3.2

Ontwikkeling van het incident

Het verdere verloop van incidenten hangt onder meer af van de soort stof en van het succes van eventuele maatregelen om de gevolgen van het incident te beperken. Dit vervolg is weergegeven in Figuur 2.3.⁹



Figuur 2.3 Type incident: direct effect en vervolg¹⁰ (aantal incidenten)

Uitstroming gevaarlijke stoffen

Bij 292 incidenten kwamen direct gevaarlijke stoffen vrij (zie Tabel 2.1). Bij 19 incidenten ging dat gepaard met een directe brand of explosie. Bij de overige 273 incidenten kwamen gevaarlijke stoffen vrij zonder dat er direct al sprake was van brand of explosie.

- In 59% van deze 273 gevallen was het voornaamste gevolg dat de stoffen zich via de lucht verder verspreiden.
- In 14% van deze gevallen ontstond er na het vrijkomen van de gevaarlijke stoffen alsnog brand.
- In 3% van deze gevallen ontstond er na het vrijkomen van gevaarlijke stoffen een (vertraagde) explosie.
- Bij 22% van deze incidenten was er geen relevant vervolg. De uitstroming stopte snel, vloeistoffen en poeders werden effectief opgevangen en was er geen substantiële verdamping.

⁹ De indeling van Figuur 2.3 wijkt iets af van die van Tabel 2.1: uitstroming van gevaarlijke stoffen is hier zonder brand of explosie. Dit betreft 273 van de 292 incidenten.

¹⁰ Uitstroming van gevaarlijke stoffen betreft hier alleen de incidenten waarbij bij aanvang van het incident nog geen sprake is van brand of explosie.

Directe brand en explosie

Bij de 32 incidenten die beginnen als brand, houdt de brand negen van de tien keer enige tijd aan. Het gaat om verschillende typen brand, zie paragraaf B2.2.2 van Bijlage 2. Voor directe explosies (31 incidenten) geldt dat het incident na de explosie relatief vaak voorbij is.

2.3.3 *Direct effect en vervolgeffect samengenomen*

Als het directe effect en het vervolgeffect worden samengenomen, dan waren er in totaal 90 incidenten (28%) met brand of explosie. Bij die incidenten vielen 50 slachtoffers (23%). Bij 233 incidenten (71%) kwamen gevaarlijke stoffen vrij en ontstond er geen brand of explosie. Bij die incidenten vielen 160 slachtoffers (74%). De resterende 3 incidenten met 5 slachtoffers betroffen betreding van een insluitsysteem met gevaarlijke stoffen.

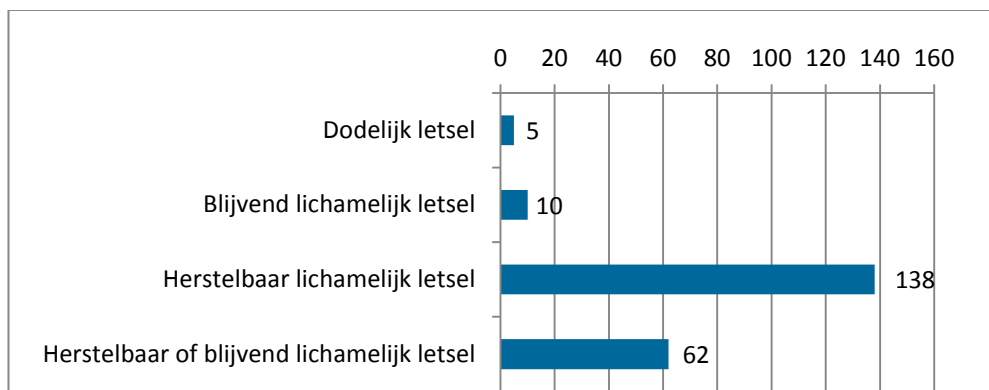
2.4 Slachtoffers

Een slachtoffer is in het model gedefinieerd als een persoon die ten gevolge van het incident tijdelijk of blijvend lichamelijk letsel heeft opgelopen, is opgenomen in het ziekenhuis, of is overleden [1]. Bij 111 van de 326 incidenten vielen een of meer slachtoffers. In totaal waren er 215 slachtoffers. De slachtoffers bevonden zich nagenoeg allemaal op het bedrijfsterrein waar het incident plaatsvond.

2.4.1 *Ernst van het letsel*

De ernst van het letsel is weergegeven in Figuur 2.4.

- 5 personen overleden ten gevolge van het ongeval. Bij twee ongevallen was sprake van een tankexplosie. Daarbij zijn in totaal 3 personen overleden. Bij een derde ongeval zijn 2 personen overleden toen zij een insluitsysteem betraden dat gevuld was met inert gas.
- 10 personen hebben blijvend lichamelijk letsel opgelopen.
- Bij de meeste slachtoffers was de aard van het lichamelijk letsel (gelukkig) herstelbaar.
- Voor ruim een kwart van de slachtoffers kon niet worden achterhaald of het lichamelijk letsel van blijvende of herstelbare aard was. Dit komt deels doordat ten tijde van interviews nog niet altijd duidelijk is of het slachtoffer volledig zal genezen, en deels vanwege de bescherming van privacygegevens (medisch beroepsgeheim).



Figuur 2.4 Slachtoffers en ernst van het letsel

Naar eventuele langdurige psychische problemen (geestelijk letsel) is in de incidentanalyses niet gekeken. Eventuele trends in de tijd met betrekking tot de ernst van het letsel worden besproken in paragraaf 5.2. Correlaties tussen de ernst van het letsel en andere factoren worden besproken in paragraaf 5.3.

2.4.2 Type letsel

In Tabel.2.3 is het type letsel van de slachtoffers weergegeven. De meest voorkomende typen letsel zijn vergiftiging door inhalatie van gevaarlijke stoffen (81 slachtoffers) en verbrandingen (78 slachtoffers). De verbrandingen (brandwonden) betreffen vooral thermisch brandwonden ten gevolge van vlamcontact, contact met hete of koude stoffen of warmtestraling (42 slachtoffers) en chemische brandwonden door (huid)contact met zure of bijtende stoffen (32 slachtoffers). Binnen de categorie thermische verbrandingen komen tweedegraads verbrandingen het vaakst voor. Overig letsel (27 slachtoffers) heeft vooral betrekking op (huid)contact met irriterende stoffen.

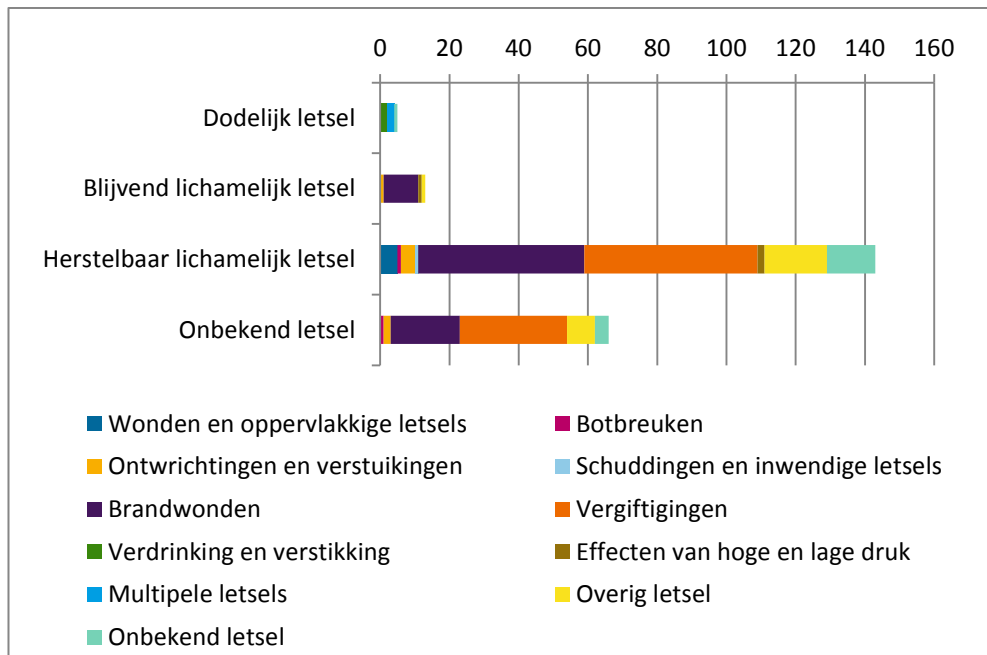
Tabel.2.3 Type letsel (ESAW classificatie)¹¹

Type verwonding	Aantal slachtoffers	% slachtoffers
010 Wonden en oppervlakkige letsels	5	2%
011 oppervlakkige verwondingen	3	1%
020 Botbreuken	2	1%
030 Ontwrichtingen en verstuikingen	7	3%
050 Schuddingen en inwendige letsels	1	0%
060 Brandwonden	78	36%
061 thermische verbrandingen	42	20%
eerstegraads verbranding	13	6%
tweedegraads verbranding	19	9%
derdegraads verbranding	4	2%
onbekend	7	3%
062 chemische verbrandingen	32	15%
069 andere verbrandingen	6	3%
070 Vergiftigingen en infecties	81	38%
071 acute vergiftiging	12	6%
079 overige typen vergiftiging	18	8%
onbekend	51	86%
080 Verdrinking en verstikking	2	1%
090 Effecten van hoge en lage druk	3	1%
091 acuut gehoorverlies	3	1%
120 Meervoudig letsel	2	1%
999 Overig letsel	27	13%
Onbekend type letsel	19	9%

In Figuur 2.5 is weergegeven hoe de ernst van het letsel (zie paragraaf 2.4.1) zich verhoudt tot het type letsel. De dodelijke ongevallen hadden betrekking op verstikking (één ongeval met 2 slachtoffers), meervoudig letsel (één ongeval met 2 slachtoffers) en onbekend letsel

¹¹ De indeling is de European Statistics for Accidents at Work (ESAW) classificatie van Eurostat [15].

(één ongeval met 1 slachtoffer).¹² Blijvend letsel heeft vooral betrekking op verbrandingen (10 van de 13 slachtoffers). Het gaat daarbij om thermische verbrandingen door warmtestraling, vlamcontact of contact met heet product.



Figuur 2.5 Aard en ernst van het letsel (aantal slachtoffers)

2.4.3

Overige gevolgen

Minimaal 1 op de 3 slachtoffers is voor behandeling opgenomen in het ziekenhuis, zie Tabel 2.4. Voor 15% van de slachtoffers was niet bekend of er sprake was van ziekenhuisopname of niet. De verzuimduur van de slachtoffers is veelal onbekend (zie paragraaf B2.4.3 van Bijlage 2).

Tabel 2.4 Ziekenhuisopname

Ziekenhuisopname	Aantal slachtoffers	% slachtoffers
Opgenomen in ziekenhuis	69	32%
Niet opgenomen in ziekenhuis	113	53%
Ziekenhuisopname onbekend	33	15%

2.4.4

Oorzaak van het letsel

Het letsel is een gevolg van het directe effect van het incident (zie paragraaf 2.3.1, de vervolgeffecten van het incident (zie paragraaf 2.3.2) of een combinatie van beide. Er kan bovendien sprake zijn van meerdere directe effecten en/of meerdere vervolgeffecten. Door die complexiteit is het niet mogelijk om de oorzaken van het letsel eenduidig te achterhalen en weer te geven.

¹² Het slachtoffer overleed ten gevolge van een explosie in een filter. De aard van het letsel dat hij daarbij opliep, is niet bekend.

2.4.5 Kenmerken van de slachtoffers

- **Beroep.** Voor 115 van de 215 slachtoffers is het beroep bekend. Het betreft hoofdzakelijk procesoperators (41%) en onderhoudsmedewerkers (38%). Ook de dodelijke slachtoffers waren procesoperator (3x) en onderhoudsmedewerker (2x).
- **Dienstverband.** Het dienstverband is bekend voor 123 van de 215 slachtoffers. In de helft van de gevallen betrof het een (sub)contractor. Eenderde van de slachtoffers was in vaste dienst van het bedrijf.
- **Derden.** Bij vier incidenten vielen naar verluidt (tevens) slachtoffers buiten de inrichting. Het lijkt in alle vier gevallen te gaan om beperkte blootstelling en lichte gezondheidseffecten.
- **Leeftijd.** De leeftijd van de slachtoffers is slechts voor 59 personen bekend. Deze lijken gelijkmatig te zijn verdeeld over de verschillende leeftijdscategorieën. Van de dodelijke slachtoffers waren vier van de vijf ouder dan 50 jaar.

“De slachtoffers zijn vooral onderhoudsmedewerkers en procesoperators. De helft van de slachtoffers is als contractor ingehuurd door het bedrijf, een derde is eigen personeel.”

In paragraaf B2.3.4 van Bijlage 2 zijn de slachtoffereigenschappen gedetailleerder weergegeven, inclusief onderscheid naar ernst van het letsel.

2.5 De bedrijven en activiteiten

2.5.1 Wettelijk regime

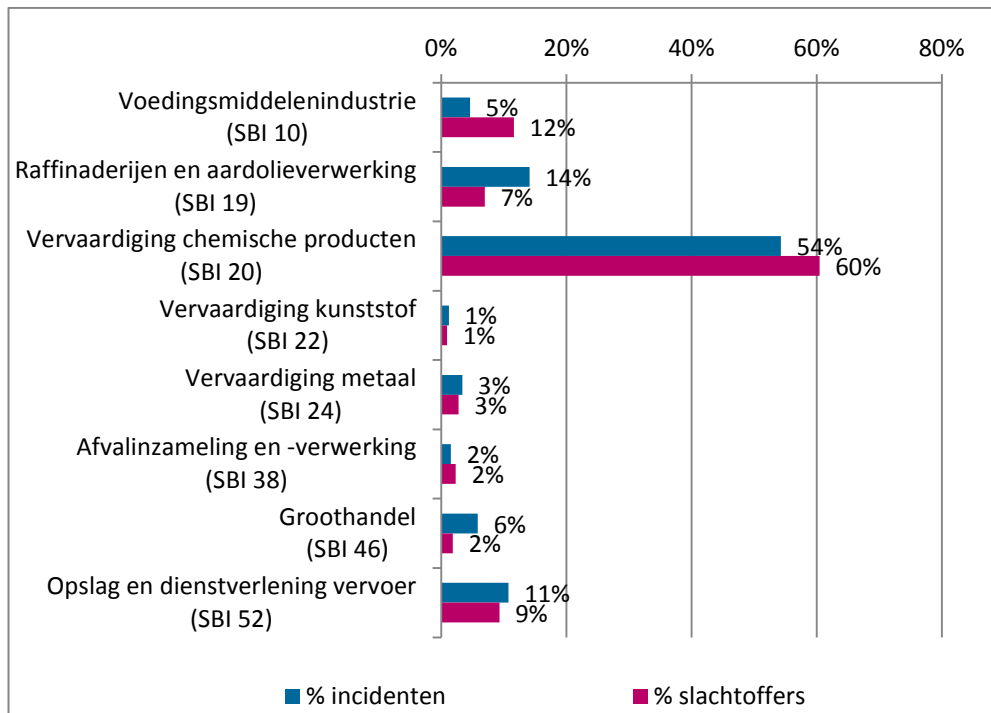
Van de geanalyseerde incidenten vond 97% plaats bij een Brzo-bedrijf (zie Tabel 2.5). Dat is gezien het werkveld van de vakgroep Major Hazard Control van de Inspectie SZW niet verrassend. Meer specifiek traden de incidenten vooral op bij hogedrempelinrichtingen. 3% van de incidenten vond plaats bij een bedrijf dat niet onder het Brzo viel. Bij die incidenten vielen verhoudingsgewijs veel slachtoffers. Een verklaring daarvoor is dat de Inspectie SZW deze incidenten slechts bij uitzondering onderzoekt, bijvoorbeeld als er sprake is van een relatief ernstig incident.

Tabel 2.5 Brzo-regime

Brzo-regime	Incidenten		Slachtoffers	
	Aantal	%	Aantal	%
Hogedrempelinrichting	278	85%	170	79%
Lagedrempelinrichting	37	11%	26	12%
Geen Brzo-bedrijf	11	3%	19	9%

2.5.2 Type bedrijf

Voor duiding van het type bedrijf is de SBI-indeling [10] gebruikt. De incidenten vinden vooral plaats bij vestigingen voor de vervaardiging van chemische producten (SBI 20, zie Figuur 2.6). Op ruime afstand gaat het ook om raffinaderijen en aardolieverwerking (SBI 19) en opslag en dienstverlening voor vervoer (SBI 52). Een volledige lijst van bedrijfstypen, inclusief aanvullend detailniveau, is opgenomen in paragraaf B2.5.1 van Bijlage 2.

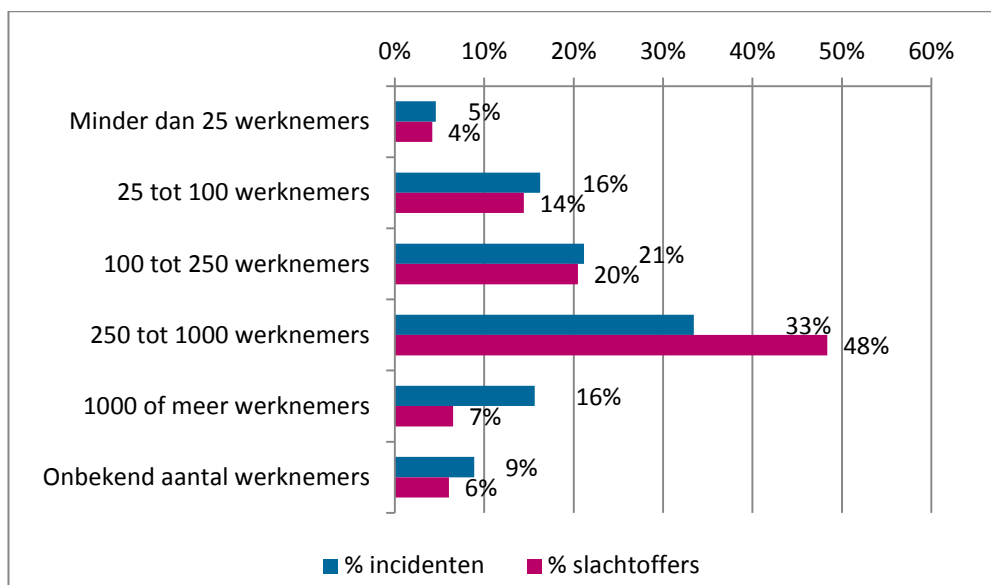


Figuur 2.6 Aantal incidenten en slachtoffers per type bedrijf (2-cijferige SBI code)

2.5.3

Grootte van de vestigingslocatie

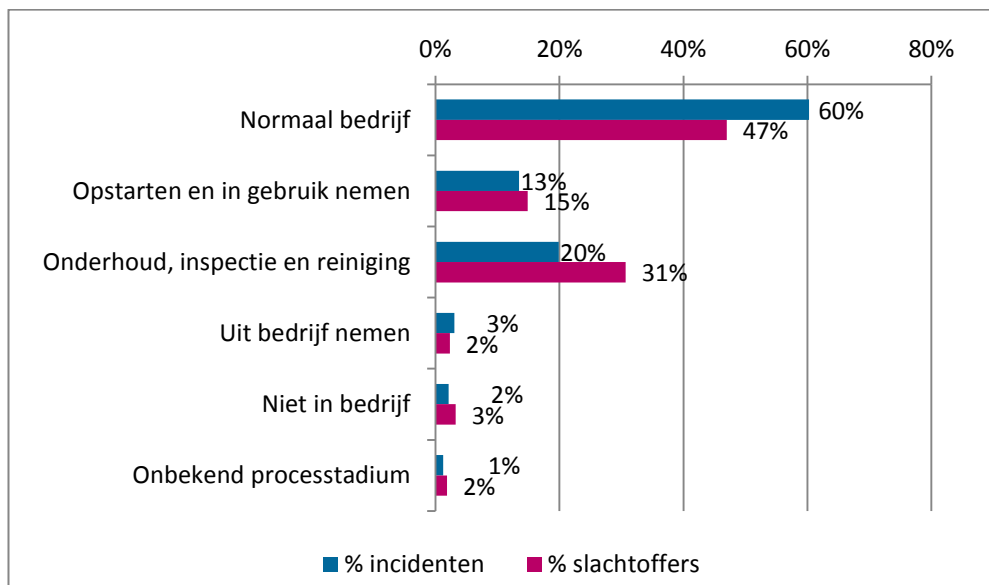
De incidenten vinden zowel bij kleine vestigingen als bij grote vestigingen plaats, zie Figuur 2.7. Daarbij is de grootte van de vestigingslocatie afgemeten naar het geregistreerde aantal werknemers op de vestigingslocatie. Bij de categorie 250 tot 1000 geregistreerde werknemers vielen per incident verhoudingsgewijs veel slachtoffers en bij de categorie 1000 of meer slachtoffers verhoudingsgewijs weinig. Mogelijke verklaringen daarvoor zijn niet onderzocht.



Figuur 2.7 Grootte van de vestigingslocatie (gemeten naar aantal geregistreerde werknemers op de vestigingslocatie)

2.5.4 Processtadium en activiteit voorafgaand aan het ongeval

Ongeveer 60% van de incidenten vond plaats tijdens normaal bedrijf, 20% vond plaats tijdens onderhoud, inspectie en reiniging, en 13% tijdens het opstarten van een proces of het in gebruik nemen van een installatie. Dit beeld gaat in tegen een veelgehoorde opvatting dat de meeste incidenten plaatsvinden tijdens onderhoud. Bij incidenten tijdens onderhoud, inspectie en reiniging vielen per incident verhoudingsgewijs wel meer slachtoffers. Zie ook paragraaf 5.3.



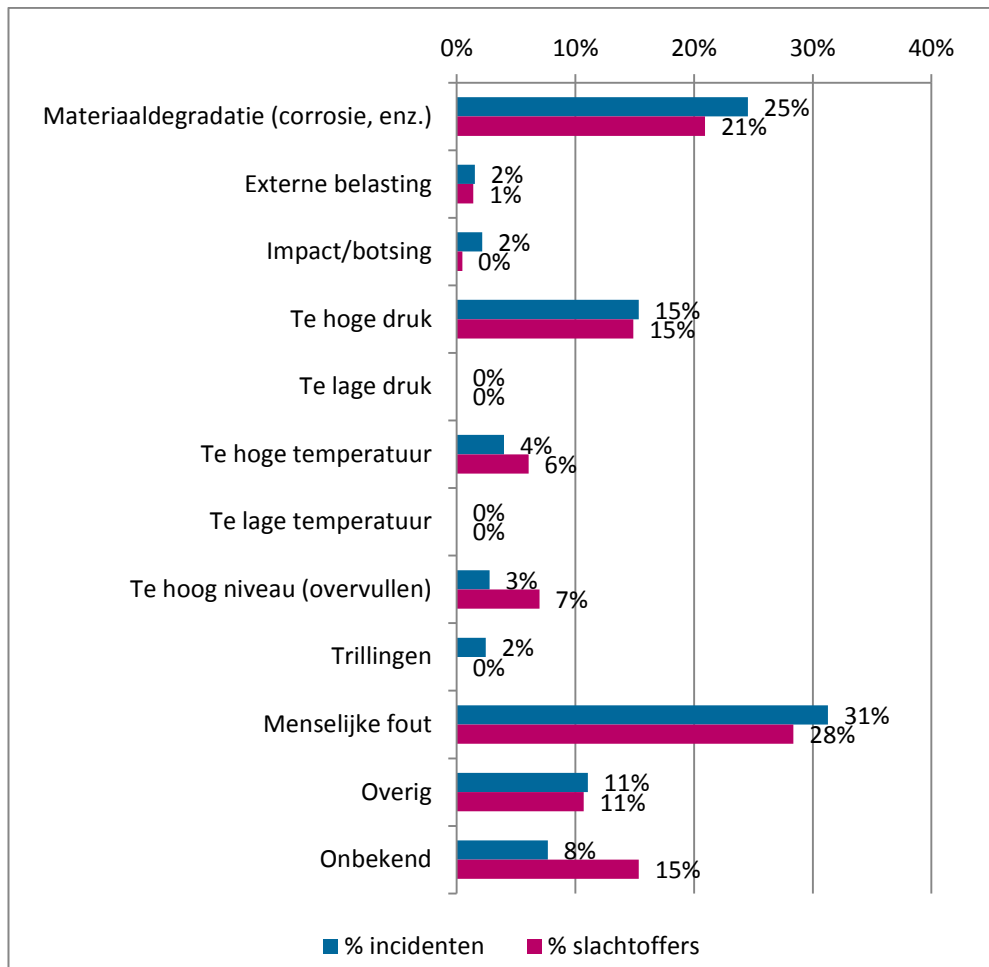
Figuur 2.8 Processtadium voorafgaand aan het ongeval (percentages van totaal)

“60% van de incidenten trad op tijdens normaal bedrijf. Bij incidenten tijdens onderhoud, inspectie en reiniging vallen verhoudingsgewijs meer slachtoffers.”

De activiteiten voorafgaand aan het incident zijn beschreven in paragraaf B2.5.3 van Bijlage 2. Bij de meeste incidenten ging het om het ‘toe- of afvoeren van stoffen’. Dit komt overeen met de eerdere bevinding dat de meeste incidenten optreden tijdens normaal proces (zie paragraaf 2.5.4).

2.6 De directe oorzaken

De directe oorzaak is in deze analyses gedefinieerd als het faalmechanisme dat chronologisch direct voorafging aan het incident. De directe oorzaak is dus niet per se de aanleiding van het incident (zijnde de achterliggende faaloorzaak). Als een verkeerd ontwerp bijvoorbeeld leidt tot een corrosielek, dan is corrosie de directe oorzaak. Voor het bezwijken van een installatie ten gevolge van een hoge druk die is ontstaan door een doseerfout, is de directe oorzaak hoge druk. In uitzonderlijke gevallen is sprake van twee directe oorzaken die samen en onafscheidelijk tot het incident leiden.



Figuur 2.9 Directe oorzaken van het ongeval

Zoals te zien in Figuur 2.9, is de meest voorkomende directe oorzaak een menselijke fout. 'Menselijke fout' moet hier worden gezien als 'fout in het menselijke handelen'. De essentie is dat een verkeerde handeling of keuze direct leidt tot het incident. Het kan ook de afwezigheid van een handeling betreffen, zoals het niet sluiten van een opening naar de buitenlucht voorafgaand aan (op)starten. De term 'fout' refereert hier alleen naar de consequenties van de handeling en niet naar de motivatie achter de handeling. In het bijzonder kan de 'foute' handeling het gevolg zijn van het adequaat volgen van een (ontoereikende) procedure. In dat geval is de 'menselijke fout' een fout van de (menselijke) organisatie.

Na menselijke fout (31% van de incidenten) komen materiaaldegradatie (25%) en te hoge druk (15%) het vaakst voor. Materiaaldegradatie betreft 44 keer corrosie, 4 keer erosie en 26 keer andere vormen van materiaaldegradatie zoals vermoeiing, brosheid, kruip en slijtage. De categorie 'overig' (36 incidenten) betreft directe oorzaken die niet aan een van de andere categorieën zijn toe te schrijven. Omdat deze categorie niet verder is uitgewerkt, kan niet worden achterhaald welke andere directe oorzaken hier een rol speelden.

"Incidenten zijn vooral het directe gevolg van ongewenste menselijke handelingen en van materiaalverzwakking zoals corrosie"

In Hoofdstuk 3 worden de oorzaken van incidenten in detail besproken.

2.7 Stoffen en hoeveelheden

2.7.1 *Betrokken stoffen en producten*

Bij de 326 incidenten kwamen volgens de registratie 166 verschillende stoffen of producten vrij. In Tabel 2.6 zijn de (24) stoffen en producten vermeld waarbij in totaal 5 of meer slachtoffers vielen of die bij zes of meer incidenten waren betrokken. De meeste slachtoffers vallen bij incidenten met chloor en zoutzuur (puur of in oplossing). Waterstof is van alle stoffen het vaakst betrokken bij een incident (21x), gevolgd door chloor (14x), ammoniak (13x) en zoutzuur (11x). Paragraaf B2.4.1 van Bijlage 2 bevat een volledige lijst met betrokken stoffen.

Tabel 2.6 *Betrokken stoffen (aantal slachtoffers \geq 5 of aantal incidenten \geq 6)*

Stof, product of oplossing	Aantal slachtoffers	Aantal incidenten
Chloor	24	14
Waterstofchloride (zoutzuur)	18	11
Zoutzuur (oplossing)	18	6
Oleum	9	1
Natronloog (oplossing)	8	7
Ammoniak	7	13
Fosfor	7	5
Fosgeen	7	2
Chlooraceetaldehyde	7	1
Isopreen	7	1
Ethylidene norbornene	6	1
Waterstofsulfide	5	9
Tolueen	5	3
Acetylchloride	5	1
Waterstof	4	21
Ethyleenoxide	4	10
Stoom/heet water	4	6
Benzine	2	7
Ethanol	2	6
Nafta	2	6
Benzeen	1	10
Gasolie (dieselolie)	1	6
Propeen (propyleen)	1	6
Methaan	0	6










2.7.2 *Gevarencategorieën*

Volgens de Europese CLP-richtlijn (Verordening 1272/2008) moeten aan specifieke stoffen gevarenaanduidingen worden toegekend. Deze gevarenaanduidingen, ook bekend als H-zinnen, geven aan wat de belangrijkste gevaarseigenschappen van de stof zijn. In totaal zijn er in de CLP-richtlijn 78 verschillende gevarenaanduidingen opgenomen. De CLP-richtlijn vermeldt tevens welke labels van toepassing zijn op de verschillende gevarenaanduidingen. Deze labels geven aan tot welke gevarencategorie de gevarenaanduiding behoort. Deze labels zijn vervolgens ook van toepassing op de stoffen die één of meer gevarenaanduidingen binnen de groep hebben gekregen. In totaal

maakt de CLP-richtlijn onderscheid naar negen verschillende gevarencategorieën. Sommige stoffen krijgen meerdere labels. Andere stoffen krijgen geen label.

In Tabel 2.7 is vermeld hoe vaak de verschillende gevarencategorieën betrokken zijn geweest bij een incident, oftewel hoe vaak een of meer betrokken stoffen bij een incident tot de betreffende gevarencategorie behoorde. De categorie ontvlambare stoffen telt de meeste incidenten. De categorie toxisch geeft de meeste slachtoffers.

Tabel 2.7 Gevarencategorieën volgens de CLP-richtlijn

Label	Pictogram	Samenvatting gevaar ¹³	Aantal incidenten	Aantal slachtoffers
GHS01		Ontplofbaar	1	1
GHS02		Ontvlambaar	133	49
GHS03		Oxiderend	19	28
GHS04		Gecomprimeerd gas	7	3
GHS05		Corrosief / bijtend	69	61
GHS06		Toxisch	101	78
GHS07		Schadelijk	99	64
GHS08		Gezondheidsgevaar	120	50
GHS09		Milieugevaar	65	54
		Geen gevarencategorie betrokken	18	14
		Betrokken gevarencategorieën onbekend	85	73

In Tabel 2.8 en Tabel 2.9 is voor ontvlambare en toxische stoffen nader beschreven welke typen stoffen het vooral betreft. Daarbij is gebruik gemaakt van de specifieke gevarenaanduidingen (H-zinnen) van de betrokken stoffen.

¹³ Voor deze tabel is gebruikgemaakt van de gevarenpictogrammen die stoffen volgens de Europese Verordening betreffende de indeling, etikettering en verpakking van stoffen en mengsels (de CLP-richtlijn) moeten voeren. Deze hebben geen pakkende aanduiding. Voor het leesgemak is een eigen omschrijving toegevoegd.

Tabel 2.8 Incidenten met ontvlambare stoffen: betrokken H-zinnen

H-zin	Omschrijving	Aantal incidenten	Aantal slachtoffers
H220	Ontvlambare gassen, gevarencategorie 1	73	17
H224	Ontvlambare vloeistoffen, gevarencategorie 1	8	8
H225	Ontvlambare vloeistoffen, gevarencategorie 2	47	19
H226	Ontvlambare vloeistoffen, gevarencategorie 3	11	5

Tabel 2.9 Incidenten met toxische stoffen: betrokken H-zinnen

H-zin	Omschrijving	Aantal incidenten	Aantal slachtoffers
H300	Acute orale toxiciteit, gevarencategorie 1 en 2	3	1
H301	Acute orale toxiciteit, gevarencategorie 3	25	14
H311	Acute dermale toxiciteit, gevarencategorie 3	25	14
H330	Acute toxiciteit bij inademing, gevarencategorie 1 en 2	26	26
H331	Acute toxiciteit bij inademing, gevarencategorie 3	79	59

Disclaimer bij de voorgaande tabellen:

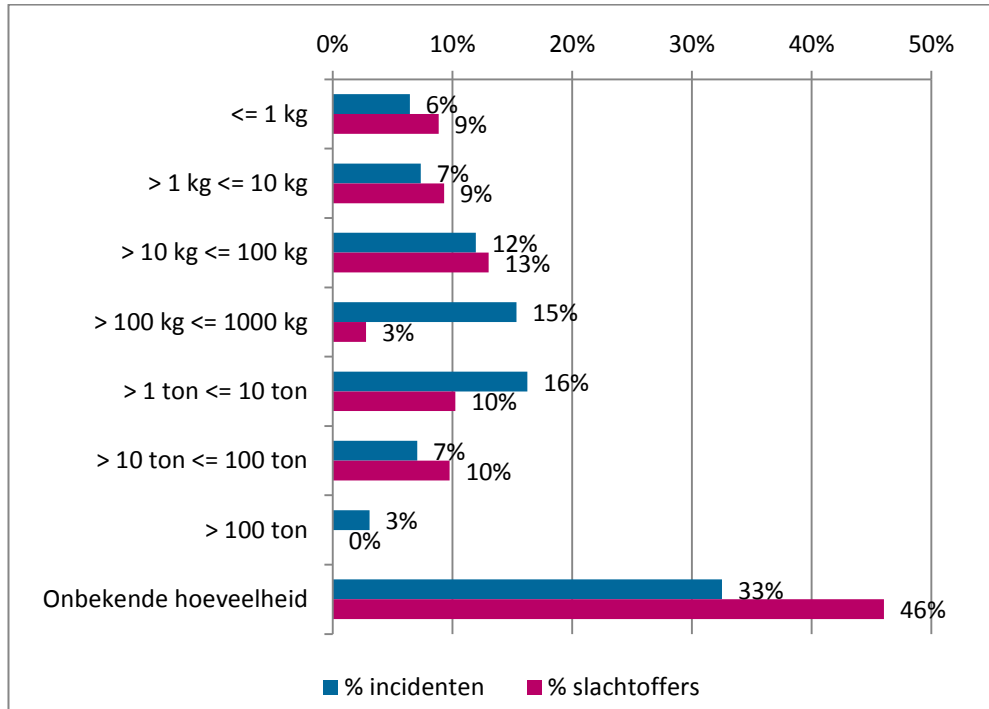
De CLP-richtlijn is halverwege de analyseperiode (2004-2018) in Nederland in werking getreden. In het analysemodel werd oorspronkelijk gebruikgemaakt van de classificatie volgens de toenmalige Wet Milieugevaarlijke Stoffen (WMS). In 2017 is de CLP-classificatie toegevoegd. Voor incidenten die vóór 2017 zijn geanalyseerd is de CLP-indeling van de stoffen in 2018 toegevoegd. Daarbij is gebruikgemaakt van een database van de European Chemicals Agency (ECHA) met peildatum 28 september 2018 [11]. Deze database bevatte alleen toegekende gevarenaanduidingen ('harmonized entries'). Verschillende voorgestelde gevarenaanduidingen ('notified entries') waren d.d. september 2018 nog niet behandeld. Dit betekent dat de gebruikte database niet volledig is ten aanzien van de gevarenaanduidingen van stoffen. Dit blijkt vooral uit het lage aantal incidenten waarbij gecombineerde gassen (GHS04) waren betrokken. De achterliggende gevarenaanduiding H280 is voor stoffen zoals waterstof en methaan aannemelijk, maar nog niet officieel toegekend. Voor de gevarenaanduiding H280 en bijbehorend gevarenlabel GHS04 is dus zeer waarschijnlijk sprake van een onderrapportage.

2.7.3

Betrokken hoeveelheden

In Figuur 2.10 is de betrokken hoeveelheid (massa) weergegeven voor de 326 incidenten. De figuur laat zien dat de betrokken hoeveelheid sterk varieert. Bij 21 incidenten is minder dan 1 kg gevaarlijke stof betrokken. Aan de andere kant zijn er 33 incidenten waarbij meer dan 10 ton gevaarlijke stoffen is vrijgekomen. Bij eenderde van de incidenten was de beschikbare informatie ontoereikend voor een goede inschatting van de betrokken hoeveelheid. Geen van deze 102 incidenten was eMARS-

meldingsplichtig (zie paragraaf 2.2) en dus zal de betrokken hoeveelheid voor deze incidenten lager zijn dan de drempelwaarde voor deze meldingsplicht.



Figuur 2.10 Betrokken hoeveelheid (massa) gevaarlijke stoffen

In paragraaf B2.4.3 van Bijlage 2 is de relatie tussen de betrokken hoeveelheid en de ernst van het letsel van slachtoffers weergegeven. In paragraaf 5.3 is onderzocht of er een correlatie is tussen deze twee parameters.

2.8 Installatieonderdelen en locatie van de uitstroming

De meeste incidenten vonden plaats in of vanuit onderdelen van procesinstallaties (160x). In meer detail ging het om procesleidingen (58x), reactorvaten (35x) en verschillende typen productscheiders (31x). Daarnaast vond het incident 36 keer plaats in een vaste opslagtank, 25 keer in leidingwerk bij verladingslocaties en 21 keer in lange pijpleidingen voor transport/verlading. Zie paragraaf 2.6 van Bijlage 2 voor meer detail.

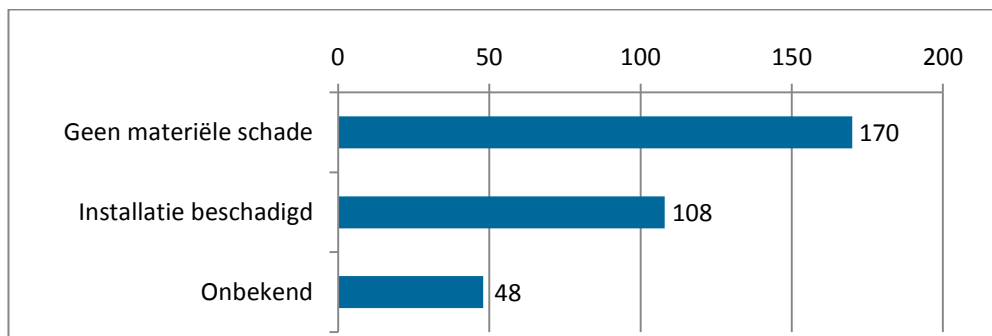
Uitstroming vindt meestal plaats vanuit een open verbinding of klep, zoals losse verbindingen (39x) of koppelingen (19x), open afsluiters/afsluitkleppen (23x), drukveiligheidsventielen (22x), aftappunten (15x), leidingen (14x) en vents/afblaasopeningen (11x). Bij 84 incidenten was sprake van een gat in de wand van een tank of leiding. Zie paragraaf B2.6.2 van Bijlage 2 voor meer detail.

2.9 Materiële en ecologische gevolgen

Het bepalen van eventuele materiële schade aan installaties is niet het hoofddoel in onderzoeken van de Inspectie SZW. Desalniettemin kan op

basis van de informatie in de onderzoeksrapporten meestal wel worden afgeleid of installaties beschadigd raakten of niet.

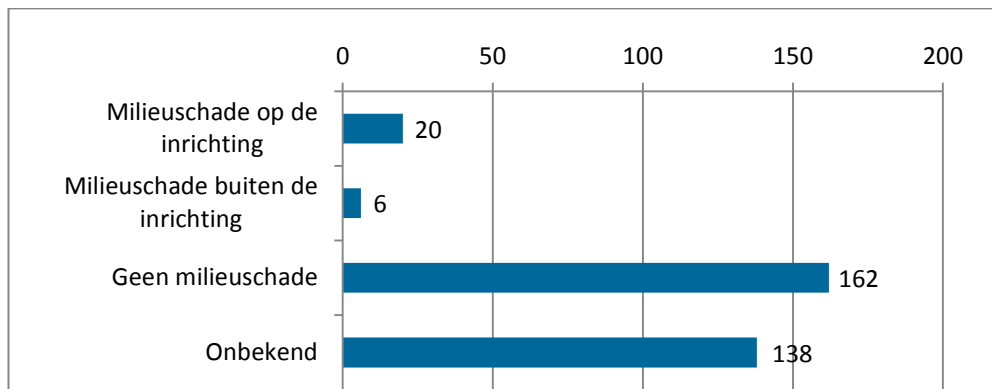
Bij minimaal één op de drie incidenten raakte de installatie wel beschadigd, en bij minimaal de helft van de incidenten niet (zie Figuur 2.11). Dit beeld komt overeen met de eerdere waarneming dat bij het merendeel van de incidenten gevaarlijke stoffen vrijkomen via bestaande openingen en losgeraakte verbindingen. Nadat de opening is gedicht, of de verbinding hersteld, kan de installatie weer in gebruik worden genomen. Bij 15% van de incidenten is de materiële schade onduidelijk of onbekend.



Figuur 2.11 Materiële schade: aantal incidenten

Ook het bepalen van eventuele milieuschade is niet het hoofddoel in onderzoeken van de Inspectie SZW. De onderzoeksrapporten bevatten op dit onderdeel vaak weinig informatie. Op basis van de beschikbare informatie probeert de analist een inschatting te doen of er wel of geen milieuschade is opgetreden. Bij twijfel wordt 'onbekend' ingevuld.

Bij een op de twaalf incidenten was aantoonbaar sprake van milieuschade binnen of buiten de inrichting (zie Figuur 2.12). Bij de helft van de incidenten was er naar de mening van de analisten geen sprake van milieuschade. Voor 42% van de incidenten kon uit de beschikbare informatie niet worden afgeleid of er wel of geen milieuschade is ontstaan.



Figuur 2.12 Milieuschade: aantal incidenten

3 Beheersing van de veiligheid: veiligheidsmaatregelen

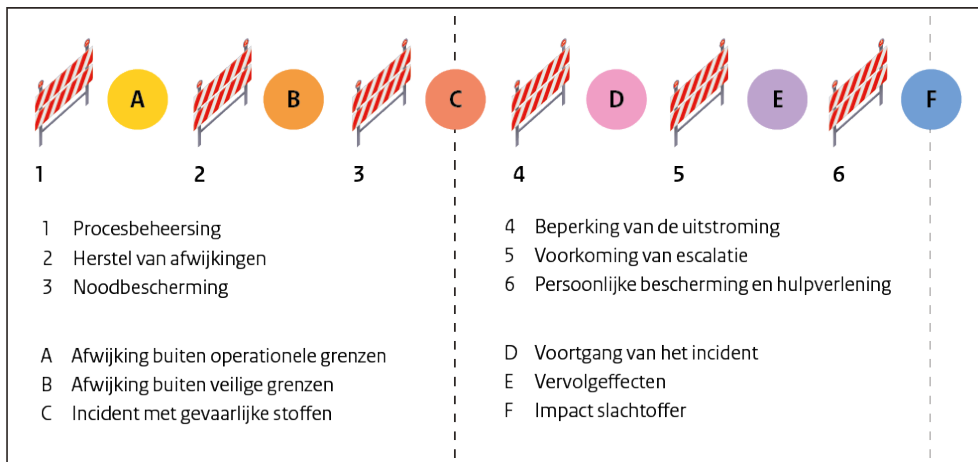
3.1 Inleiding

In de beheersing van de veiligheid spelen veiligheidsmaatregelen een centrale rol. De veiligheid kan worden vergroot door veiligheidsmaatregelen te treffen (implementeren) en ervoor te zorgen dat deze goed werken en goed blijven werken. Idealiter heeft een bedrijf veiligheidsmaatregelen getroffen voor alle verschillende manieren waarop incidenten kunnen ontstaan (preventieve maatregelen). Bedrijven moeten ook maatregelen treffen om de gevolgen van eventuele incidenten te beperken (mitigerende maatregelen).

Veiligheidsmaatregelen kunnen worden geïmplementeerd met instrumenten, apparaten, procedures of met een combinatie daarvan. Een gelaatsmasker biedt bijvoorbeeld bescherming tegen de impact van een uitstroming van gevaarlijke stoffen op het gezicht. Om effectief te zijn moet het gelaatsmasker ook daadwerkelijk worden gedragen en daar zijn werkafspraken, procedures en toezicht voor nodig. De organisatie moet dan identificeren onder welke omstandigheden het gelaatsmasker moet worden gebruikt. Andere voorbeelden van veiligheidsmaatregelen zijn de beheersing van de druk (sensors, signalen, afspraken en procedures), het voorkómen van corrosie (materiaal- en processpecificaties, regelmatige monitoring van de toestand van het materiaal), het voorkómen van ontsteking (ontwerp, procedures, werkafspraken) en brandbestrijding (adequate voorzieningen).

In de praktijk gaat het soms mis: er ontstaan toch incidenten met ongewenste gevolgen. Specifieke veiligheidsmaatregelen hebben dan gefaald. Misschien was de noodzaak van de maatregelen niet (h)erkend of misschien waren de noodzakelijke maatregelen wel getroffen maar waren deze onvoldoende effectief.

In het Storybuilder MHC-model is geïdentificeerd welke veiligheidsmaatregelen van belang zijn voor incidenten met gevaarlijke stoffen. In totaal zijn er 41 veiligheidsmaatregelen, gebundeld in zes groepen, ook wel *lines of defence* (LoD's) genoemd. Drie daarvan zijn gericht op het voorkómen van incidenten, drie andere op het beperken van de gevolgen. In Figuur 3.1 worden de zes LoD's, en de gevolgen van het falen daarvan, grafisch weergegeven.



Figuur 3.1 Lines of defence (weergegeven met cijfers) en consequenties van het eventuele falen daarvan (weergegeven met letters) in het analysemodel

Analogie: voorkómen van auto-ongelukken en beperken van letsel

Om de betekenis van deze LoD's te verduidelijken is een analogie bedacht: het voorkómen van auto-ongelukken en het beperken van het letsel. De betekenis van de zes LoD's is in deze analogie als volgt:

- Procesbeheersing. Ervoor zorgen dat de rijbaan markeringen heeft die laten zien waar je mag rijden. Er vervolgens voor zorgen dat je binnen de markeringen blijft.
- Herstel van afwijkingen buiten operationele grenzen. Ervoor zorgen dat herstel mogelijk is als je toch buiten de rijbaan bent geraakt. Bijvoorbeeld via een vluchtstrook naast de rijbaan.
- Noodbescherming. Voorkomen dat het voertuig van het wegdek geraakt. Bijvoorbeeld door een vangrail te plaatsen.
- Beperken van de uitstroming (impact). Gegeven het incident, ervoor zorgen dat de impact zo beperkt mogelijk is. Bijvoorbeeld via kreukzones in de auto, gordels en airbags.
- Voorkomen van escalatie. Ervoor zorgen dat het incident niet erger wordt. Een beginnende brand snel blussen om uitbreiding te voorkomen. Voorkomen dat andere voertuigen bij het incident betrokken raken.
- Persoonlijke bescherming en hulpverlening. EHBO en professionele hulpverlening. Een slachtoffer zo snel mogelijk behandelen en daarmee de gevolgen voor het slachtoffer te beperken.

Dit is de opzet van het analysemodel. Bedrijven zijn verplicht om de veiligheid van de werknemer afdoende te beschermen, maar ze mogen zelf bepalen hoe. Net als dat een wegeigenaar een vluchtstrook of vangrail niet altijd nodig vindt (denk aan lokale wegen), kunnen ook bedrijven zelf bepalen hoe ze de veiligheid willen borgen en welke maatregelen daarvoor nodig zijn. In plaats van een vluchtstrook of vangrail kan misschien ook de maximale snelheid worden verlaagd.

De bovenstaande indeling komt in beeld bij het analyseren van incidenten. Het analysemodel laat zien welke beschermingslagen mogelijk zijn en welke bij het incident aanwezig waren.

Bij de analyses worden steeds drie vragen gesteld (zie Figuur 3.2):

- Wat ging er mis?
- Hoe ging het mis?
- Waarom ging het mis?



Figuur 3.2 Structuur van het analysemodel voor onderliggende factoren

Wat ging er mis?

Dit betreft de veiligheidsmaatregelen die tijdens het incident faalden. Met falen wordt bedoeld dat de benodigde bescherming tijdens het incident ontbrak. De benodigde bescherming was niet geïmplementeerd of werkte niet goed. Zoals gezegd, maakt het model onderscheid naar 41 verschillende veiligheidsmaatregelen, verdeeld over zes *lines of defence*. Welke veiligheidsmaatregelen bij de 326 incidenten faalden, en wat daarvan de gevolgen waren, wordt besproken in paragraaf 3.2 tot en met paragraaf 3.5.

In sommige gevallen waren veiligheidsmaatregelen succesvol. Ook dat wordt geregistreerd in het analysemodel. De afwegingen wanneer het functioneren van een maatregel gezien wordt als 'falend' of juist als 'succesvol' zijn beschreven in paragraaf B.1.4 van Bijlage 1.

Hoe ging het mis?

Veiligheidsmaatregelen kunnen alleen bescherming bieden als ze er zijn, en bovendien goed functioneren. In het analysemodel is dit vertaald naar vier elementen: veiligheidsmaatregelen moeten worden verschaft (geïmplementeerd), gebruikt en onderhouden en daarop moet worden toegezien. In paragraaf 3.6 wordt besproken hoe de veiligheidsmaatregelen in de verschillende *lines of defence* faalden.

Waarom ging het mis?

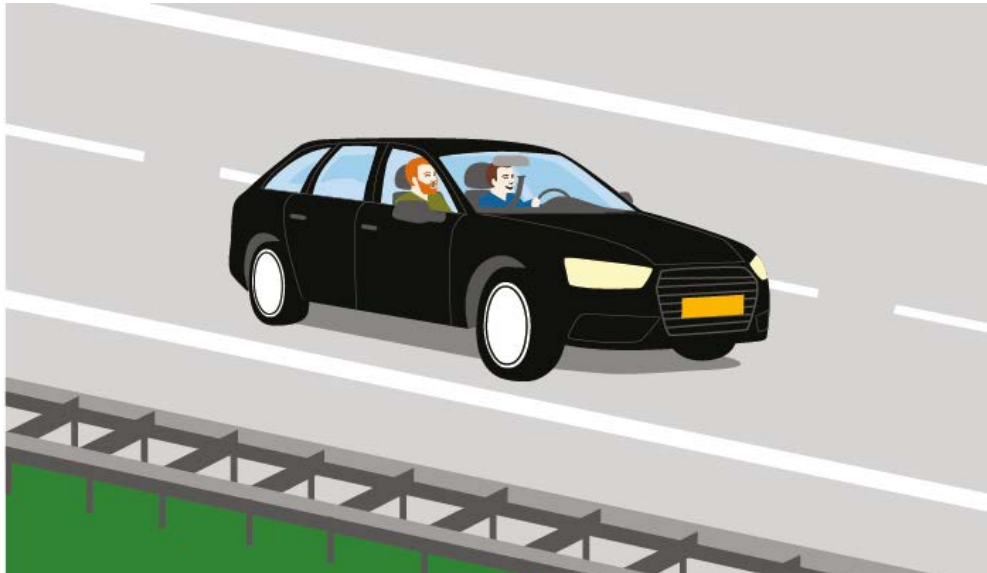
De organisatie moet ervoor zorgen dat veiligheidsmaatregelen er zijn en dat ze goed blijven functioneren en goed worden gebruikt. Bedrijven gebruiken daarvoor een veiligheidsmanagementsysteem. Voor de elementen daarvan worden in de analyses twee verschillende indelingen

gebruikt. Beide worden besproken in paragraaf 3.7, inclusief de bevindingen voor de 326 incidenten.

Hoofdstuk 3 is waarschijnlijk het meest technische hoofdstuk van dit rapport. Voor wie alleen geïnteresseerd is in de hoofdlijnen van de analyse, zijn de bevindingen samengevat in paragraaf 3.8.

3.2 1^e LoD: procesbeheersing

De eerste *line of defence* betreft de procesbeheersing. In de analogie met het voertuigongeluk betekent dit: (i) zorgen dat de rijbaan markeringen heeft die laten zien waar je mag rijden en (ii) er vervolgens ervoor zorgen dat je binnen de markeringen blijft. Om dat te bereiken moet bijvoorbeeld de bestuurder voldoende fit en alert zijn, het voertuig in een goede staat zijn en de snelheid geschikt zijn voor de heersende omstandigheden.



Met betrekking tot incidenten met gevaarlijke stoffen betekent het:

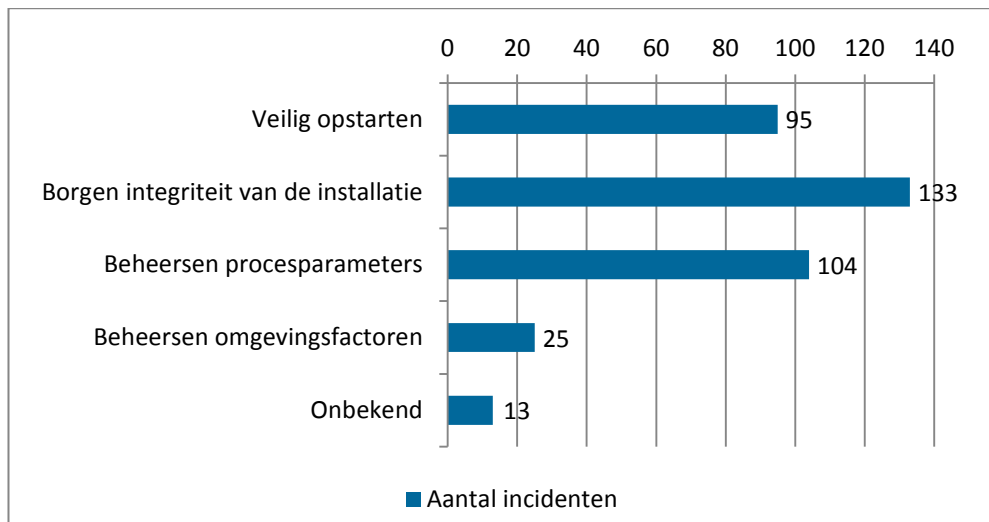
- i. **Veilig opstarten:** ervoor zorgen dat je handelingen veilig kunt uitvoeren.
- ii. **Borgen integriteit van de installatie:** ervoor zorgen dat de onderdelen van de installatie en de verbindingen in een goede conditie zijn en blijven ('asset integrity').
- iii. **Beheersen procesparameters:** ervoor zorgen dat de procesparameters binnen operationele grenzen blijven.
- iv. **Beheersen omgevingsfactoren:** voorkomen dat externe factoren leiden tot een incident.

In termen van veiligheidsmaatregelen omvat deze LoD achttien verschillende maatregelen, verdeeld over vier groepen. Het volledige overzicht van de maatregelen en de groepering ervan is opgenomen in paragraaf B3.2 van Bijlage 3. De maatregelen staan los van elkaar: per incident kunnen meerdere maatregelen falen.

3.2.1

Welke onderdelen van de procesbeheersing faalden?

In Figuur 3.3 is weergegeven welke groepen veiligheidsmaatregelen in de procesbeheersing het vaakst falen.¹⁴ Drie groepen scoren daarbij ongeveer even vaak: het borgen van de integriteit van de installatie, het beheersen van procesparameters en het veilig (op)starten. Bij het verbeteren van de veiligheid kunnen inspecties en bedrijven zich niet richten op één enkele maatregel met een groot effect.



Figuur 3.3 Falende groepen veiligheidsmaatregelen in de procesbeheersing

“Er is geen dominante oorzaak voor het ontstaan van incidenten. Bij het verbeteren van de veiligheid kunnen inspecties en bedrijven zich dus niet richten op één groep maatregelen met een groot effect.”

Borgen integriteit van de installatie:

Bij 133 incidenten (41%) faalden een of meer maatregelen die ervoor moesten zorgen dat de materiële integriteit van de installatie geborgd blijft.

- Bij 48 incidenten was de preventie van materiaalveroudering onvoldoende. In de meeste gevallen (30x) ging het om corrosievorming.
- Bij 38 incidenten was er onvoldoende aandacht voor de geschiktheid en bescherming van het materiaal. Er werden bijvoorbeeld ongeschikte materialen gebruikt of het materiaal werd onvoldoende beschermd tegen materiaaldegradatie.
- Bij 35 incidenten was sprake van losse of losgeraakte verbindingen. Meestal had dit betrekking op onjuiste montage van verbindingen.
- Bij 21 incidenten waren er tekortkomingen in het ontwerp van de installatie.
- Bij 17 incidenten waren onderdelen van de installatie niet of niet goed geïnstalleerd/gemonteerd.

¹⁴ Per incident kunnen meerdere veiligheidsmaatregelen falen.

Beheersen procesparameters:

Bij 104 incidenten (32%) waren procesparameters onvoldoende onder controle.

- Bij 53 incidenten was de beheersing van de processtromen onvoldoende. Dit ging bijvoorbeeld om te veel toevoer (16x), blokkades en verstoppingen (12x) en geen of te weinig afvoer (10x).
- Bij 26 incidenten werd de (proces)druk in installaties niet goed beheerst. In veruit de meeste gevallen ging het om het voorkomen van het ontstaan van een te hoge druk.
- Bij 23 incidenten ontstonden tijdens het reguliere proces ongewenste chemische reacties.
- Bij 13 incidenten was de temperatuur niet onder controle; 7 keer was er sprake van falende koeling en 6 keer van falende verwarming.

Veilig opstarten:

Het falen van maatregelen met betrekking tot het veilig opstarten speelde een rol bij 95 incidenten (29%).

- Bij 83 incidenten waren er geen of onvoldoende voorzorgsmaatregelen getroffen om ervoor te zorgen dat processen of werkzaamheden veilig konden worden opgestart. In 39 gevallen was het installatieonderdeel vooraf niet goed leeg- en schoongemaakt. In 36 gevallen werd een installatieonderdeel geopend dat niet goed was geïsoleerd, bijvoorbeeld door lekkende afsluiters of afsluiters in een verkeerde positie. In 13 gevallen werd begonnen met het vullen van een installatie terwijl er nog een onbedoelde opening was.
- Bij 13 incidenten werden werkzaamheden uitgevoerd aan het verkeerde insluitsysteem.

Voorbeeld falen veilig opstarten

Een operator werd gevraagd om een pomp in een procesleiding te ontluchten door demiwater toe te voegen. De operator was niet bekend met de installatie. De operator veronderstelde dat de leiding productvrij was en dat het demiwater moest worden toegevoegd via een aansluiting die met een blindflens was dichtgezet. Bij het losdraaien van de blindflens kwam op een gegeven moment een waaier van vloeistof naar buiten. De leiding bleek niet productvrij te zijn, maar zoutzuuroplossing te bevatten bij een druk van 6 bar.

De operator had vooraf geen goede instructies gekregen hoe de werkzaamheden moesten worden uitgevoerd, waardoor de operator ten onrechte dacht dat de blindflens moest worden opengedraaid en dat de leiding productvrij was. Er vond voorafgaand aan het losbuiten van de flens geen extra check plaats. Het opendraaien van de flens leidde daarna onherroepelijk tot het vrijkomen van product.

Beheersing omgevingsfactoren:

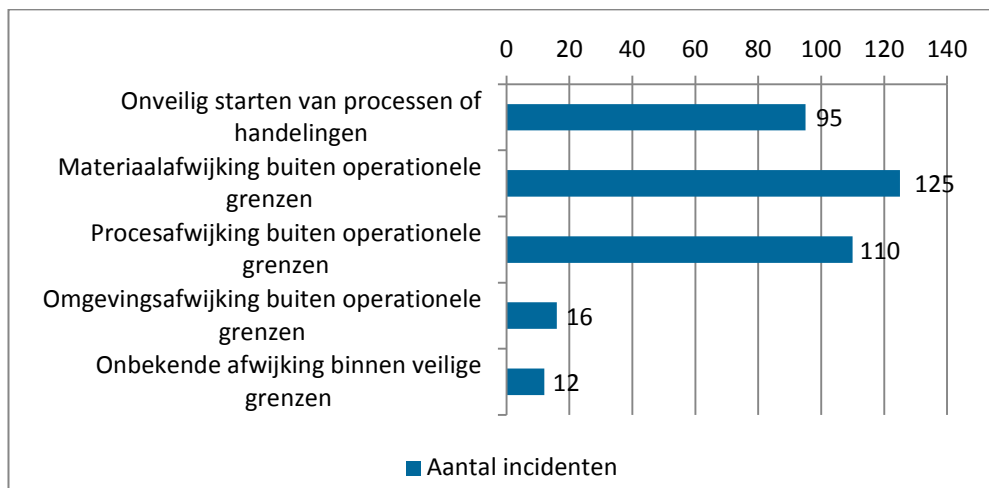
Bij 25 incidenten (8%) was sprake van een afwijking in de omgeving waar tegen de installatie onvoldoende werd beschermd.

- Tien keer ging het om het beveiligen tegen aanrijdingen.
- Acht keer ging het om het beschermen tegen opwarming door externe hittebronnen.
- Vier keer ging het om een storing in de elektriciteitsvoorziening.

3.2.2

Wat waren de gevolgen van het falen van de procesbeheersing?

Door het falen van de veiligheidsmaatregelen ontstaan er afwijkingen in de werkzaamheden of in de installatie. Dit zijn afwijkingen buiten operationele grenzen¹⁵, vergelijkbaar met het buiten de rijbaan geraken van het voertuig.¹⁶ Er is vooral sprake van (i) het onveilig starten van handelingen, (ii) materiaalafwijkingen buiten operationele grenzen en (iii) procesafwijkingen buiten operationele grenzen (zie Figuur 3.4). De afwijkingen zijn min of meer het spiegelbeeld van de falende veiligheidsmaatregelen van Figuur 3.3.



Figuur 3.4 Afwijkingen buiten operationele grenzen

Zie verder paragraaf B3.2.4 van Bijlage 3.

3.3

2^e LoD: herstel van afwijkingen buiten operationele grenzen

De tweede *line of defence* betreft maatregelen om afwijkingen buiten operationele grenzen tijdig te ontdekken en te corrigeren.

In de analogie met het voertuigongeluk betekent dit: ervoor zorgen dat herstel mogelijk is indien je toch buiten de rijbaan geraakt. Bijvoorbeeld via een vluchtstrook naast de rijbaan. De aanvullende bescherming die de vluchtstrook biedt, kan met maatregelen worden versterkt. Door het aanbrengen van fysieke markeringen (ribbels) op de vluchtstrook, zal de automobilist sneller gewaarworden dat hij op de vluchtstrook rijdt. Ook automatische detectiesystemen kunnen deze functie bieden. De

¹⁵ Per incident kunnen meerdere afwijkingen buiten operationele grenzen optreden.

¹⁶ Het eerste doel van het veiligheidsmanagement is immers om operationele grenzen vast te stellen en daar binnen te blijven.

bescherming die de vluchtstrook biedt, kan ook worden verzwakt. Bijvoorbeeld door obstakels op de vluchtstrook te plaatsen/tolereren. En als de vluchtstrook standaard als extra rijbaan wordt gebruikt, dan verliest die zijn functie als extra bescherming.



3.3.1

Welke onderdelen van het herstel van afwijkingen buiten operationele grenzen faalden?

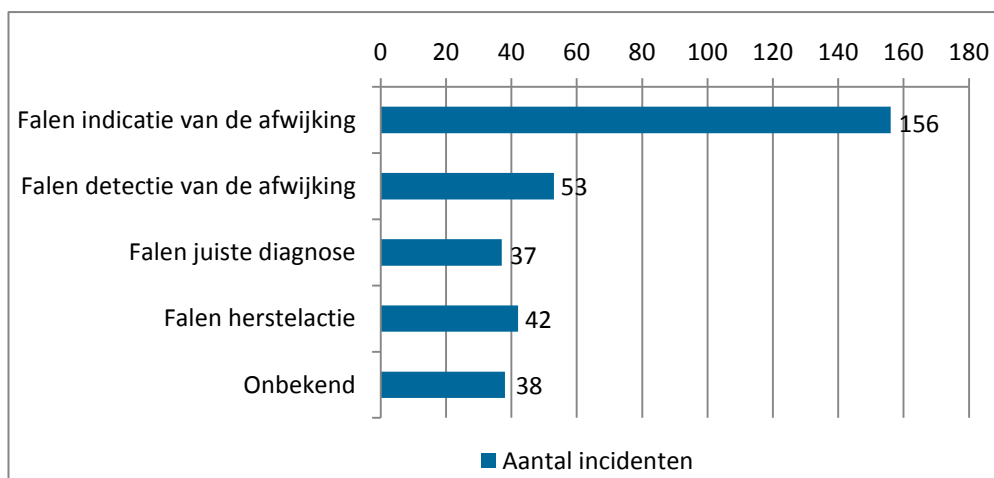
Voor incidenten met gevaarlijke stoffen bevat deze LoD maar één veiligheidsmaatregel die generiek voor alle incidenten van toepassing is: het herstellen van afwijkingen buiten operationele grenzen. In het analysemodel worden vier onderdelen onderscheiden die nodig zijn voor succesvol herstel van afwijkingen buiten operationele grenzen. Deze worden toegelicht aan de hand van de analogie met de vluchtstrook. Voor elk incident wordt één van deze elementen geselecteerd.

- i. **Indicatie:** de aanwezigheid van een markering tussen de rijbaan en de vluchtstrook. Hierdoor is het mogelijk te herkennen dat het voertuig buiten de rijbaan is geraakt.
- ii. **Detectie:** de gewaarwording dat het voertuig op de vluchtstrook rijdt. De detectie kan worden versterkt met ribbels op de vluchtstrook of met 'automatic line detection'.
- iii. **Diagnose:** het beseft dat het rijden op de vluchtstrook ongewenst is.
- iv. **Herstel:** het tijdig terugsturen naar de rijbaan.

Herstel van afwijkingen; de vier elementen van het analysemodel

- **Indicatie.** Er is een operationeel instrument, systeem of procedure waarmee afwijking tijdig kunnen worden gesignaleerd.
- **Detectie.** De indicatie van de afwijking leidt tot een zichtbaar, hoorbaar of anderszins detecteerbaar signaal. In het bijzonder is het signaal duidelijk (sterk) genoeg om het van de achtergrondruis te kunnen onderscheiden. De detectie kan door een persoon gedaan worden, maar ook door een automatisch systeem (bijvoorbeeld een automatisch beveiligingssysteem). Alleen de uitkomst (detectie van het signaal) telt.
- **Diagnose:** de aard en ernst van de waargenomen afwijking worden op juiste wijze geïnterpreteerd. De diagnose kan door personen worden gedaan maar ook door een automatisch systeem. Alleen de uitkomst (juiste diagnose) telt.
- **Herstelactie.** De juiste diagnose van de afwijking leidt tot maatregelen waarmee de (potentieel) onveilige situatie tijdig en adequaat wordt weggenomen. Met correctieve acties belandt het systeem weer binnen operationele grenzen. Eventueel worden activiteiten tijdelijk gestopt of gestaakt. Ook herstelacties kunnen zowel door personen als automatische systemen worden uitgevoerd. Alleen de juiste uitkomst is van belang.

In Figuur 3.5 is weergegeven hoe vaak de verschillende elementen van het herstel van afwijkingen faalden. Bij bijna de helft van de incidenten (156 incidenten, oftewel 48%) faalde de indicatie. Dat betekent dat de betreffende bedrijven geen geschikt en goed functionerend instrument of procedure hadden om afwijkingen tijdig te kunnen signaleren. Daardoor bleven ontstane afwijkingen onzichtbaar. De veiligheid kan worden verbeterd door meer te monitoren, uitgebreider te inspecteren en door voorafgaand aan handelingen aanvullende laatste controles uit te voeren.



Figuur 3.5 Wijze waarop het herstel van afwijkingen faalt

Voorbeeld falen indicatie afwijking

Hete stoom werd getransporteerd via een pijpleiding. Door een langdurige verhoogde druk in de leiding was vervorming van het metaal ontstaan ('kruip'). Deze afwijking in het materiaal van de leiding werd met het inspectieprogramma niet waargenomen. Daardoor kon het materiaal verder verzwakken tot het moment dat de leiding brak. Uit de leiding is een stuk met een gewicht van circa 300 kg weggevlogen dat 60 meter lager op een werkvloer terecht kwam. In de gevel van het pand is door de druk van de vrijkomende stoom een gat naar buiten geslagen.

Het falen van de leiding werd veroorzaakt door veroudering van het materiaal als gevolg van kruip. Het fenomeen kruip werd onderkend in inspectie en onderhoud, en werd gevolgd met niet-destructief onderzoek (NDO). Echter, de inspecties werden niet op de meest kritische plaats uitgevoerd maar op een andere plaats die beter bereikbaar was. Daarbij speelde een rol dat de richtlijnen voor het bepalen van de locatie van onderzoek naar kruip onduidelijk waren.

3.3.2*Wat waren de gevolgen van het falen van het herstel?*

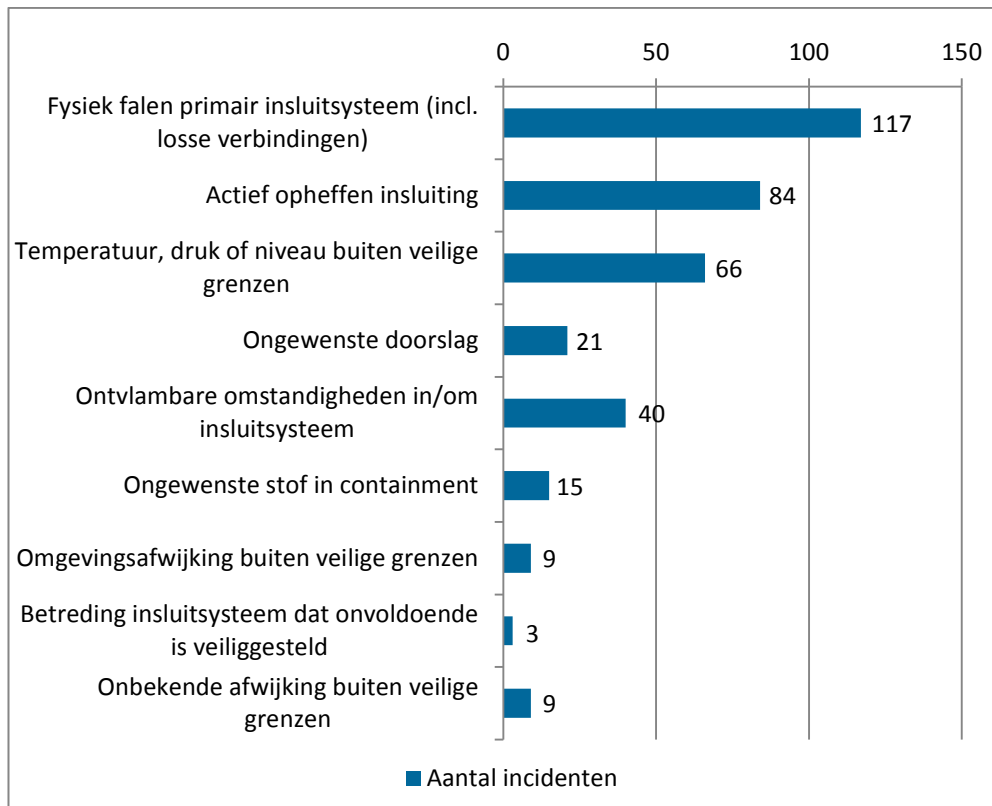
Het uitblijven van succesvol herstel leidt tot afwijkingen buiten veilige grenzen.¹⁷ De meest voorkomende afwijkingen zijn:

- het fysiek falen van het insluitsysteem of de verbindingen;
- het actief openen van een insluitsysteem dat ongewenst product bevat;
- druk, temperatuur of niveau buiten veilige grenzen;
- ontvlambare omstandigheden in een insluitsysteem of de directe omgeving daarvan.¹⁸

Bij de eerste twee typen afwijkingen komt meestal direct product vrij. Voor deze afwijkingen zijn dus nauwelijks verdere preventieve maatregelen mogelijk. In totaal gaat het om 59% van de incidenten. Bij de overige afwijkingen (41%) is nog geen sprake van een incident. Hiervoor zijn vaak wel verdere preventieve maatregelen mogelijk. Deze worden besproken in de volgende paragraaf.

¹⁷ Per incident kunnen meerdere afwijkingen buiten veilige grenzen optreden.

¹⁸ Ontvlambare omstandigheden in de omgeving van een insluitsysteem heeft betrekking op incidenten waarbij heetwerkzaamheden worden uitgevoerd in een omgeving die verontreinigd is met ontvlambaar product. Door de heetwerkzaamheden kan dit product uitdampen en eventueel ontbranden.



Figuur 3.6 Afwijkingen buiten veilige grenzen

Zie verder paragraaf B3.3.4 in Bijlage 3.

3.4 3^e LoD: noodbescherming

De derde *line of defence* betreft noodmaatregelen om een (ernstig) incident met gevaarlijke stoffen te voorkomen. In de analogie met het voertuigongeluk is dit een vangrail. De vangrail voorkomt dat een voertuig crasht in de berm. Het voertuig kan wel lichtere schade oplopen. Een vangrail is niet altijd mogelijk (c.q. redelijkerwijs haalbaar). Bijvoorbeeld in het geval van een rijbaan in een bebouwde omgeving met kruisingen en overstekende fietsers en voetgangers.



Voor incidenten met gevaarlijke stoffen betreft het ultieme middelen om ernstige incidenten te voorkomen als afwijkingen optreden en het herstel daarvan uitblijft. Het kan dan bijvoorbeeld gaan om het afblazen of affakkelen van gevaarlijke stoffen om daarmee te voorkomen dat een installatieonderdeel door te hoge druk in zijn geheel bezwijkt. Door die maatregel wordt een ernstig incident (bezwijken installatieonderdeel) vervangen door een minder ernstig incident.

Als eerste geldt dat niet voor alle typen incidenten noodmaatregelen bestaan om het incident te voorkomen nadat het herstel van de afwijking uitblijft. Bij 59% van de incidenten (zie Tabel 3.1) zijn er geen logische noodmaatregelen voorstelbaar. Het betreft vooral incidenten waarbij installaties bezwijken door materiaaldegradatie of zwakke verbindingen, en incidenten waarbij installaties actief worden geopend.

- Als bijvoorbeeld corrosie ontstaat (falen procesbeheersing) en deze niet tijdig met corrosie-inspectie wordt ontdekt (falen herstel), zal er een corrosielek ontstaan. Daarbij komen gevaarlijke stoffen direct vrij. Er is geen noodbeschermingsmaatregel tussen het falen van de corrosie-inspectie en het optreden van het corrosielek.
- Als een installatie voor werkzaamheden moet worden geopend en deze vooraf niet goed productvrij is gemaakt (falen procesbeheersing), en dat ook niet wordt ontdekt (falen herstel), komen er bij het openen van de installatie direct gevaarlijke stoffen vrij. In de meeste gevallen is daar verder niks tegen te doen en kan alleen nog de uitstroombuur/-hoeveelheid worden beperkt (zie paragraaf 3.2.1). In een enkel geval had uitstroming toch voorkomen kunnen worden, bijvoorbeeld met een vergrendelsysteem (interlock). Zie daarvoor de volgende paragraaf.

Tabel 3.1 Mogelijkheden voor noodbescherming

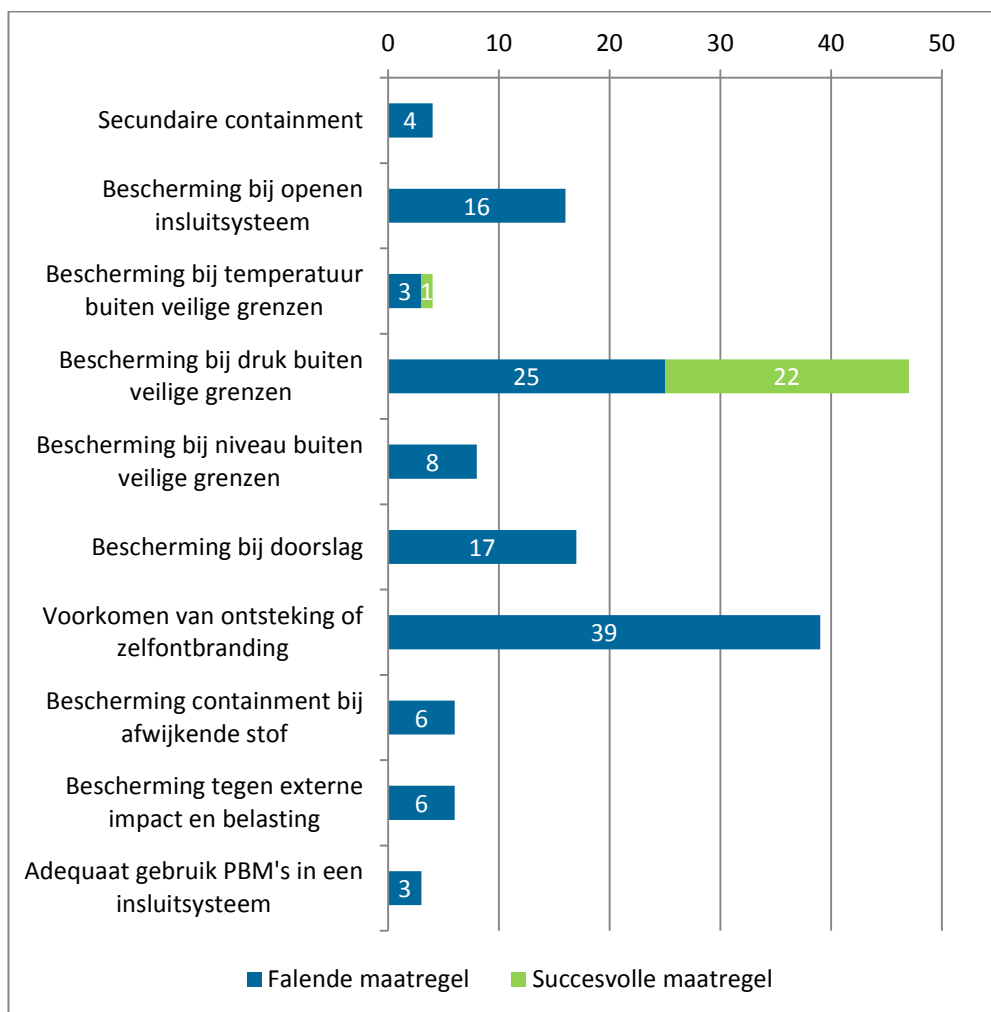
Mogelijkheden voor noodbescherming	Aantal incidenten
Noodbescherming mogelijk	135 (41%)
Noodbescherming niet mogelijk/niet realistisch	191 (59%)

“Voor 59% van de onderzochte incidenten bestonden geen (redelijkerwijs haalbare) noodmaatregelen. De veiligheid berustte op twee pijlers: veilige procesbeheersing en tijdig herstel van afwijkingen.”

3.4.1

Welke onderdelen van de noodbescherming faalden of waren succesvol?

In Figuur 3.7 is weergegeven welke noodbeschermingsmaatregelen faalden of succesvol waren.¹⁹ Deze figuur heeft alleen betrekking op de 135 incidenten waarbij noodmaatregelen mogelijk waren (zie Tabel 3.1). De maatregelen staan los van elkaar: per incident kunnen meerdere maatregelen falen of succesvol zijn.



Figuur 3.7 Veiligheidsmaatregelen met betrekking tot noodbescherming: aantal keer dat de veiligheidsmaatregel faalde of succesvol was. NB: Niet alle incidenten hebben een 3^e LoD

Maatregelen zijn 'succesvol' als ze de veiligheidsfunctie die ze moesten vervullen, ook daadwerkelijk (goed) vervulden. De noodbescherming tegen druk buiten veilige grenzen heeft als functie te voorkomen dat een installatieonderdeel ten gevolge van (te) hoge druk bezwijkt. Er waren

¹⁹ De betekenis van 'falen' en van 'succes' is beschreven in paragraaf B1.4.

22 incidenten waarbij die maatregel goed heeft gefunctioneerd. Desalniettemin is er wel product afgeblazen of afgefakkeld en daarom is er wel sprake van een incident. Om in de analogie met het auto-ongeluk te blijven: een vangrail dient om ernstige ongevallen te voorkomen, niet om een auto geheel schadevrij tot stilstand te brengen.

Voorómen van ontsteking of zelfontbranding

Brand ontstaat wanneer een ontvlambaar mengsel een ontstekingsbron ontmoet.²⁰ Het voorkomen van ontsteking van ontvlambare mengsels is een preventieve maatregel voor directe brand of explosie (voorafgaand aan uitstroming van gevaarlijke stoffen) en een repressieve maatregel voor vertraagde brand of explosie (na het vrijkomen van gevaarlijke stoffen). De preventieve maatregel is ondergebracht in de 3^e LoD en faalde 39 keer. Daarbij ging het 16 keer om de aanwezigheid van een ontstekingsbron in een insluitsysteem, 5 keer om statische elektriciteit en 2 keer om hotspots. 11 keer was er sprake van zelfontbranding. De repressieve maatregel is ondergebracht in de 5e LoD, zie paragraaf 3.5.

Bescherming bij druk buiten veilige grenzen

Dit is een noodbescherming die als functie heeft te voorkomen dat een installatieonderdeel ten gevolge van (te) hoge druk bezwijkt. Hieronder vallen emergency shutdown systemen (ESD), breekplaten, noodafblaassytemen en explosieluiken. De maatregel was 25 keer niet succesvol en 22 keer wel.²¹

Voorbeeld falen drukbeveiliging

Een procesinstallatie werd opnieuw in gebruik genomen na onderhoud. Daarbij moesten twee reactoren in de installatie worden opgewarmd met een opwarmvloeistof. Doordat de opwarming aanvankelijk niet snel genoeg verliep, is de warmtetoevoer verhoogd. Daarna ontstonden door chemische reacties in de installatie afwijkingen in niveau, druk en temperatuur. De oorzaken van deze afwijkingen in procesparameters werden niet tijdig herkend en weggenomen. Daardoor ontstond er een hoge druk buiten veilige grenzen in de installatie.

In het ontwerp was voorzien dat bij zeer hoge druk ontlasting van de druk mogelijk zou zijn via een afgassysteem en via drukontlastingskleppen in de installatie. Door de eerdere niveauafwijkingen in de installatie was het afgassysteem echter al dicht komen te staan. De capaciteit van de drukontlastingskleppen was onvoldoende om de snelle druktoename door chemische reacties te compenseren. Als gevolg hiervan zijn een reactorvat en een separatorvat in de installatie door te hoge druk bezweken.

²⁰ Boven de zelfontbrandingstemperatuur van stoffen kunnen deze zonder ontstekingsbron ontsteken.

²¹ Zie eerdere opmerking voor de betekenis van 'succesvol'.

Bescherming bij openen insluitsysteem

Als een insluitsysteem dat onvoldoende productvrij is gemaakt wordt geopend, dan zijn er in het algemeen geen maatregelen meer om uitstroming van die gevaarlijke stoffen te voorkomen. Hierop zijn drie uitzonderingen opgenomen in het model:

- Sommige installaties bevatten vergrendelsystemen (interlock systemen). Dit zijn automatische of procedurele beveiligingen die voorkomen dat installatieonderdelen die onvoldoende zijn geïsoleerd van de rest van de installatie, worden geopend. Bij zeven incidenten had de uitstroming volgens het ongevalsonderzoek met een goed werkend vergrendelsysteem kunnen worden voorkomen.
- Openingen die buiten gebruik zijn of alleen bij uitzondering worden gebruikt, kunnen worden afgeblind met een extra blindflens of blindplaat. Bij zes incidenten had uitstroming op die manier kunnen worden voorkomen.
- Procedures voor het verhelpen van blokkades. Bij blokkades in een insluitsysteem wordt het systeem geopend om de blokkade op te heffen. Het veilig handelen daarbij is ook ondergebracht in deze LoD.²² Bij drie incidenten was er sprake van een blokkade die op onveilige wijze werd verholpen, namelijk met onvoldoende aandacht voor de oorzaak van de blokkade.

3.4.2

Wat waren de gevolgen van het falen van de noodbescherming?

Door het falen van de verschillende veiligheidsmaatregelen in de eerste drie LoD's ontstonden incidenten. Het model maakt onderscheid naar het vrijkomen van gevaarlijke stoffen, brand, explosie en blootstelling aan gevaarlijke stoffen binnen een insluitsysteem. Combinaties daarvan zijn ook mogelijk. De aard van de incidenten is al besproken in paragraaf 2.3.1 van dit rapport. Meer detail is beschikbaar in paragraaf B3.4.4 van Bijlage 3.

3.5

Mitigerende maatregelen (4^e, 5^e en 6^e LoD's)

Als incidenten eenmaal zijn ontstaan, dienen bedrijven de gevolgen ervan zo snel en zo goed mogelijk te beperken. Hiervoor onderscheidt het model drie verschillende *lines of defence*.

4^e LoD: beperking van de uitstroming

In de analogie met het auto-ongeluk betreft dit het beperken van de impact van het incident. Bijvoorbeeld de kreukelzone in auto's, airbags en het gebruik van veiligheidsgordels.

²² De blokkade ontstaat meestal door een verkeerde stroming (falen procesbeheersing). Als deze oorzaak onvoldoende wordt hersteld, treedt de blokkade op. Het verhelpen van de blokkade is een noodmaatregel.



Met betrekking tot incidenten met gevaarlijke stoffen betreft dit maatregelen om het insluitsysteem te sluiten, de toevoer te beperken of de druk in het systeem te reduceren.

5^e LoD: voorkoming van escalatie

In de analogie met het auto-ongeluk gaat dit om maatregelen die moeten voorkomen dat het incident groter wordt (escaleert).

Bijvoorbeeld het plaatsen van een gevarendriehoek om te voorkomen dat meer voertuigen betrokken raken bij het incident, en het bestrijden van brand in of om de auto.



Voor incidenten met gevaarlijke stoffen gaat het om:

- de noodopvang van vloeistoffen;
- het verder beperken van de verdamping, bijvoorbeeld door middel van een schuimlaag;
- het beperken van de dispersie, bijvoorbeeld door middel van een waterscherp;

- het voorkomen dat ontvlambare stoffen alsnog ontsteken;
- het bestrijden van brand om brandoverslag te voorkomen;
- het aanhouden van voldoende afstand tussen installatie om domino-effecten te voorkomen.

6^e LoD: persoonlijke bescherming en hulpverlening

In de analogie met het auto-ongeluk gaat dit vooral om hulpverlening (door medepassagiers, omstanders en professionals).



Voor incidenten met gevaarlijke stoffen gaat het om:

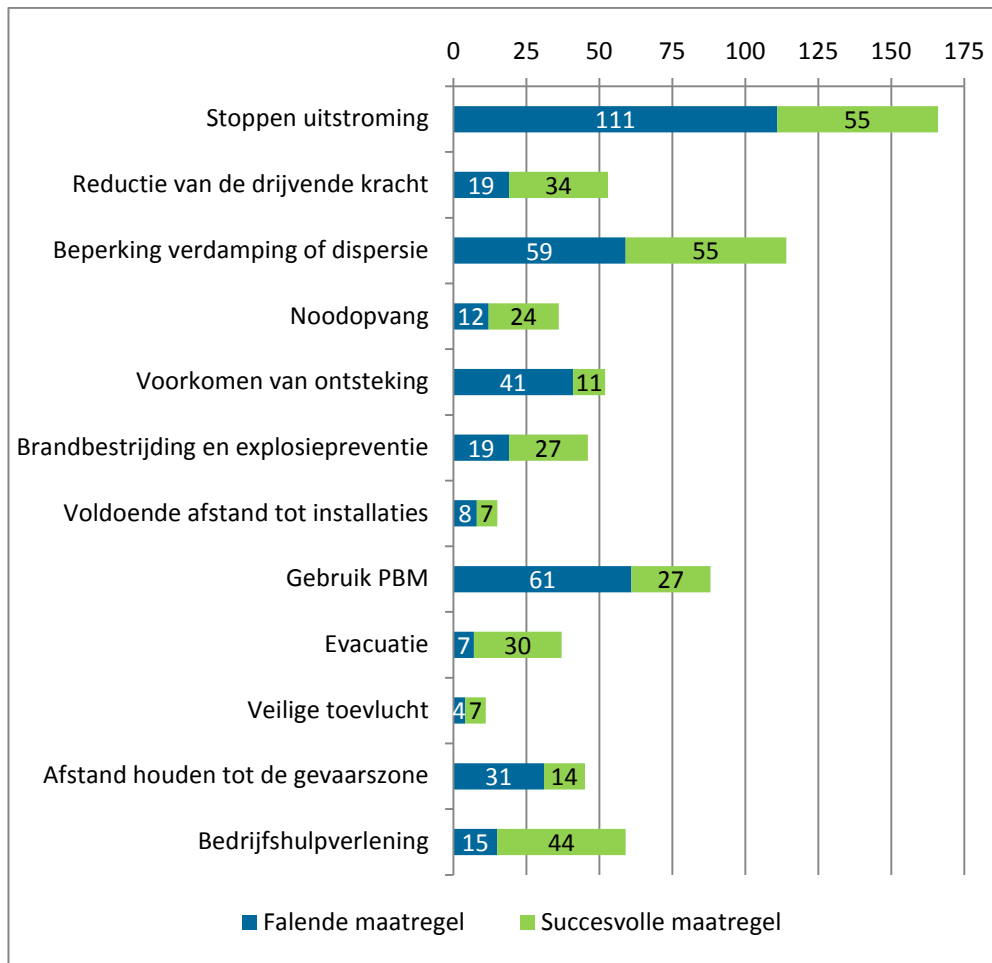
- het gebruik van persoonlijke beschermingsmiddelen (PBM's);
- het vluchten van slachtoffers;
- het evacueren van overige personen binnen het effectgebied;
- het aanhouden van een veilige afstand tot de ongevalslocatie (c.q. deze niet zonder afdoende bescherming benaderen);
- het bieden van hulpverlening op locatie of in een ziekenhuis.

3.5.1

Welke mitigerende maatregelen faalden of waren succesvol?

In totaal omvat het analysemodel twaalf maatregelen om de ernst van de gevolgen te beperken. In Figuur 3.8 is weergegeven hoe vaak deze maatregelen faalden of succesvol waren.²³ De genoemde maatregelen staan los van elkaar: per incident kunnen meerdere maatregelen falen en/of succesvol zijn. Verder is niet elke maatregel relevant voor elk incident. In totaal zijn er bij de 326 incidenten 385 falende maatregelen geïdentificeerd en 335 succesvolle.

²³ De betekenis van 'falen' en van 'succes' is beschreven in paragraaf B1.4.



Figuur 3.8 Mitigerende veiligheidsmaatregelen: aantal keren dat deze maatregelen faalden of succesvol waren.

Stoppen van de uitstroming

Het stoppen van de uitstroming was het vaakst relevant, namelijk bij 166 van de 326 incidenten. Bij tweederde van deze incidenten (111x) faalde de maatregel. Het gaat bijvoorbeeld om openstaande afsluiters die niet meer konden worden dichtgezet, losgeraakte verbindingen die niet meer konden worden hersteld en gaten in installatieonderdelen die niet met een plug of klem konden worden gedicht. Bij 55 incidenten kon de uitstroming wel snel worden gestopt, bijvoorbeeld door een flens snel weer dicht te draaien of door een toevoerklep dicht bij de uitstroomlocatie te sluiten.

Beperken van de verdamping en de dispersie

Met schuimlagen, waterschermen en vergelijkbare maatregelen kunnen de verdamping en dispersie van gevaarlijke stoffen worden beperkt. Bij 59 incidenten lukte dit niet, of niet goed. Bij 55 incidenten lukte het wel. Vaak werd er dan een waterscherm gebruikt (32x).

Voorkómen van ontsteking

Bij 41 incidenten kwamen ontvlambare stoffen vrij die na vrijkomen alsnog ontstaken. Als gevolg daarvan ontstond alsnog een brand of explosie. Voor twintig van deze incidenten is het ontstekingsmechanisme bekend. Elf keer ging het om spontane ontbranding direct bij uitstroming,

vier keer waren er heetwerkzaamheden in de omgeving, twee keer ontstekingsbronnen in de omgeving en twee keer statische elektriciteit.

Gebruik van persoonlijke beschermingsmiddelen (PBM)

Bij 61 incidenten werden tekortkomingen geconstateerd in het gebruik van persoonlijke beschermingsmiddelen. Dat betekent dat het letsel minder ernstig had kunnen zijn als het personeel geschikte persoonlijke beschermingsmiddelen had gehad en had gebruikt. De betreffende incidenten traden op tijdens onderhoud, reiniging en inspectie (31x), tijdens normaal bedrijf (26x) en tijdens opstarten (4x). Bij 26 incidenten werd een insluitsysteem actief geopend. Er waren 27 incidenten waarbij persoonlijke beschermingsmiddelen wel (goed) werden gebruikt, waardoor het letsel succesvol werd beperkt.

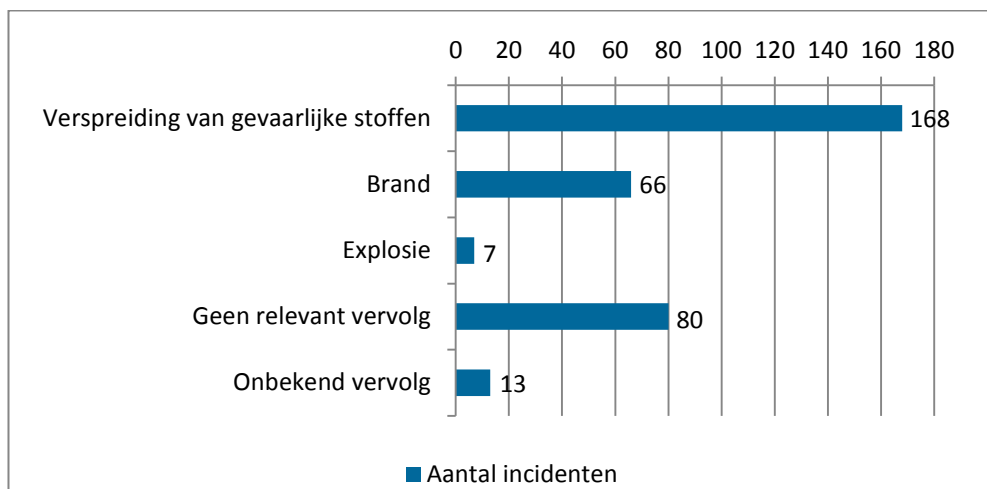
Evacuatie en bedrijfshulpverlening

Evacuatie en bedrijfshulpverlening zijn typen maatregelen die relatief vaak succesvol waren.

3.5.2

Wat waren de gevolgen van het falen van mitigerende maatregelen?

In het analysemodel worden eerste de fysische vervolgeffekten van het incident benoemd (Figuur 3.9) en daarna de wijze waarop eventuele personen werden blootgesteld (Tabel 3.2).



Figuur 3.9 Type vervolg van het incident. Per incident kunnen meerdere typen optreden.

De fysische vervolgeffekten van het incident zijn weergegeven in Figuur 3.9. Dit zijn de fysische effecten die na aanvang van het incident (zie paragraaf 3.4.2) ontstaan of optreden. De fysische vervolgeffekten hangen af van het slagen en/of falen van verschillende mitigerende maatregelen in het model.

- Bij 168 incidenten (52%) had het incident tot gevolg dat gevaarlijke stoffen zich via de lucht verder verspreidden. Bij een onbekend deel daarvan was dat vanaf een 'veilige uitstroomlocatie', dat wil zeggen: een verhoogd emissiepunt met als doel de blootstelling aan gevaarlijke stoffen op de grond te beperken.
- Bij 66 incidenten was er enige tijd sprake van brand en bij 7 incidenten leidde het incident tot een explosie.

- Bij 80 incidenten was het incident weer snel voorbij en was er geen relevant vervolgeffect. Dit betreft incidenten waarbij geen gevaarlijke stoffen vrijkwamen, en incidenten waarbij de vrijkomende stoffen effectief werden opgevangen zodat de verdamping en dispersie van de stoffen minimaal waren.

In paragraaf B3.5.4 van Bijlage 3 zijn de fysische vervolgeffecten in detail beschreven. De totale fysische effecten van het incident zijn een combinatie van de directe effecten en de vervolgeffecten. Die combinatie is in paragraaf 2.3.3 beschreven.

Bij 120 incidenten was er sprake van blootstelling van één of meerdere personen. Daarbij waren in totaal 224 personen betrokken.²⁴ Het type blootstelling is weergegeven in Tabel 3.2. Het vaakst was er sprake van blootstelling aan een stof met een toxische werking (91x) of aan een stof met een zure, bijtende of irriterende werking (76x).²⁵ Slachtoffers kunnen bij een incident aan meer dan één gevaar zijn blootgesteld.

Tabel 3.2 Type blootstelling en aantal betrokken personen

Type blootstelling	Aantal personen
Blootstelling aan een stof met een toxische werking	91
Blootstelling aan een stof met een zure, bijtende of irriterende werking	76
Blootstelling aan rook- of verbrandingsproducten	5
Blootstelling aan toxische decompositie producten	3
Zuurstofverdringing	3
Blootstelling aan heet of koud product	25
Blootstelling aan hitte(straling) of vlamcontact	22
Blootstelling aan overdruk/drukgolven	16
Impact door val (van persoon)	3
Impact met vallende of wegschietende objecten	1
Onbekend type impact/blootstelling	5

Blootstelling resulteert in letsel. Dit letsel is besproken in paragraaf 2.4.2.

3.6 Hoe faalden de veiligheidsmaatregelen?

Veiligheidsmaatregelen kunnen alleen bescherming bieden als ze er zijn, en ze bovendien goed functioneren. Het analysemodel bevat vier onderdelen ('barrièretaken'). Voor elke falende veiligheidsmaatregel wordt gekozen welk onderdeel het meest van toepassing is.

²⁴ Voor negen incidenten met in totaal negen personen was de blootstelling dusdanig gering dat de personen in het model niet als 'slachtoffer' zijn geregistreerd. Daardoor zijn er 111 incidenten met 215 slachtoffers.

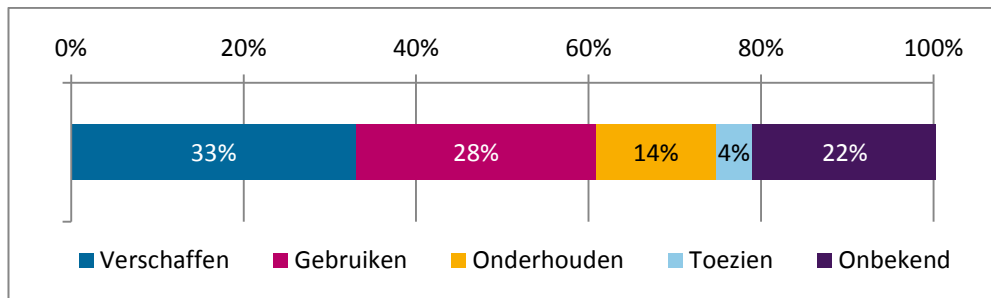
²⁵ Bij de analyses is de omschrijving van de blootstelling in het incidentonderzoek gevolgd. Niet alle stoffen met een toxische werking zijn formeel geclassificeerd als toxische stof en niet alle stoffen met een zure, bijtende of irriterende werking zijn officieel geclassificeerd als zure, bijtende of irriterende stof.

Hoe ging het mis? De vier onderdelen (barrièretaken) van het analysemodel.

- **Verschaffen.** De veiligheidsmaatregel moet er zijn, c.q. aanwezig/verschafft/geïmplementeerd zijn. Dit betekent dat de organisatie allereerst de noodzaak van de maatregel heeft erkend en daar vervolgens ook invulling aan heeft gegeven. Dat betekent dat er instrumenten, apparaten of procedures zijn om de beoogde veiligheidsfunctie te kunnen vervullen.
- **Gebruiken.** De instrumenten, apparaten en procedures die de veiligheidsfunctie moesten vervullen, moeten door de organisatie en het personeel ook daadwerkelijk worden gebruikt. Een procedure is bijvoorbeeld alleen effectief als die goed wordt gevolgd, en een veiligheidshelm werkt alleen als die wordt gedragen.
- **Onderhouden.** De veiligheidsmaatregel moet na de implementatie ervan blijven werken. Met andere woorden, de werking van de veiligheidsmaatregel mag niet worden ondermijnd door veranderingen in de processen, het materiaal of de werkwijze. Een alarm dat tijdelijk is uitgeschakeld, is een voorbeeld van een veiligheidsmaatregel die niet is onderhouden. Een materiaalinspectieprogramma waarvan de scope na verloop van tijd is gereduceerd, is een ander voorbeeld.
- **Toezien.** Het management van de organisatie heeft een specifieke taak om erop toe te zien dat regels en procedures goed worden nageleefd. Als systematisch wordt afgeweken van regels en procedures, dan wordt dit geïdentificeerd als het falen van het toezicht. Het verschil met gebruiken en onderhouden is dat hier sprake is van systematische afwijkingen.

In Figuur 3.10 is weergegeven hoe de veiligheidsmaatregelen gemiddeld genomen falen. Eenderde (33%) van alle falende maatregelen faalde doordat ze niet of niet goed waren geïmplementeerd (verschafft). De instrumenten of procedures die nodig waren om de veiligheid te borgen, waren ontoereikend of geheel afwezig. Het ging bij de incidenten onder meer om onvolledige procedures voor opstarten, om ontbrekende of onvoldoende gevoelige materiaalinspecties en om noodafblaassystemen waarvan de capaciteit onvoldoende was.

Ook tekortkomingen in het gebruik van veiligheidsvoorzieningen komen veelvuldig voor. 28% van alle falende veiligheidsmaatregelen faalde door foutief gebruik of toepassing van een beschikbare maatregel. Dit betekent dat de organisatie wel geschikte instrumenten of procedures had geïmplementeerd om de veiligheid te borgen, maar dat deze door de werknemers of de organisatie niet of niet goed werden gebruikt/toegepast. Dit kan komen door onvoldoende bekendheid met voorschriften en procedures of door onvoldoende naleving ervan. De aard van onderliggende menselijke fouten wordt verder toegelicht in paragraaf 4.3.



Figuur 3.10 Wijze waarop veiligheidsmaatregelen falen. Gemiddelde incidentie per falende veiligheidsmaatregel.

De wijze waarop veiligheidsmaatregelen faalden, vertoonde tussen de verschillende *lines of defence* in het model kleine verschillen. Voor de eerste *line of defence* was ook het onderhouden van de veiligheidsfunctie nog relevant. Bijlage 3 bevat de gegevens per *line of defence*.

3.7 Waarom faalden veiligheidsmaatregelen?

Dit betreft achterliggende oorzaken, waardóór de benodigde bescherming ontbrak. Dit zijn oorzaken op organisatieniveau. In het analysemodel worden twee verschillende indelingen gebruikt: één generieke indeling van het Storybuilder-model die voor alle incidentanalyses met Storybuilder wordt gebruikt (zie paragraaf 3.7.1), en één indeling die specifiek voor Brzo-bedrijven geldt (zie paragraaf 3.7.2).

3.7.1 Managementfactoren (Storybuilder-model)

Het treffen van veiligheidsmaatregelen en het ervoor zorgen dat deze doeltreffend blijven, berust op een aantal 'managementfactoren'. Het personeel moet bijvoorbeeld voldoende kennis en ervaring hebben, mensen moeten goed alert zijn op misstanden en moeten goed samenwerken en communiceren. De organisatie moet zorgen voor geschikte werkplannen en -procedures, en voor geschikt materiaal en materieel.

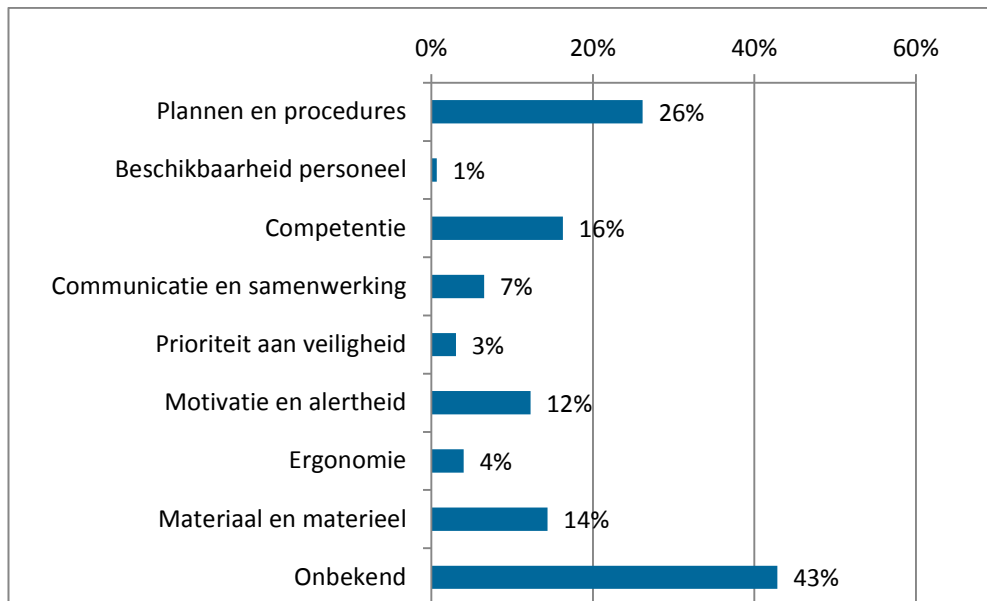
In het Storybuilder-model [12] worden acht verschillende onderdelen onderscheiden die er gezamenlijk voor moeten zorgen dat de veiligheid voldoende is geborgd. Daar waar veiligheidsmaatregelen falen, wordt bekeken welke onderdelen een (negatieve) rol speelden bij het falen. Daarbij mogen maximaal drie elementen worden aangevinkt.

Waarom ging het mis? De acht onderdelen van het analysemodel.

- **Plannen en procedures:** voorschriften, werkinstructies, handleidingen, checklists, onderhoudsschema's, enzovoort. De schriftelijke vastlegging van de manier waarop het bedrijf wil werken.
- **Beschikbaarheid personeel:** ervoor zorgen dat er voldoende personeel is om de verschillende taken in de veiligheidsbeheersing uit te voeren.
- **Competentie:** ervoor zorgen dat het personeel voldoende kennis, ervaring en vaardigheden heeft om de taken te kunnen uitvoeren.
- **Communicatie en samenwerking:** onderlinge afstemming, communiceren hoe het werk moet worden gedaan, elkaar op de hoogte brengen als iets anders loopt dan gepland, of als er technische storingen of afwijkingen zijn.
- **Motivatie en alertheid:** geconcentreerd werken, regels volgen, je inleven in mogelijke risico's en proactief handelen.
- **Prioriteit aan veiligheid:** voldoende aandacht voor veiligheid op organisatieniveau, het veiligheidsbelang niet ondergeschikt stellen aan andere belangen, zoals financiële.
- **Ergonomie:** ervoor zorgen dat de te gebruiken middelen prettig in gebruik zijn en voorkómen dat suboptimaal ontwerp leidt tot foute beslissingen of beoordelingen.
- **Materieel:** het materiaal waaruit installaties zijn opgebouwd is van geschikte kwaliteit, de instrumenten kunnen hun functie uitvoeren en de juiste gereedschappen voor onderhoud zijn voorhanden.

In Figuur 3.11 is weergegeven waarom veiligheidsmaatregelen in de verschillende *lines of defence* falen. Bij 26% van de falende veiligheidsmaatregelen spelen tekortkomingen in de (werk)plannen en procedures een rol, gevolgd door competentie (16%), materiaal en materieel (14%) en motivatie en alertheid (12%). Verder is het aandeel 'onbekend' groot; bij 43% van de falende maatregelen kon niet worden vastgesteld welke onderliggende managementfactoren bij het falen een rol speelden.

Tekortkomingen in de (werk)plannen en procedures kunnen betrekking hebben op het afwezig zijn van voorschriften, werkplannen en procedures. Vaker komt het voor dat er wel voorschriften en procedures zijn, maar dat deze ofwel onduidelijk zijn of onvolledig/ontoereikend. In Bijlage 3 worden voor falende maatregelen in de verschillende *lines of defence* voorbeelden gegeven.



Figuur 3.11 Waarom falen veiligheidsmaatregelen? Gemiddelde incidentie van managementfactoren per falende veiligheidsmaatregel.

3.7.2 Tekortkomingen in het Veiligheidsbeheerssysteem (VBS)

In de Seveso III-richtlijn [9] (voorheen Seveso-II) is voorgeschreven dat de inrichtingen die onder de richtlijn vallen een veiligheidsbeheerssysteem (VBS) moeten implementeren. In Bijlage III van de richtlijn zijn zeven elementen vermeld die in het VBS moeten worden opgenomen. In het Storybuilder MHC-model zijn deze zeven onderdelen toegevoegd aan de analysestructuur. Het betreft een alternatief voor de 'management-factoren' van de vorige paragraaf. Voor elke falende veiligheidsmaatregel wordt onderzocht welke VBS-elementen een (negatieve) rol speelden bij het falen.

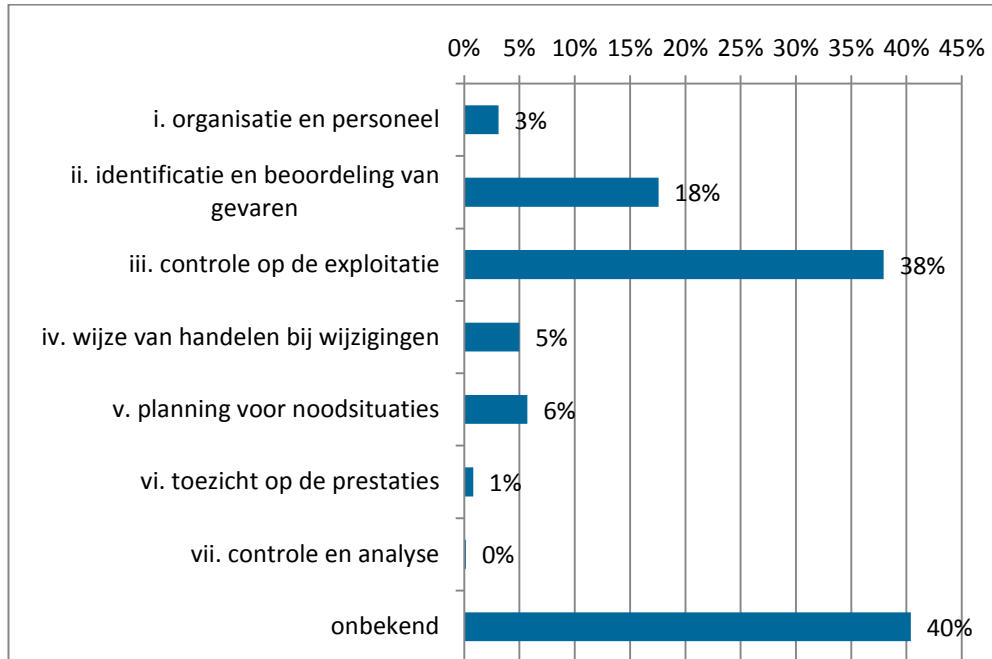
De zeven onderdelen van het Veiligheidsbeheerssysteem (VBS)

- i. De organisatie en het personeel.
- ii. De identificatie van gevaren en de beoordeling van de risico's van zware ongevallen.
- iii. De controle op de exploitatie.
- iv. De wijze waarop wordt gehandeld bij wijzigingen.
- v. De planning voor noodsituaties.
- vi. Het toezicht op de prestaties.
- vii. Controle en analyse.

De VBS-onderdelen zijn beschreven in Bijlage III van de Seveso-richtlijn.

In Figuur 3.12 is weergegeven welke tekortkomingen in het VBS een rol speelden bij het falen van veiligheidsmaatregelen in de verschillende *lines of defence*. Bij 38% van de falende maatregelen was er sprake van tekortkomingen in de 'controle op de exploitatie' (onderdeel iii). Tekortkomingen met betrekking tot de identificatie van gevaren en de beoordeling van risico's (onderdeel ii) zijn relevant voor 18% van de falende maatregelen.

In paragraaf 4.2 worden de tekortkomingen in de VBS-onderdelen ii, iii en iv in meer detail besproken. In Bijlage 3 is per *line of defence* aangegeven welke tekortkomingen in het VBS relevant waren.



Figuur 3.12 Tekortkomingen in het VBS gerelateerd aan het falen van maatregelen. Gemiddelde incidentie van tekortkomingen in het VBS per falende veiligheidsmaatregel.

3.8 Samenvatting

Het analysemodel geeft op een gestructureerde manier inzicht in de directe en achterliggende oorzaken van incidenten. In het model zijn 41 veiligheidsmaatregelen opgenomen die ofwel moeten voorkomen dat incidenten optreden ofwel de ernst van de gevolgen zo veel mogelijk moeten beperken. Deze maatregelen zijn verdeeld over zes *lines of defence* (LoD's) waarvan er drie zijn gericht op het voorkomen van het ontstaan van incidenten en drie op het beperken van de gevolgen.

Bij elk incident faalt minimaal één veiligheidsmaatregel in de 1^e LoD en ook minimaal één maatregel in de 2^e LoD. In de overige LoD's kunnen maatregelen zowel falen als succesvol zijn.

Voor alle falende maatregelen wordt onderzocht hoe de maatregel faalde en waarom. Voor deze analyse van onderliggende oorzaken worden telkens dezelfde elementen gebruikt.

In de 1^e LoD, de procesbeheersing, valt op dat er niet één enkele groep veiligheidsmaatregelen is die er (negatief) uitspringt. Incidenten ontstaan vanwege tekortkomingen in (i) het borgen van de integriteit van installaties, (ii) het beheersen van procesparameters en (iii) door het onveilig opstarten van processen en handelingen.

In de 2^e LoD, het herstel van afwijkingen, valt op dat bij bijna de helft van alle incidenten een goede indicatie van de afwijking ontbreekt. Hierdoor

blijven de afwijkingen buiten beeld en worden ze niet hersteld. De veiligheid kan worden verbeterd door meer te monitoren, uitgebreider te inspecteren en door voorafgaand aan handelingen aanvullende laatste controles uit te voeren.

In de 3^e LoD, de noodmaatregelen, valt op dat noodmaatregelen maar voor een beperkt deel van de incidenten (41%) mogelijk zijn. Het betreft vooral het beschermen van installaties tegen te hoge druk en het voorkómen van ontsteking van ontvlambare mengsels binnen installaties. Voor de overige 59% van de incidenten zijn geen noodmaatregelen mogelijk en berust de veiligheid dus op twee pijlers: de goede procesbeheersing en het tijdig herstel van eventuele afwijkingen.

In de mitigerende LoD's (4^e, 5^e en 6^e) waren bij de 326 incidenten 335 succesvolle maatregelen zichtbaar en 385 falende maatregelen. Dat betekent dat er ook bij het beperken van de gevolgen van incidenten nog verbeteringen mogelijk zijn.

Met betrekking tot de onderliggende oorzaken valt op dat incidenten vooral ontstaan doordat benodigde veiligheidsmaatregelen niet of niet goed waren geïmplementeerd (33%) of niet goed werden gebruikt/toegepast (28%). Het eerste kan worden verbeterd door meer aandacht te besteden aan de identificatie en beoordeling van risico's en aan de zorgvuldige vertaling daarvan naar geschikte veiligheidsmaatregelen. Voor het tweede aspect is het nodig dat de bekendheid onder het personeel en contractors met procedures en voorschriften wordt vergroot en dat ervoor wordt gezorgd dat deze procedures en voorschriften goed worden toegepast en opgevolgd.

Uit de analyses blijkt dat er relatief vaak sprake is van tekortkomingen in (werk)plannen en procedures: deze ontbreken of zijn onduidelijk of onvolledig. Tekortkomingen in plannen en procedures spelen een rol bij 26% van de falende veiligheidsmaatregelen en bij 60% van alle incidenten.

Met betrekking tot het veiligheidsbeheerssysteem (VBS) is vooral sprake van tekortkomingen met betrekking tot de controle op de exploitatie: het veilig uitvoeren van reguliere processen en van onderhoud. De vertaling van bestaande kennis over gevaren en risico's naar adequate veiligheidsmaatregelen speelt hier een rol in.

Voor de onderliggende oorzaken is de factor 'onbekend' vaak groot (ordegrootte 40%). Dat kan komen doordat sommige aspecten ten tijde van het incidentonderzoek niet meer eenduidig kunnen worden achterhaald of vastgesteld. Maar het komt ook doordat niet alle aspecten van incidenten in incidentonderzoeken even gedetailleerd worden onderzocht. Met uitgebreider incidentonderzoek kan er meer worden geleerd van incidenten.

4 Veelvoorkomende scenario's en achterliggende oorzaken

In de voorgaande hoofdstukken zijn de algemene kenmerken van incidenten weergegeven (zie hoofdstuk 2) en is beschreven wat de onderliggende oorzaken zijn van incidenten (zie hoofdstuk 3). In dit hoofdstuk wordt geprobeerd om meer gevoel bij de data te geven. In paragraaf 4.1 worden drie veelvoorkomende incidentscenario's toegelicht. Dit zijn scenario's waarbij dezelfde veiligheidsmaatregelen faalden. In paragraaf 4.2 en in paragraaf 4.3 worden veelvoorkomende achterliggende oorzaken geïllustreerd met voorbeelden. Daarbij wordt in paragraaf 4.2 het organisatorische perspectief bekeken en in paragraaf 4.3 de menselijke factor.

4.1 Veelvoorkomende scenario's

Het Storybuilder model omvat drie *lines of defence* (LoD's) met veiligheidsmaatregelen om incidenten te voorkomen (zie paragraaf 3.1). Per incident is bekeken welke veiligheidsmaatregelen faalden en wat voor gevolgen dat had. Sommige combinaties kwamen vaker voor dan andere. De combinaties die het vaakst voorkwamen zijn de 'rode draden' in de database, of, in andere woorden, de veelvoorkomende incidentscenario's. In de volgende paragrafen worden de drie meest voorkomende scenario's toegelicht. Deze waren gezamenlijk goed voor 45% van de incidenten. Het betreft:

- i. Het fysiek falen van het insluitsysteem door materiaalverzwakking.
- ii. Het falen van het veiligstellen van een insluitsysteem voorafgaand aan het openen daarvan.
- iii. Hoge druk in een insluitsysteem.

4.1.1 *Fysiek falen van het insluitsysteem door materiaalverzwakking*

Bij dit scenario wordt het materiaal van de installatie, bijvoorbeeld de leidingwand, een pakking of koppeling, verzwakt. De integriteit van de installatie wordt in de reguliere procesbeheersing dus onvoldoende geborgd. Als de verzwakking van de installatie niet tijdig wordt opgemerkt, dan kan het insluitsysteem fysiek bezwijken. Zonder extra omhulling²⁶ komen er dan gevaarlijke stoffen vrij. In totaal waren er 69 incidenten (21% van het totaal) die op deze manier zijn ontstaan. Daarbij vielen 42 slachtoffers (20%).²⁷

Dat materiaalverzwakking een belangrijke oorzaak is, bleek eerder ook uit de analyse van directe oorzaken (paragraaf 2.6). Bij een kwart van de incidenten werd materiaalverzwakking gezien als de directe oorzaak

²⁶ Een extra omhulling (secundaire containment) is in principe een maatregel om uitstroming na het bezwijken van het primaire insluitsysteem te voorkomen. Extra omhullingen worden beperkt toegepast en introduceren ook nieuwe risico's voor de procesveiligheid. In de analyses wordt een extra omhulling daarom niet gezien als een standaard maatregel ter preventie van ongevallen. In de analyses faalt de veiligheidsmaatregel secundaire containment alleen als dat in het incidentonderzoek naar voren is gekomen. In de overige gevallen wordt aangenomen dat het uitstromen van gevaarlijke stoffen na het bezwijken van het primaire insluitsysteem niet met een aanvullende maatregel in de 3^e LoD voorkomen had kunnen worden.

²⁷ De criteria zijn beschreven in Bijlage 4. Er zijn nog meer incidenten die er sterk op lijken, maar niet alle kenmerken gemeenschappelijk hebben.

van het incident. Bij de helft van die incidenten ging het om corrosie. Bij de overige incidenten betrof het vermoeiing, slijtage, verbrossing, erosie of andere vormen van materiaalverzwakking.

De verzwakking van het materiaal werd in eerste instantie veroorzaakt door een verkeerde materiaalspecificatie (18x), een falende bescherming van het materiaal, zoals een beschadigde coating of falende kathodische bescherming (9x), of ondeugdelijke lassen (4x). Een andere primaire oorzaak betreft niet direct het materiaal of de bescherming daarvan zelf, maar de procescondities of de gebruiksduur die afwijken van de ontwerpspecificaties van het materiaal. Voorbeelden hiervan zijn te corrosieve omstandigheden van het medium (27x), erosieve omstandigheden, zoals bij een te hoge stromingssnelheid (6x), of corrosie onder isolatie (5x).

Deze afwijkingen werden vaak (54x) niet opgemerkt omdat er geen effectief systeem was om de afwijking te kunnen signaleren, zoals een periodieke inspectie. Daarbij gaat het niet alleen om het bestaan van instrumenten en procedures, maar ook om de effectiviteit ervan, zodat materiaalverzwakkingen op kritische plaatsen tijdig kunnen worden gesignaleerd. Vervolgens moeten de aldus te signaleren afwijkingen ook nog tijdig worden opgemerkt, geïnterpreteerd en opgevolgd.

Bij het afwezig zijn van een extra beschermende veiligheidsmaatregel zoals een extra omhulling, leiden de hiervoor genoemde afwijkingen direct tot het falen van het insluitsysteem en uitstroming van gevaarlijke stoffen. Bijvoorbeeld door lekkage uit een nieuw ontstaan gat in de omhulling (48x) of bij een verbinding (12x), en soms (6x) door catastrofaal falen van het insluitsysteem.

Voorbeeld materiaalverzwakking

Een pakking is gaan lekken bij een productiekolom. De oorzaak daarvan was dat de oorspronkelijke asbestpakking was vervangen door een ander type pakking, dat onvoldoende bestand was tegen het medium en de heersende proces temperatuur (fenol met een temperatuur van meer dan 200 °C). Doordat deze stof een lage reukgrens heeft, ontdekten operators de lekkage vrij snel. Het bedrijf heeft de pomp gestopt, de leiding geïsoleerd en een waterscherm aangelegd. Vervolgens is de installatie gestopt om de oorzaak van de lekkage te achterhalen. De pakking is vervangen door een ander type dat wel tegen de heersende procescondities bestand is. Een programma is opgesteld om alle pakkingen die in aanraking komen met fenol te vervangen.

Mogelijke maatregelen om de veiligheid te vergroten zijn:

- Betere controle op juiste materiaalspecificaties en, indien nodig, aanvullende bescherming van het materiaal.
- Het voorkomen dat het materiaal verzwakt raakt door ongewenste procescondities, onder andere met betrekking tot stroming (te veel stroming, te weinig stroming, of met ongewenste stoffen of deeltjes in de productstromen) of druk en temperatuur (te hoog of te laag of te veel fluctuaties). Dit houdt in dat er zorgvuldiger afgewogen moet worden of zulke afwijkende procescondities kunnen ontstaan en of daar in het ontwerp van de installatie rekening mee gehouden moet worden.

- Het bewaken van de maximale levensduur.
- Adequate materiaalinspectieprogramma's, dat wil zeggen: voldoende frequent, voldoende uitgebreid (op alle mogelijke kritische locaties) en voldoende sensitief.
- Het gebruik van insluitsystemen met een dubbele omhulling, met indicatie wanneer de primaire omhulling faalt.

4.1.2 *Het falen van het veiligstellen van een insluitsysteem voorafgaand aan het openen daarvan*

Bij dit scenario gaat het om het actief openen van een insluitsysteem zonder dat deze eerst voldoende is veiliggesteld, of om het opstarten van een installatie met onderdelen die abusievelijk nog open staan. Onder actief openen verstaan we bijvoorbeeld het opendraaien van een afsluiter, het openen van een mandeksel, et cetera. Als er geen extra beschermende veiligheid is, zoals een vergrendelsysteem²⁸, leiden de hiervoor genoemde handelingen direct tot het uitstromen van gevaarlijke stoffen. In totaal betreft dit 42 incidenten (13% van het totaal) met 33 slachtoffers (15%).²⁹

Bij deze incidenten is de inhoud van het te openen insluitsysteem niet of niet voldoende product- of drukvrij gemaakt (22x), is het te openen gedeelte onvoldoende geïsoleerd van de rest van de installatie (16x) en/of wordt er opgestart terwijl er afsluiters onbedoeld open staan (9x). Bij onvoldoende isoleren kan worden gedacht aan lekkende kleppen in de installatie of aan het niet toepassen van steekflenzen.

Deze afwijkingen moeten voorafgaand aan de beoogde handeling (het openen of het opstarten) worden gesignaleerd (indicatie), opgemerkt (detectie), geïnterpreteerd (diagnose) en opgevolgd (herstelactie). Anders leidt de handeling tot uitstroming van de gevaarlijke stof, veronderstellende dat er geen extra beveiliging zoals een vergrendelsysteem is aangebracht. Vaak ontbreekt er een indicatie (22x), zoals een instrument ter plaatse of een aanvullende controle voorafgaand aan de beoogde handeling. Men vertrouwt er dan op dat eerdere handelingen om het systeem veilig te stellen correct zijn uitgevoerd, en dat het systeem geen mankementen heeft (zoals lekkende kleppen).

Voorbeeld falen veiligstellen insluitsysteem voorafgaand aan openen

Bij ingebruikname van een installatie na kortdurend onderhoud is methaan, cyclohexanon en waterstofgas vrijgekomen via een openstaande spui. Tijdens normale bedrijfsvoering staat de spui in verbinding met de fakkel. Tijdens onderhoudswerkzaamheden is de spui naar de buitenlucht opengezet. Bij het opstarten van de installatie was men zich niet bewust van deze instelling van de spui. Daardoor is

²⁸ Met een vergrendel- of interlocksysteem wordt hier een beveiliging bedoeld om te voorkomen dat installatieonderdelen onder ongewenste omstandigheden (druk, bepaalde afsluiterstanden) geopend kunnen worden. Zie ook paragraaf 3.4.1.

²⁹ De criteria zijn beschreven in Bijlage 4. Er zijn nog meer incidenten die er sterk op lijken, maar niet alle kenmerken gemeenschappelijk hebben.

gedurende 20 uur ongeveer 6000 kg ontvlambaar gas via de open verbinding naar buiten gestroomd.

Mogelijke maatregelen om de veiligheid te vergroten zijn:

- Zorgvuldige procedures voor het productvrij maken van installatieonderdelen, voorafgaand aan handelingen op, aan, in of nabij installaties.
- Voldoende kennis van de installatie, van de fysieke staat van de afsluiters in de installatie en van de stand/positie van afsluiters.
- Het gebruik van steekfleszen om de isolatie van het te openen installatieonderdeel te waarborgen. Het controleren of deze maatregelen zijn opgeheven voordat de installatie weer wordt opgestart.
- Aanvullende procedures en instrumenten om voorafgaand aan de handelingen effectief te kunnen verifiëren of het systeem product- en/of drukvrij is en geen ongewenste openingen, lekkende kleppen of klepposities bevat.
- Het gebruik van vergrendelsystemen om te voorkomen dat insluitsystemen onder ongewenste omstandigheden kunnen worden geopend.

4.1.3 *Hoge druk in een insluitsysteem*

Dit scenario betreft incidenten waarbij sprake is van onvoldoende beheersing van operationele procesparameters (druk, temperatuur, stroming), waarna door het uitblijven van een effectieve herstelactie er een hoge druk ontstaat in de installatie, waardoor deze bezwijkt of waarbij producten via een noodbeveiliging naar de atmosfeer geëmitteerd moeten worden. Dit betreft in totaal 36 incidenten (11% van het totaal) met 20 slachtoffers (9%).³⁰

Het herstel van de initiële afwijkingen in de procescondities bleef uit doordat er geen indicatie was van de afwijking (10x), doordat indicaties niet werden opgemerkt (5x), of niet goed op waarde werden ingeschat (4x), of doordat niet tijdig de juiste herstelmaatregelen werden getroffen (11x). Bij 6 incidenten was onbekend waarom tijdig herstel uitbleef.

Onder noodbeveiliging tegen hoge druk worden systemen verstaan die moeten voorkomen dat installatieonderdelen ten gevolge van te hoge druk bezwijken, zoals noodventielen, breekplaten of ESD-systemen.

Vaak worden installaties van druk gehaald door gassen of dampen in de installatie naar de buitenlucht af te blazen, maar daarbij is niet altijd sprake van een fakkelsysteem of gaswasser om te voorkomen dat de gevaarlijke stoffen vrijkomen. Van de 36 incidenten faalde de noodbescherming van de installatie tegen hoge druk 19 keer, was deze 15 keer succesvol in het beschermen van de installatie (maar niet in het voorkomen van de uitstroming) en was dit bij twee incidenten onbekend of niet van toepassing.

³⁰ De criteria zijn beschreven in Bijlage 4. Er zijn nog meer incidenten die er sterk op lijken, maar niet alle kenmerken gemeenschappelijk hebben.

Bij het falen van de drukbescherming was deze veiligheidsvoorziening dertien van de vijftien keer niet of niet goed verschaft. Dat betekent dat deze bescherming in z'n geheel ontbrak of dat de ontwerpcapaciteit ontoereikend was voor het optredende scenario (zie onderstaand voorbeeld).

Voorbeeld hoge druk in insluitsysteem

In vergisters wordt biogas geproduceerd. Bij het productieproces treedt meer schuimvorming op dan normaal. Deze schuimvorming wordt tegengegaan door antischuimmiddel toe te voegen. Op enig moment is de voorraad antischuimmiddel op. Door de schuimvorming neemt de druk in de vergisters toe en gaan de ontlastventielen op de vergisters open. Daarbij komen biogas en schuim vrij. Besloten wordt een deel van de inhoud van de vergisters over te hevelen naar de navergister. Ook in de navergister wordt schuim gevormd. De afvoerleiding raakt verontreinigd met schuim en wordt dichtgezet. Hierdoor neemt de druk in de navergister toe. Door de drukverhoging gaat de drukbeveiliging op de navergister open. Door het schuim is de capaciteit van de drukbeveiliging ontoereikend om de drukopbouw in de navergister tegen te gaan. De verbinding tussen de wand van de navergister en het membraandak raakt los over een lengte van 12 m. In totaal is er ongeveer 24 ton biogas vrijgekomen.

Mogelijke maatregelen om de veiligheid te vergroten zijn:

- Het minimaliseren van procesafwijkingen door het beter beheersen en monitoren van reguliere processen, inclusief het opstarten (start-up).
- Kennis van de mogelijke gevolgen van procesafwijkingen en het implementeren van systemen voor herstel van (kritische) procesafwijkingen buiten de veilige operationele grenzen, volgens het principe van indicatie (monitoring), detectie, diagnose en response.
- Ervoor zorgen dat installatieonderdelen zijn voorzien van een effectieve (nood)drukbeveiliging; met voldoende capaciteit, ook bij afwijkende procesomstandigheden (inclusief afwijkende stroming).

4.2 Veelvoorkomende oorzaken vanuit organisatorisch perspectief

Voor het organisatorisch perspectief kijken we naar de elementen van het veiligheidsbeheerssysteem (VBS). De drie elementen die volgens de incidentanalyse het vaakst faalden worden besproken.

4.2.1 Controle op de exploitatie

Uit de incidentanalyses blijkt dat dit element van het veiligheidsbeheerssysteem het vaakst faalt, namelijk bij 74% van de incidenten. Het element controle op de exploitatie heeft betrekking op alle processtadia, zoals:

- normaal bedrijf (faalde 145x);
- het weer in gebruik nemen na onderhoud (faalde 29x);
- onderhoud of inspectie (faalde 48x);
- het uit bedrijf nemen (faalde 9x).

Voorbeeld tekortschietende controle op de exploitatie

Crude-benzeen is vrijgekomen in een tankput, door het ontbreken van een passtuk in de leiding naar de tank. De inspectie van de tank is niet zodanig zorgvuldig uitgevoerd dat het ontbrekende passtuk (tussenstuk) in de tankleiding is opgemerkt. Tijdens het onderzoek is geconstateerd dat de tank leeg was en dat er verschillen bestaan in de interpretatie van "een zorgvuldige inspectie" en in wie deze inspectie moet uitvoeren (afdeling werkvoorbereiding dan wel afdeling operations).

4.2.2 Identificatie van de gevaren en beoordeling van de risico's

Bij ongeveer de helft van de incidenten (44%) was sprake van een tekortschietende identificatie en beoordeling van gevaren. Het gaat hierbij vooral om procesveiligheidsanalyses of taakrisicoanalyses.

De volgende aandachtspunten voor de uitvoering van procesveiligheidsanalyses worden op basis van de uitgevoerde incidentanalyses genoemd:

- Het identificeren van mechanismen die leiden tot materiaalverzwakking (zie ook paragraaf 4.1.1).
- Het beoordelen van het gevaar dat ongewenste gevaarlijke stoffen in een installatieonderdeel terechtkomen dat daar niet voor is bedoeld en ontworpen.
- Het juist inschatten van de benodigde betrouwbaarheid en effectiviteit van ontworpen beveiligingen voor procesafwijkingen zoals hoge druk, hoog niveau, et cetera. Dit betreft bijvoorbeeld de juiste Safety Integrity Level (SIL) van de gebruikte veiligheidssystemen.

Aandachtspunt voor taakrisicoanalyses:

- Het openen van niet-druk/productvrij gemaakte installatieonderdelen of het onvoldoende isoleren (zoals met steekflenzen in verband met het niet-lekdicht kunnen zijn van afsluiters) voorafgaand aan het uitvoeren van werkzaamheden (zie ook paragraaf 4.1.2).

Voorbeeld tekortschietende identificatie van gevaren en beoordeling van risico's (in dit geval gerelateerd aan afwijkingen in de reguliere procesvoering)

Om een procesverstoring te verhelpen, zette een operator de stoomtoevoer naar een 'stripper' af. Hij deed dit echter voor de verkeerde stripper. Dit kwam onder meer doordat er in korte tijd veel alarmen binnenkwamen. Door de aanhoudende stoom-/warmtetoevoer ontstond in de stripper een hoge temperatuur waarbij meer benzeen verdampte dan was voorzien. Deze benzeen stroomde vervolgens naar achtergelegen installaties en een opslagtank. Vervolgens stroomde de benzeen via een tankontluchting op de opslagtank naar buiten. De tankontluchting bevatte een hoog temperatuuralarm dat een signaal (alarm) gaf naar de meetkamer. De betekenis van het alarm werd door het overschot aan alarmen in de meetkamer niet herkend. Daardoor heeft de dienstdoende operator geen actie ondernomen om de release te stoppen.

4.2.3 *Beleid bij wijzigingen (Management of Change)*

Bij 51 van de 326 (16%) incidenten was er bij een of meer falende veiligheidsmaatregelen sprake van een tekortschietend beleid bij wijzigingen.

Relatief vaak (29x) betrof dit de toestand van de installatie. Deze was voorafgaand aan de wijziging nog voldoende, maar daarna niet meer. Veelvoorkomende falende veiligheidsmaatregelen daarbij zijn:

- Materiaalfalen (bijvoorbeeld het vervangen van pakkingen door andere pakkingen met verkeerd materiaal).
- Verandering van de procescondities met betrekking tot materiaaldegradatie (bijvoorbeeld wijzigingen in productstromen waardoor corrosie kan ontstaan).
- Inadequaat ontwerp van de wijziging (bijvoorbeeld bij uitbreiding van de productie of wijziging in verband met milieumaatregelen).
- Falende verbindingen (bijvoorbeeld door montagefouten tijdens het uitvoeren van de aanpassing).

Voorbeeld falend beleid bij wijzigingen

Er heeft een stofexplosie plaatsgevonden in een glutendroger met tarwegluten, 6 uur na het opstarten. Waarschijnlijk hebben twee aanpassingen aan de glutendroger dit incident veroorzaakt. Allereerst was in de droger een schot ('baffle') gemaakt om de turbulentie van de stroming te vergroten. Bij dit schot werden onbedoeld grotere brokken gluten gevormd. Onderzoek wees uit dat de (statische) oplading van deze brokken groot genoeg kon zijn om de tarwegluten in de glutenstroom te ontsteken. Ten tweede is het gasmengsel in de installatie veranderd. Het oorspronkelijke gasmengsel bevatte 16% zuurstof. Omdat met dit gasmengsel nitriet kon ontstaan, is overgeschakeld op verse lucht (met 21% zuurstof). De minimale ontstekingsenergie van gluten is bij 21% zuurstof een factor 7 tot 10 lager dan bij 16% zuurstof. Door beide veranderingen was de ontstekingskans na de aanpassing aanzienlijk groter dan in het oorspronkelijke procesontwerp.

4.3 **Veelvoorkomende oorzaken vanuit menselijke factor perspectief**

In de voorgaande hoofdstukken en paragrafen is de invloed van ongewenste menselijke handelingen verschillende keren gebleken. Allereerst bleek in paragraaf 2.6 dat bijna eenderde van alle incidenten (31%) het directe gevolg was een ongewenste handeling door een persoon.³¹ Ook in de onderliggende oorzaken speelden verkeerde handelingen of beslissingen van personen een belangrijk rol: in paragraaf 3.6 bleek dat veiligheidsmaatregelen in zeker 28% van de gevallen faalden doordat goed geïmplementeerde systemen niet of niet goed werden gebruikt.

In de analyses van de 326 incidenten is nagegaan wat de aard was van eventuele menselijke fouten voorafgaand aan of volgend op het incident.

³¹ Ook wel 'menselijke fout', zie paragraaf 2.6. Met 'menselijke fout' werd bedoeld dat het incident een direct gevolg was van een verkeerde menselijke handeling. De ongewenste handeling kon zijn ingegeven door een procedure of door de gebruikelijke manier van handelen binnen het bedrijf, en is dus niet altijd toe te schrijven aan laakbaar gedrag van een persoon.

Storybuilder maakt daarbij onderscheid in overtredingen, vergissingen en uitglijders/afdwalingen [12]. In totaal waren er 254 situaties waarbij een persoon een verkeerde handeling verrichtte die in één van deze drie categorieën kon worden ingedeeld. 20% van deze menselijke fouten was een overtreding, 60% een vergissing en 17% een uitglijder/afdwaling (zie ook paragraaf B3.6 in Bijlage 3).

4.3.1 *Overtredingen*

Hierbij kijken personen bewust af van de geldende procedure. Het kan voorkomen dat binnen de organisatie het afwijken zo vaak en ook door meerdere personen plaatsvindt, dat we kunnen spreken van routine-overtredingen. Maar het kan ook incidenteel voorkomen door specifieke omstandigheden, zoals de druk om een bepaalde taak te volbrengen. In het laatste geval spreken we van een situationele overtreding.

Voorbeeld van een situationele overtreding

Er moesten wagons worden beladen met methanol. Er was een storing van het sturingssysteem, en deze kon niet direct worden verholpen. De lading was voor de klant zeer tijdkritisch, en daarom werd besloten om van de geldende interne procedures af te wijken en de wagons te beladen middels slangen die via het mangat op de wagon waren ingebracht. De verlading werd niet tijdig gestopt waardoor de methanol via het mangat uitstroomde. De methanol stroomde vervolgens naar de kelder, die als opvangbak fungeerde. Door het overstromen namen het explosiegevaar en de concentratie dampen toe. Toen 40% van de onderste explosiegrens werd bereikt, viel automatisch de elektrische spanning weg. Onder normale omstandigheden zou de belading dan automatisch stoppen. Door de afwijkende manier van beladen werkte de automatische stop niet. In totaal is 5 ton methanol uitgestroomd.

4.3.2 *Vergissingen*

Uit de incidentanalyses blijkt dat vergissingen het vaakst voorkomen. Bij een vergissing is er sprake van een onjuiste veronderstelling. Het plan om iets te doen of juist niet, klopt dan niet. Vergissingen kunnen zich afspelen op kennisniveau: er is dan sprake van onvoldoende competentie of vaardigheid bij nieuwe problemen en/of acties. We zien dit ook terugkomen in de falende management factor competentie (44% van de onderzochte incidenten).

Vergissingen kunnen zich ook afspelen op procedure- of regelniveau. In dat geval is er sprake van het verkeerd toepassen van dagelijkse routines (die vaak op de automatische piloot worden uitgevoerd).

Voorbeeld van een vergissing

Twee werknemers waren bezig met het laden van een tankcontainer met de giftige en bijtende vloeistof methyleendifenyldiisocyaan (MDI). Naast de laadarm/laadpijp zit een dampretourleiding, waarop een afsluiter zat. De dampretour-aansluiting diende tijdens de belading en tijdens het afkoppelen open te staan. Aan deze afsluiter is nog wat gedraaid. Normaal gesproken zou dan een sissend geluid worden gehoord van ontsnappende lucht, maar nu was niets gehoord. Er is toen van uitgegaan dat er geen druk meer op de leiding stond. De aanname was onjuist. Achteraf bleek dat de afsluiter defect was en bij het draaien niet open was gezet. Daardoor kwam er ook geen sissend geluid. Bij de belading van de tankcontainer is de druk in de tankcontainer opgelopen. Na de belading werd de laadleiding van de installatie doorgeblazen met stikstof, met als doel de leiding leeg te persen alvorens deze af te kunnen koppelen. Hierbij is ervan uitgegaan dat de afsluiter naar de dampverwerking open stond. Daarbij is de druk verder toegenomen.

De laadoperators probeerden hierna de laadleiding los te koppelen van de laadafsluiter van de tankcontainer. Daarbij schoot de laadarm er vanaf en is 10 ton product vrijgekomen, waarbij beide operators MDI over zich heen kregen.

4.3.3*Afdwalingen en uitglijders*

Hierbij is de intentie (het plan) goed, maar de uitvoering niet, hetzij doordat men iets is vergeten hetzij er sprake is van een fout in de uitvoering door concentratieverlies. Een voorbeeld van een afdwaling is het vergeten dicht te zetten van een afsluiter (terwijl men dat wel van plan was). Een voorbeeld van een uitglijder staat hieronder.

Voorbeeld van een uitglijder

Een operator was bezig met voorbereidende activiteiten voor het verbinden van de wagon aan de laadarm. De blindflens, de blokkeerpen en de tie-wraps (die de positie van het handwiel fixeren) waren verwijderd. Hij zat op zijn hurken. Hij verloor zijn evenwicht. In een reflex greep hij voor houvast het handwiel van de zijafsluiter en opende daardoor de afsluiter gedeeltelijk. Er was blijkbaar een kleine hoeveelheid ammoniak achtergebleven tussen de bodemafsluiter en de zijafsluiter van de gasretourleiding. De ammoniak kwam vrij en sproeide onder het gelaatmasker van het slachtoffer. Hij kreeg kleine brandwonden in zijn gezicht als gevolg van de ammoniakdruppels in de gasspray en hij inhaleerde ammoniak. De getroffene verbleef twee dagen onder observatie in het ziekenhuis.

5 Trends en patronen

In dit hoofdstuk worden trends en patronen in de analysegegevens onderzocht. De trends hebben betrekking op veranderingen in de tijd, dat wil zeggen gedurende de periode 2004-2018. Patronen gaan over correlaties tussen overige gegevens (niet: tijd). In totaal zijn er drie series van toetsen uitgevoerd:

1. Veranderen het jaarlijkse aantal incidenten of het jaarlijkse aantal slachtoffers gedurende de periode?
2. Veranderen de kenmerken van incidenten en de achterliggende oorzaken gedurende de periode?
3. Welke facetten van incidenten correleren met de ernst van het letsel?

De statistische analyse omvat drie stappen (zie tekstkader). Allereerst is per serie bepaald welke aspecten getoetst moesten worden. Om de kans op onzinnige uitkomsten te beperken, is het belangrijk om kritisch te zijn in het aantal elementen dat je meeneemt in de statistische analyse.³² Vervolgens is per toets een p-waarde berekend. Tot slot is een *'multiple test correction'* uitgevoerd. Daarbij was het uitgangspunt dat het aandeel *'false positives'* binnen de selectie niet groter mocht zijn dan 10%.³³ Het resultaat van de *multiple test correction* is een lijst met toetsen waarvoor een reëel effect (trend of correlatie) aannemelijk is.

Toelichting/verantwoording van de statistische aanpak

De analyse van trends en patronen in de data bestaat uit drie stappen.

1. Allereerst wordt geïdentificeerd welke onderdelen worden onderworpen aan de statistische toets. De kracht van de statistische toets neemt af naarmate je meer onderdelen toetst. Daarom moet je vooraf goed afwegen welke aspecten je wel en niet wilt onderzoeken (toetsen).
2. Vervolgens wordt voor elk onderdeel dat wordt getoetst een p-waarde berekend.
 - Het uitgangspunt voor de toets (de nulhypothese) is dat het onderwerp van de toets constant is in de geselecteerde dataset; onderlinge verschillen zijn dan het gevolg van toevallige (random) fluctuaties. Als het onderwerp van de toets bijvoorbeeld het aantal incidenten per jaar is, en de dataset de verschillende jaren, dan is de nulhypothese dat de verwachtingswaarde voor het aantal incidenten elk jaar identiek is.
 - De p-waarde is berekend met een chi-kwadraattoets.³⁴
 - De berekende p-waarde geeft aan hoe (on)waarschijnlijk de data zijn, gegeven de nulhypothese. Hoe kleiner de p-waarde, hoe meer aanleiding er is om de nulhypothese te verwerpen.

³² Hoe meer toetsen je uitvoert, hoe groter de kans op een 'false positive'. Als je daarvoor corrigeert met een *multiple test correction* dan neemt het onderscheidend vermogen af naarmate je meer toetsen uitvoert.

³³ Ergo: een *'false discovery rate'* (FDR) van 0,1.

³⁴ <https://www.rdocumentation.org/packages/stats/versions/3.6.0/topics/chisq.test>.

3. Hoe meer onderwerpen je toetst, hoe groter de kans dat je lage p-waarden je zult vinden. Anders gezegd: de kans dat je een trend of patroon vindt die er niet is (een *'false positive'*) neemt toe naarmate je meer toetsen uitvoert.³⁵ Daarom wordt aanvullend op de statistische toets nog een *'multiple test correction'* toegepast. Na de *multiple test correction* worden alleen de toetsen met de kleinste p-waarden geselecteerd, zodanig dat het aandeel *false positives* binnen de selectie niet groter is dan een zelf gekozen waarde.
 - Voor de *multiple test correction* is de Benjamini-Hochberg-procedure gebruikt [13].
 - Voor het aandeel *false positives* binnen de selectie is de waarde 0,1 gekozen.

Uit de statistische toets blijkt alleen óf modelonderdelen gecorreleerd zijn, niet hoe deze gecorreleerd zijn. Uit de toets kan bijvoorbeeld blijken dat de verwachtingswaarde voor incidenten niet constant is in de tijd. De toets geeft dan niet aan of de verwachtingswaarde in de loop der jaren toe- of afneemt. Het kan ook zo zijn dat er helemaal geen regelmatig patroon is (de data voor jaartal 1, 3, 4, 8 en 11 wijken statistisch significant af van de data voor jaartal 2, 5, 6, 7, 9, 10, 12 en 13). Met een aanvullend (visuele) observatie van de data is nagegaan of er ook sprake is van een chronologische samenhang in de data, oftewel een trend in de tijd.

5.1 Trends in de tijd

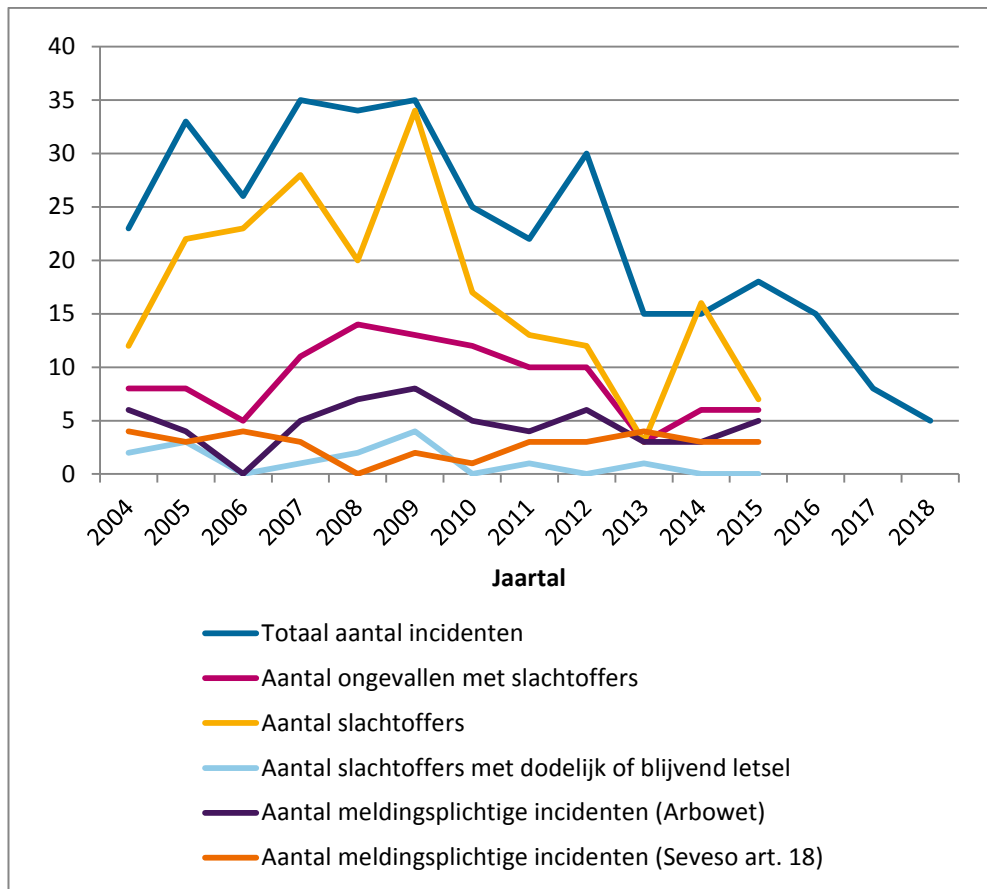
In Figuur 5.1 zijn zes ontwikkelingen in de tijd met betrekking tot incidentaantallen en slachtofferaantallen weergegeven. Het aantal incidenten is voor de hele periode bekend, de overige parameters alleen voor de periode 2004 tot en met 2015 (zie paragraaf 2.2).

Tabel 5.1 geeft de uitkomsten van de statistische analyse weer. De uitkomsten hebben betrekking op de waarden die in Figuur 5.1 zijn weergegeven. De p-waarde voor de toets is weergegeven in de tweede kolom. In de derde kolom is vermeld of de toets na het uitvoeren van de *multiple test correction* (MTC) geselecteerd is, of niet. Voor de geselecteerde onderdelen is een afwijking van de nulhypothese aannemelijk. Deze zijn in de loop van de tijd dus veranderd. Voor de overige onderdelen is geen verandering zichtbaar.

Volgens de analyse is een afwijking van de nulhypothese voor twee onderwerpen aannemelijk. Het betreft:

- het jaarlijkse aantal incidenten;
- het jaarlijkse aantal slachtoffers.

³⁵ Zie voor meer uitleg bijvoorbeeld https://en.wikipedia.org/wiki/False_discovery_rate



Figuur 5.1 Trends in aantallen incidenten en aantallen slachtoffers

Tabel 5.1 Aanwezigheid van trends in aantallen incidenten en slachtoffers

Parameter	p-waarde	selectie na MTC
Jaarlijks aantal incidenten	<0,001	ja
Jaarlijks aantal incidenten met (een of meer) slachtoffers	0,21	nee
Jaarlijks aantal slachtoffers	<0,001	ja
Jaarlijks aantal slachtoffers met dodelijk of blijvend letsel	0,11	nee
Jaarlijks aantal meldingsplichtige incidenten (Arbeidsomstandighedenwet)	0,49	nee
Jaarlijks aantal meldingsplichtige incidenten (Seveso)	0,88	nee

Voor de twee geselecteerde onderwerpen is nagegaan welke verandering in de tijd zichtbaar is. Voor beide is een afname in de loop der jaren zichtbaar. De afname lijkt ongeveer tien jaar geleden te zijn ingezet.

De oorzaak van de afname kan niet eenduidig worden vastgesteld. De meest voor de hand liggende verklaring is dat het jaarlijks aantal incidenten bij Brzo-bedrijven gedurende de periode is gedaald. Zo is volgens Veiligheid Voorop de indicator 'loss of primary containment' sinds 2013 elk jaar gedaald [6]. Het kan ook zijn dat de Inspectie SZW in deze periode verhoudingsgewijs minder incidenten is gaan

onderzoeken.³⁶ Verder kunnen er nog andere factoren meespelen die bij het RIVM niet bekend zijn.

De vier andere onderwerpen zijn gedurende de periode niet of niet aantoonbaar veranderd. Het betreft:

- het jaarlijkse aantal incidenten met een of meer slachtoffers;
- het jaarlijkse aantal incidenten met één of meer slachtoffers met dodelijk of blijvend letsel;
- het jaarlijkse aantal incidenten dat meldingsplichtig was voor de Arbeidsomstandighedenwet;
- het jaarlijkse aantal incidenten dat op grond van de Europese Seveso-III richtlijn gemeld moest worden aan de Europese commissie.

Uit de data blijkt niet waarom twee onderwerpen wel zichtbaar afnemen en vier andere onderwerpen niet. *Mogelijke* verklaringen zijn:

- De geconstateerde afname in het jaarlijks aantal incidenten (zie hierboven) heeft vooral betrekking op kleinere incidenten. Dit kan samenhangen met het vermoeden dat de onderzoekscapaciteit bij de Inspectie SZW in de loop der jaren is gedaald. Relatief kleine incidenten werden na verloop van tijd niet meer onderzocht, meldingsplichtige ongevallen nog wel. Daardoor is de trend in meldingsplichtige incidenten anders dan die van incidenten in het algemeen.
- Het aantal meldingsplichtige incidenten is relatief gering, waardoor patronen minder snel kunnen worden aangetoond.

5.2 Veranderingen van oorzaken en gevolgen in de tijd

Als tweede stap is gekeken of de oorzaken of gevolgen van incidenten gedurende de periode zijn veranderd. Specifiek gaat het om de onderliggende oorzaken (wat, hoe en waarom, zie paragraaf 3.6 en 3.7), de directe oorzaak (zie paragraaf 2.6), het directe effect (zie paragraaf 2.3.1) en het vervolgeffect (zie paragraaf 2.3.2) van het incident. In totaal levert dit elf toetsen op (zie Tabel 5.2).

De verschillende getoetste onderwerpen bestaan elk uit verschillende elementen.³⁷ Getoetst wordt of de onderlinge verhoudingen tussen deze elementen tussen de jaren verschillen. Bijvoorbeeld of de directe oorzaken in het ene jaar significant anders zijn dan in een ander jaar. Voor alle onderwerpen is ook 'onbekend' meegenomen in de analyse. Daardoor wordt het mogelijk om te zien of de kwaliteit van de informatie in de loop van de jaren is veranderd.

Tabel 5.2 Omschrijving van de toetsen met betrekking tot veranderingen van oorzaken en gevolgen in de tijd

³⁶ Zie voetnoot 6.

³⁷ Zo zijn de veiligheidsmaatregelen in de 1^e LoD onderverdeeld in vijf groepen, te weten: veilig opstarten, het borgen van de integriteit van de installatie, het beheersen van de procesparameters, het beheersen van omgevingsfactoren en onbekend. Zie paragraaf 3.2.1. Ook de veiligheidsmaatregelen in de 2^e LoD zijn onderverdeeld in vijf groepen, te weten indicatie van de afwijking, detectie van de afwijking, juiste diagnose van de afwijking, juiste herstelactie en onbekend. Zie paragraaf 3.3.1. Verder zijn er 12 mogelijke directe oorzaken, 5 wijzen waarop maatregelen kunnen falen, 10 redenen waarom veiligheidsmaatregelen kunnen falen, enzovoort.

Toets	Omschrijving
Falende veiligheidsmaatregelen in de 1 ^e LoD	Het aantal keer per jaar dat veiligheidsmaatregelen met betrekking tot (i) veilig opstarten, (ii) borgen integriteit van de installatie, (iii) beheersen procesparameters, (iv) beheersen omgeving of (v) onbekend, faalde, voor de verschillende jaren. Zie ook paragraaf 3.2.1.
Falende veiligheidsmaatregelen in de 2 ^e LoD	Het aantal keer per jaar dat herstel faalde door (i) falende indicatie, (ii) falende detectie, (iii) falende diagnose, (iv) falende herstelactie of (v) onbekend, voor de verschillende jaren. Zie ook paragraaf 3.3.1.
Falende veiligheidsmaatregelen in de 3 ^e LoD	Voor elke veiligheidsmaatregel in deze LoD, het aantal keer per jaar dat deze maatregel faalde, voor de verschillende jaren. Zie ook paragraaf 3.4.1.
Falende veiligheidsmaatregelen in de mitigerende LoD's	Voor elke veiligheidsmaatregel in de 4 ^e , 5 ^e of 6 ^e LoD, het aantal keer per jaar dat deze maatregel faalde, voor de verschillende jaren. Zie ook paragraaf 3.5.1.
Succesvolle veiligheidsmaatregelen	Voor alle veiligheidsmaatregelen in het model, het aantal keren per jaar dat deze maatregel succesvol was, voor de verschillende jaren. Zie ook paragraaf 3.4.1 en 3.5.1
Directe oorzaken van het incident	Voor de tien directe oorzaken en onbekend, het aantal keren dat deze in de verschillende jaren voorkomen. Zie ook paragraaf 2.6.
Type incident: direct effect	Voor de vier directe effecten, het aantal keren dat deze in de verschillende jaren voorkomen. Zie ook paragraaf 2.3.1.
Type incident: vervolgeffect	Voor de vier vervolgeffecten en voor onbekend, het aantal keren dat deze in de verschillende jaren voorkomen. Zie ook paragraaf 2.3.2.
Wijze waarop veiligheidsmaatregelen falen (barrièretaken)	Voor de vier mogelijkheden en voor onbekend, het aantal keren dat deze in de verschillende jaren voorkomen. Zie ook paragraaf 3.6.
De reden waarom veiligheidsmaatregelen falen (managementfactoren)	Voor de acht managementfactoren en voor onbekend, het aantal keren dat deze in de verschillende jaren voorkomen. Zie ook paragraaf 3.7.1.
Geconstateerde tekortkomingen in het VBS	Voor de zeven VBS-elementen en voor onbekend, het aantal keren dat deze in de verschillende jaren voorkomen. Zie ook paragraaf 3.7.2.

Tabel 5.3 geeft de uitkomsten van de statistische analyse weer. De p-waarde voor de toets is weergegeven in de tweede kolom. In de derde kolom staat de uitkomst van de *multiple test correction* (MTC).

Tabel 5.3 Veranderingen van oorzaken en gevolgen in de tijd

Parameter	p-waarde	selectie na MTC
Falende veiligheidsmaatregelen in de 1 ^e LoD	0,67	nee
Falende veiligheidsmaatregelen in de 2 ^e LoD	0,35	nee
Falende veiligheidsmaatregelen in de 3 ^e LoD	0,36	nee
Falende veiligheidsmaatregelen in de mitigerende LoD's	0,63	nee
Succesvolle veiligheidsmaatregelen	0,30	nee
Directe oorzaken van het incident	0,87	nee
Type incident: direct effect	0,79	nee
Type incident: vervolgeffect	0,37	nee
Wijze waarop veiligheidsmaatregelen falen (barrièretaken)	0,002	ja
De reden waarom veiligheidsmaatregelen falen (managementfactoren)	0,01	ja
Geconstateerde tekortkomingen in het VBS	0,004	ja

In Tabel 5.3 is te zien dat er voor acht van de elf getoetste onderdelen geen aantoonbare veranderingen/verschuivingen in de tijd wordt waargenomen. De onderlinge verhouding van de verschillende elementen van de getoetste onderdelen bleef gedurende de onderzochte periode (2003-2018) dus grotendeels gelijk. Dit geldt voor de verschillende falende veiligheidsmaatregelen, de succesvolle veiligheidsmaatregelen, de directe oorzaken van incidenten en de aard van de incidenten (direct effect en vervolgeffect).

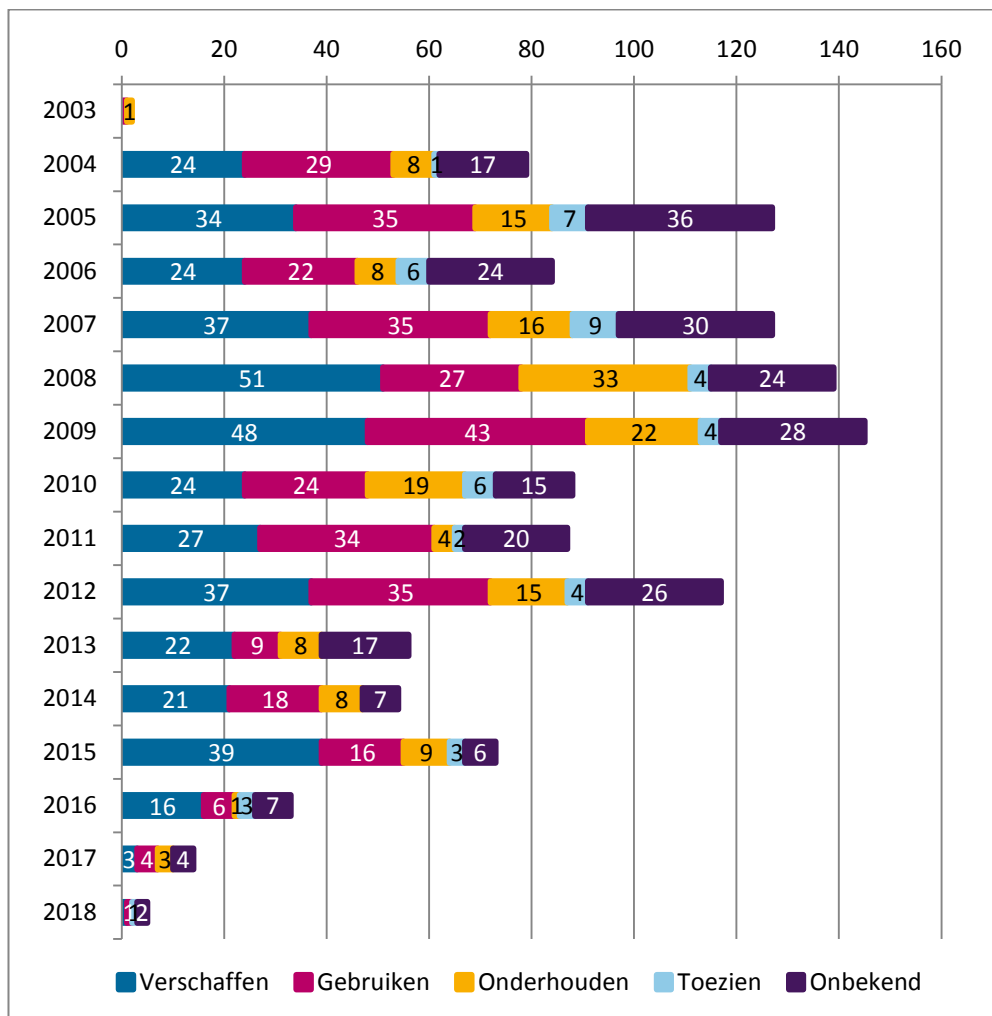
“De aard van de incidenten lijkt in de periode 2003-2018 niet te zijn veranderd. Ook de oorzaken van de incidenten lijken in deze periode gelijk te zijn gebleven.”

Voor drie getoetste onderdelen worden wel statistisch significante veranderingen tussen de onderliggende jaren waargenomen. Dit betreft de wijze waarop veiligheidsmaatregelen falen (barrièretaken), de redenen waarom veiligheidsmaatregelen falen (managementfactoren) en de onderdelen van het veiligheidsbeheerssysteem. De veranderingen van deze onderdelen met de jaren zijn weergegeven in Figuur 5.2, Figuur 5.3 en Figuur 5.4.

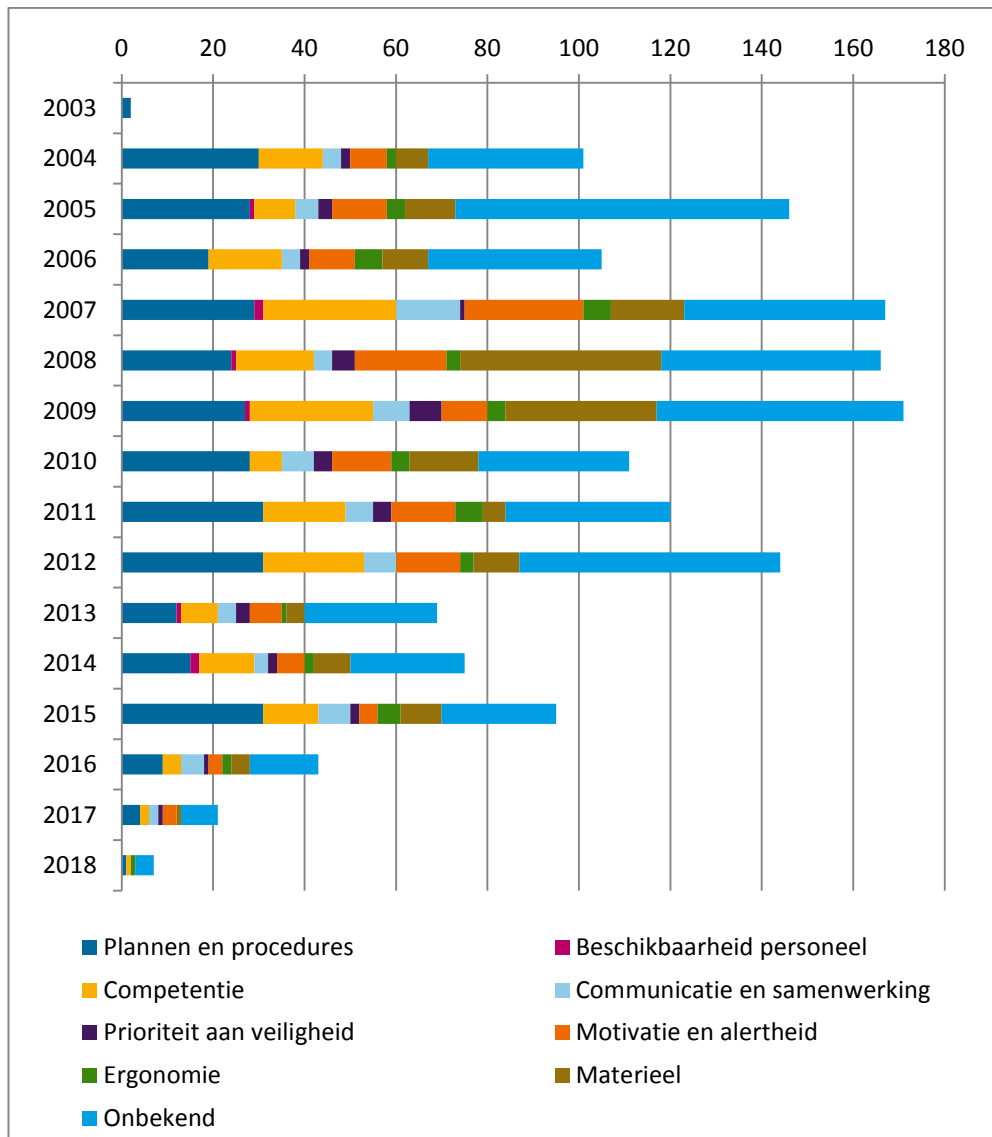
In de genoemde figuren is te zien dat de onderlinge verhouding van de verschillende elementen, zoals de onderlinge verhouding van de verschillende barrièretaken (zie Figuur 5.2), aan het begin van de onderzochte periode niet wezenlijk anders is dan aan het eind van de periode. Er is dus geen sprake van trends in de tijd die doorzetten. Tussen afzonderlijke jaartallen zijn wel grote verschillen te zien, en deze zijn groter dan je op basis van natuurlijke (stochastische) variaties van random processen zou kunnen verwachten.³⁸

³⁸ Zo verandert het aantal falende veiligheidsmaatregelen ten gevolgen van het onderhouden van de maatregelen tussen 2010 en 2012 van 19 naar 4 naar 15. Voor het onderdeel gebruiken verandert het aantal tussen 2012 en 2014 van 35 naar 9 naar 18.

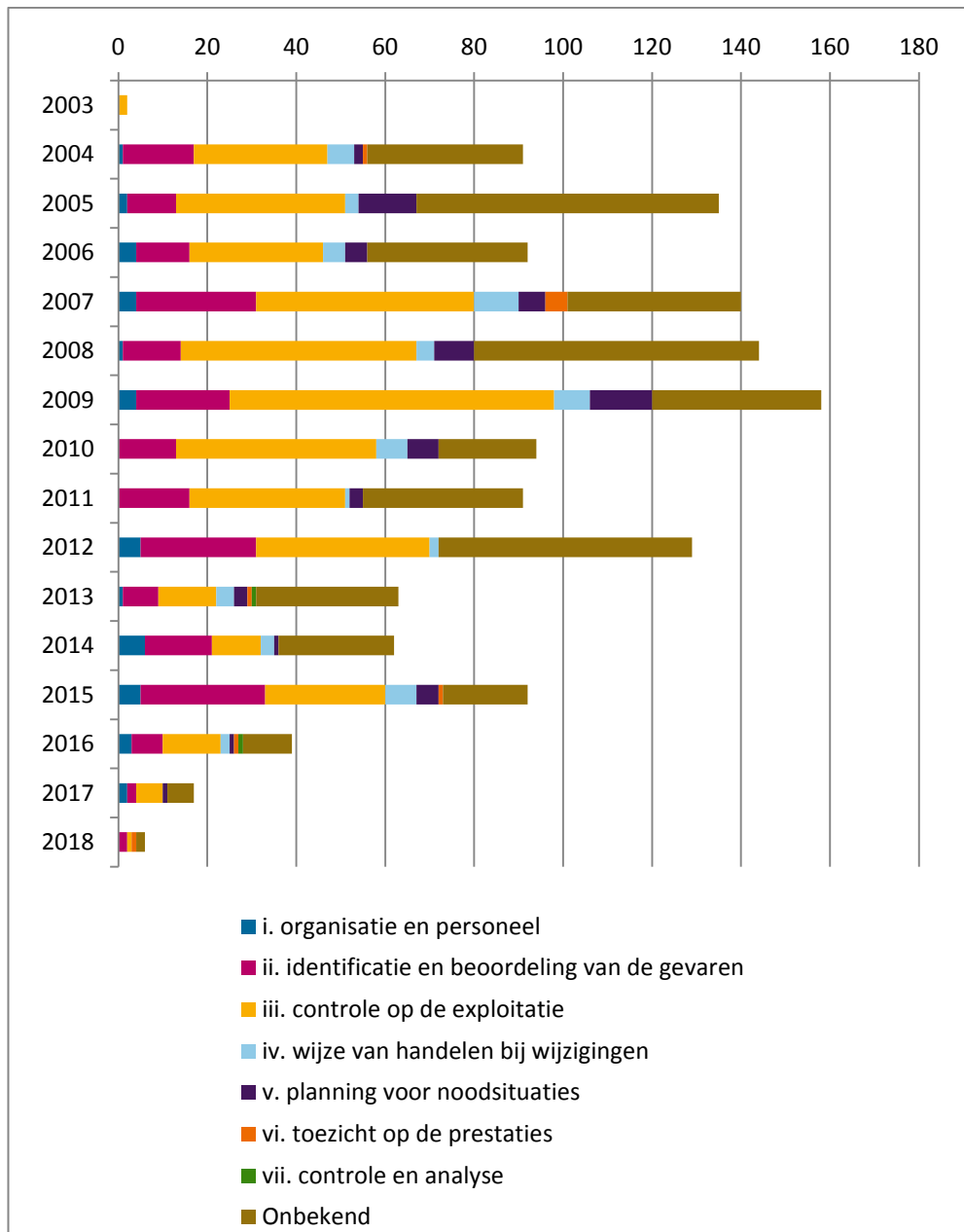
Omdat de veranderingen optreden op jaarbasis en niet doorzetten in de tijd, lijkt er sprake van een artefact. De meest waarschijnlijke verklaring hiervoor is dat er sprake is geweest van 'biases' in de analyses, dat wil zeggen dat de analisten in sommige jaren een voorkeur lijken te hebben gehad voor specifieke factoren. In de navolgende jaren zijn die voorkeuren weer verdwenen. Daar staat tegenover dat elk incident door twee analisten is beschouwd, juist met als doel de invloed van eventuele 'biases' te verminderen, en dat per analysejaar doorgaans incidenten uit meerdere jaren werden geanalyseerd. De bovenstaande verklaring is daarom niet helemaal bevredigend.



Figuur 5.2 Wijze van falen van de veiligheidsmaatregelen (aantal falende maatregelen)



Figuur 5.3 Onderliggende oorzaken voor het falen van veiligheidsmaatregelen (aantal falende veiligheidsmaatregelen)



Figuur 5.4 Tekortkomingen in het VBS. Percentage per falende veiligheidsmaatregel

5.3 Correlaties met ernst van het letsel

Ten slotte is onderzocht welke kenmerken van incidenten of slachtoffers correleren met de ernst van het letsel. De ernst van het letsel bevat verschillende elementen, namelijk dodelijk letsel, blijvend letsel, herstelbaar letsel en onbekend (blijvend of herstelbaar) letsel. De getoetste kenmerken, zoals het type bedrijf, bevatten ook verschillende elementen. Per kenmerk (bijvoorbeeld type bedrijf) is bekeken of de ernst van het letsel tussen de verschillende elementen van het kenmerk onderling verschilt. Bijvoorbeeld of bij het ene type bedrijf verhoudingsgewijs meer slachtoffers met blijvend letsel vallen dan bij het andere.

Tabel 5.4 geeft de uitkomsten van de statistische analyse weer. De p-waarde voor de toets is weergegeven in de derde kolom. In de vierde kolom staat de uitkomst van de *multiple test correction* (MTC).

Tabel 5.4 Aanwezigheid van correlaties (associaties) met ernst van het letsel

Parameter	Verwijzing	p-waarde	selectie na MTC
Type bedrijf (2-cijferige SBI code)	paragraaf 2.5.2	0,0001	ja
Grootte van de vestigingslocatie	paragraaf 2.5.3	0,006	ja
Processtadium voorafgaand aan het incident	paragraaf 2.5.4	0,01	ja
Wijze van taak- en procesregulering	paragraaf B2.5.3 van Bijlage 2	0,04	ja
Directe oorzaak van het incident	paragraaf 2.6	0,07	nee
Type incident: direct effect	paragraaf 2.3.1	0,001	ja
Type incident: vervolgeffect	paragraaf 2.3.2	0,0005	ja
Betrokken hoeveelheid gevaarlijke stof	paragraaf 2.7.3	0,15	nee
Gevarencategorie van de gevaarlijke stof(fen)	paragraaf 2.7.2	0,08	nee
Beroep van het slachtoffer	paragraaf 2.4.5	0,89	nee
Dienstverband van het slachtoffer	paragraaf 2.4.5	0,50	nee
Leeftijd van het slachtoffer	paragraaf 2.4.5	0,08	nee

In Tabel 5.4 is te zien dat voor zes kenmerken van incidenten of slachtoffers geen correlatie met de ernst van het letsel kon worden aangetoond. Dat betekent dat de ernst van het letsel (dodelijk letsel, blijvend letsel, herstelbaar letsel of blijvend óf herstelbaar letsel) tussen de verschillende categorieën binnen het onderdeel niet zichtbaar verschilde.

Het betreft:

- De **directe oorzaak** van het incident. De ernst van het letsel lijkt voor materiaalverzwakking, hoge druk, menselijke fout en andere directe oorzaken steeds vergelijkbaar.
- De **betrokken hoeveelheid gevaarlijke stoffen**. De ernst van het letsel lijkt voor incidenten met kleine hoeveelheden niet wezenlijk anders dan voor incidenten met grote hoeveelheden.
- De **gevarencategorie van de gevaarlijke stoffen**. In het bijzonder lijkt de ernst van het letsel voor incidenten met ontvlambare stoffen niet aantoonbaar anders dan voor incidenten met toxische stoffen.
- Het **beroep van het slachtoffer**. Voor zover het beroep bekend is, zijn de meeste slachtoffers onderhoudsmedewerker of procesoperator. De ernst van het letsel lijkt voor beide groepen vergelijkbaar.
- Het **dienstverband van het slachtoffer**. Het gaat vooral om contractors en eigen personeel. Er lijkt tussen deze twee

dienstvormen geen wezenlijk verschil te zijn in de ernst van het letsel.

- De **leeftijd van het slachtoffer**. Ook de leeftijd van de slachtoffers lijkt niet onderscheidend voor de ernst van het letsel.

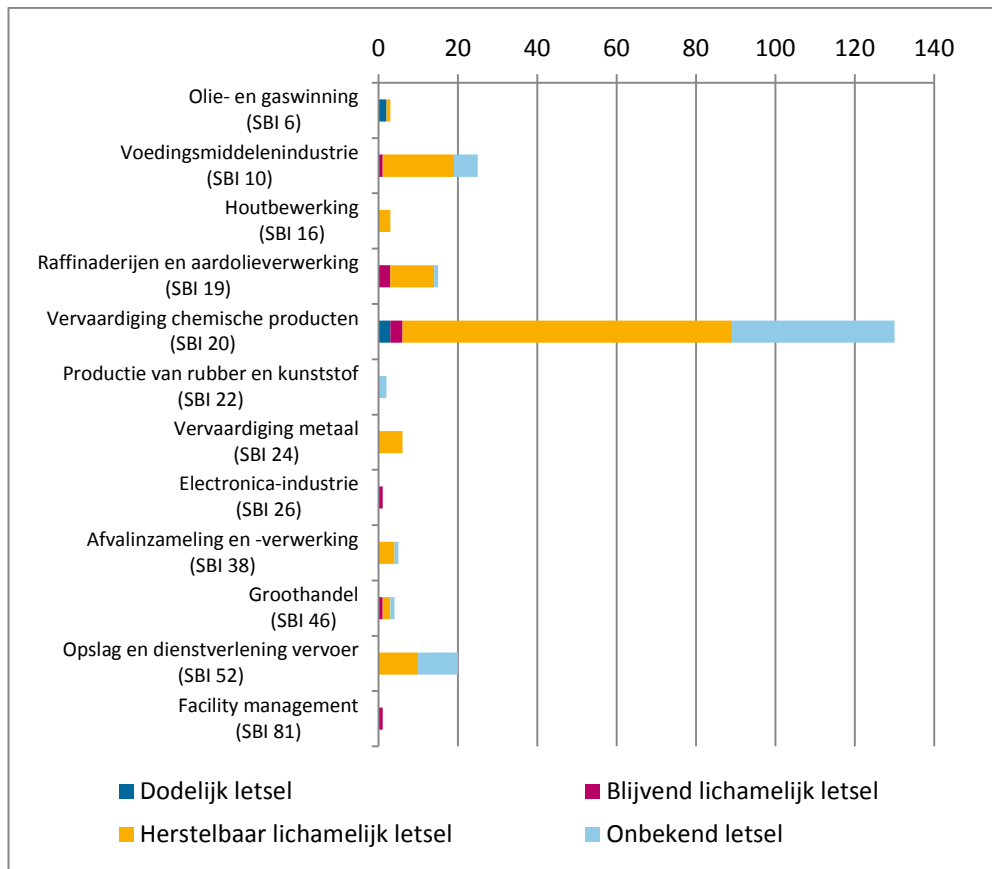
“De directe oorzaak van het incident correleert niet (aantoonbaar) met de ernst van het letsel. Ook voor de betrokken hoeveelheid gevaarlijke stoffen en de gevarencategorie van de stoffen is er geen aanwijzing dat deze van invloed zijn op de ernst van het letsel zichtbaar.”

Voor zes andere kenmerken is een correlatie met de ernst van het letsel wel aannemelijk. Het betreft:

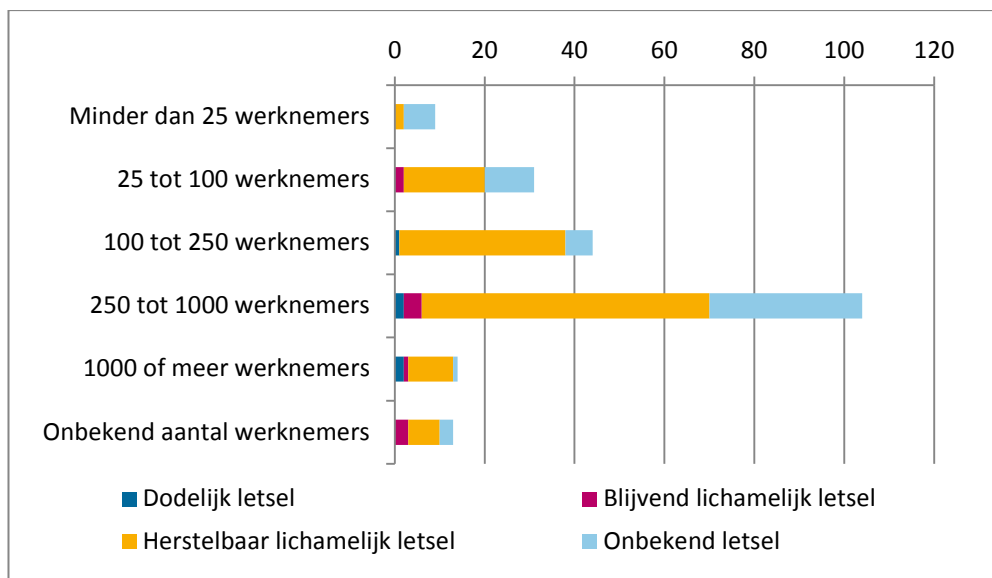
- het type bedrijf (zie Figuur 5.5);
- de grootte van de vestigingslocatie (zie Figuur 5.6);
- het processtadium voorafgaand aan het incident (zie Figuur 5.7);
- de wijze van taak- en procesregulering (zie Figuur 5.8);
- het directe effect van het incident (zie Figuur 5.9);
- het vervolgeffect van het incident (zie Figuur 5.10).

In Figuur 5.5 is de ernst van het letsel weergegeven voor de verschillende typen bedrijven (2-cijferige SBI code). Opvallend is vooral het grote aantal slachtoffers met onbekend letsel voor de categorie procesindustrie (SBI 20: vervaardiging chemische producten). Deze (statistisch significante) afwijking is grotendeels veroorzaakt door één incident waarbij 15 personen blootgesteld zijn geweest aan chloordampen met onbekend gevolg. De categorie olie- en gaswinning (SBI 6) vertoont ook een duidelijk afwijkende verhouding: van de drie slachtoffers binnen deze bedrijfscategorie zijn er twee overleden.

In Figuur 5.6 is de ernst van het letsel weergegeven voor vestigingen van verschillende grootte, afgemeten naar het aantal geregistreerde werknemers op de vestigingslocatie. De meest opvallende afwijking is het uitzonderlijk grote aantal slachtoffers met onbekend type letsel voor vestigingen met 250 tot 1000 werknemers. Deze (statistisch significante) afwijking is grotendeels veroorzaakt door één incident waarbij 15 personen blootgesteld zijn geweest aan chloordampen met onbekend gevolg.



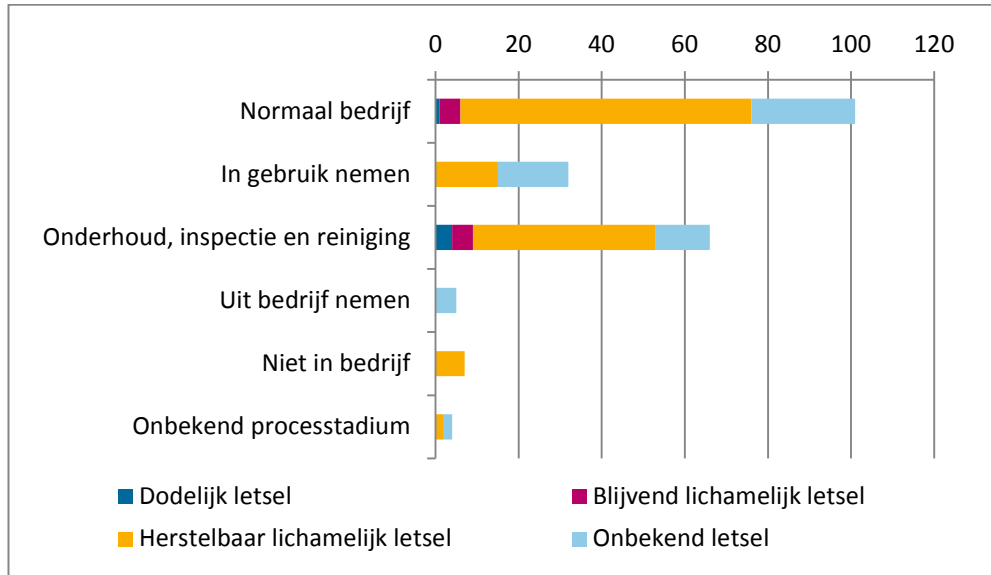
Figuur 5.5 Type bedrijf (2-cijferige SBI code) en ernst van het letsel



Figuur 5.6 Grootte van de vestigingslocatie en ernst van het letsel

In Figuur 5.7 is de ernst van het letsel weergegeven voor het processtadium voorafgaand aan het incident. In de figuur valt vooral op dat vier van de vijf dodelijke slachtoffers vielen bij incidenten tijdens onderhoud, reiniging en inspectie. In paragraaf 2.5.4 was al gesignaleerd dat het aantal slachtoffers tijdens deze procesfase

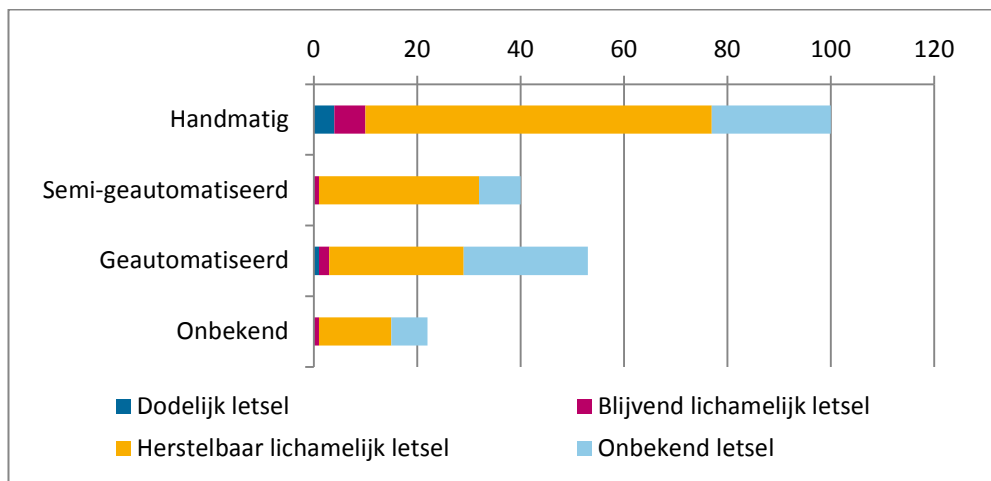
verhoudingsgewijs groot is. Uit Figuur 5.7 blijkt dat ook de kans op dodelijk letsel voor deze procesfase verhoudingsgewijs groot is.



Figuur 5.7 Processtadium en ernst van het letsel

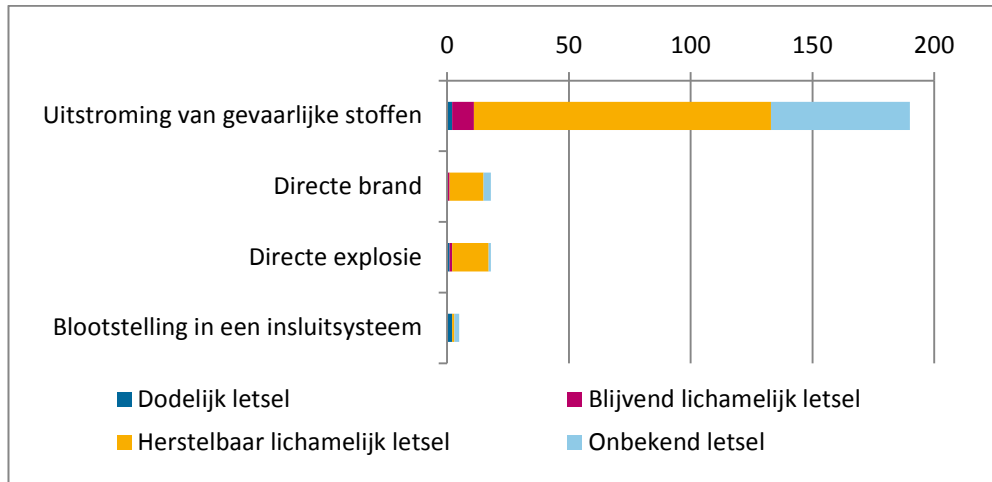
“Vier van de vijf dodelijke slachtoffers vielen bij onderhoudswerkzaamheden. Ook het aantal slachtoffers met blijvend letsel is tijdens onderhoudswerkzaamheden verhoudingsgewijs groot.”

In Figuur 5.8 is de ernst van het letsel weergegeven voor de wijze van taak- of procesregulering. Opvallend is dat vooral bij handmatige taken en processen relatief veel slachtoffers met dodelijk of blijvend letsel vallen. Het gaat daarbij om incidenten waarbij onderhoud wordt uitgevoerd aan een installatie (3 slachtoffers), waarbij heetwerkzaamheden (zoals lassen) worden uitgevoerd op of naast een installatie (2 slachtoffers) of waarbij installatieonderdelen actief worden geopend (6 slachtoffers).



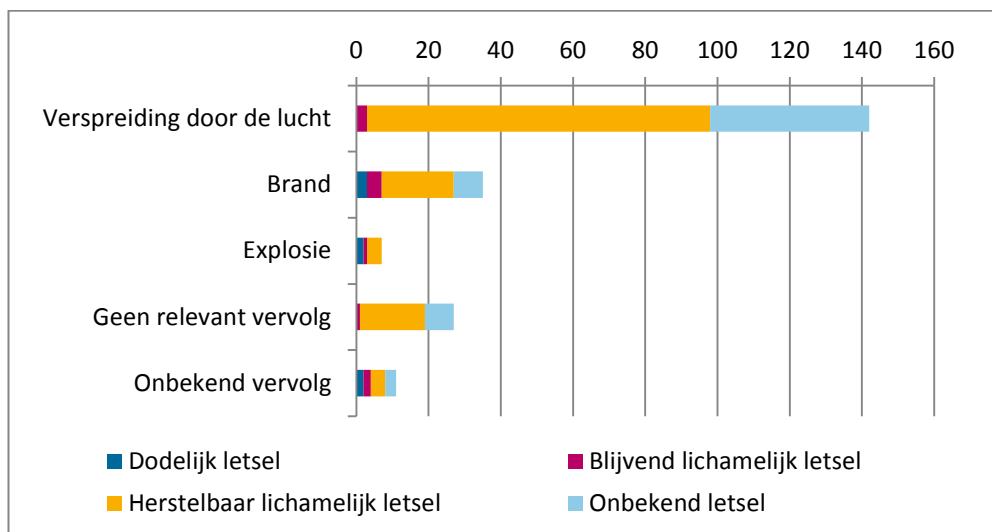
Figuur 5.8 Wijze van taak- of procesregulering en ernst van het letsel

In Figuur 5.9 is de ernst van het letsel weergegeven voor het directe effect van het incident. Een kanttekening bij de figuur is dat het letsel een combinatie is van het directe effect en het vervolgeffect (zie Figuur 5.10). De meest opvallende (afwijkende) categorie is blootstelling binnen een insluitsysteem. Dit betrof slechts drie incidenten maar daarbij vielen wel twee dodelijke slachtoffers.



Figuur 5.9 Direct effect van het incident en ernst van het letsel

In Figuur 5.10 is tot slot de ernst van het letsel weergegeven voor het vervolgeffect van het incident. Ook hiervoor geldt de kanttekening dat het letsel een combinatie is van het directe effect (zie Figuur 5.9) en het vervolgeffect. De categorie 'verspreiding door de lucht' springt er het meest uit. Opvallend daarbij is dat daarbij geen dodelijke slachtoffers vielen en relatief weinig slachtoffers met blijvend letsel. Het aantal slachtoffers met onbekend letsel is daarentegen uitzonderlijk groot. Blijkbaar is het voor inhalatie van gevaarlijke stoffen moeilijker te achterhalen of het letsel van blijvende of herstelbare aard is.



Figuur 5.10 Vervolgeffect van het incident en ernst van het letsel

6 Vergelijking met andere arbeidsongevallen

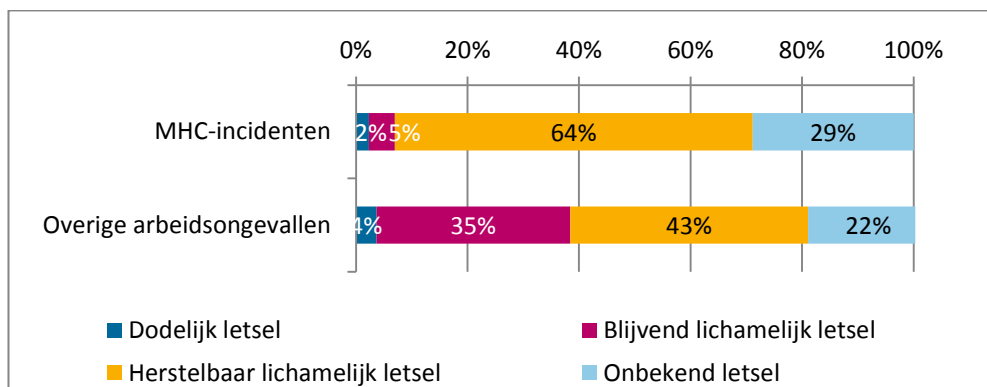
In dit onderzoek is gekeken naar de 326 incidenten met gevaarlijke stoffen die overwegend plaatsvonden bij Brzo-bedrijven (zie paragraaf 2.5.1). In dit hoofdstuk wordt onderzocht hoe deze incidenten zich verhouden tot incidenten bij andere typen bedrijven en tot andere typen incidenten.

Hiertoe is een vergelijking gemaakt met data in de generieke Storybuilder-database voor arbeidsongevallen, waarin 31.156 arbeidsongevallen met 31.111 slachtoffers zijn opgenomen [14]. Dit betreft ongevallen met ernstige gevolgen die in de periode van 1998 tot en met 2014 in Nederland zijn gebeurd, die zijn gemeld bij de Inspectie SZW en zijn onderzocht door de Inspectie SZW, en die zijn geanalyseerd door het RIVM.

Enkele kenmerken van de arbeidsongevallen versus MHC-incidenten:

1. In de generieke Storybuilder-database vallen gemiddeld 1,06 slachtoffers per ongeval.³⁹ In de MHC-database is het aantal slachtoffers per ongeval beduidend lager, namelijk 0,66.⁴⁰
2. In beide datasets wordt de ernst van het letsel geregistreerd. De data zijn weergegeven in Figuur 6.1. Bij arbeidsongevallen heeft 38% van de slachtoffers blijvend of dodelijk letsel. Bij de MHC-incidenten is dat 7%.

Beide verschillen kunnen worden verklaard vanuit de selectiecriteria voor het instellen van incidentonderzoeken. MHC-incidenten kunnen worden onderzocht als er potentieel gevaar aanwezig is voor werknemers of omwonenden. Er hoeft niet per se sprake te zijn van slachtoffers en dus ook niet van ernstig letsel. Arbeidsongevallen worden alleen onderzocht als er sprake is van blijvend of dodelijk letsel, als een persoon in het ziekenhuis is opgenomen of als het letsel leidt tot een arbeidsverzuim van minimaal drie werkdagen.

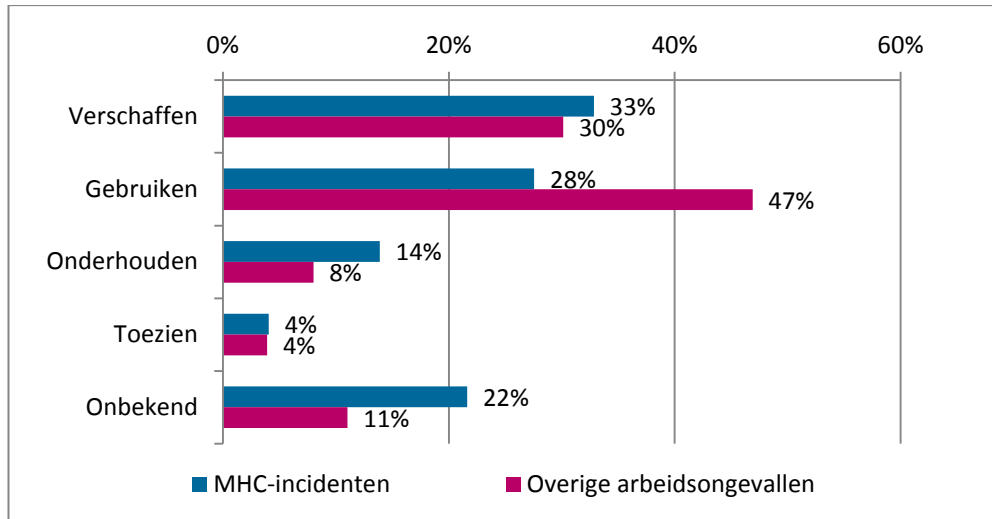


Figuur 6.1 Ernst van het letsel voor MHC-incidenten en voor arbeidsongevallen

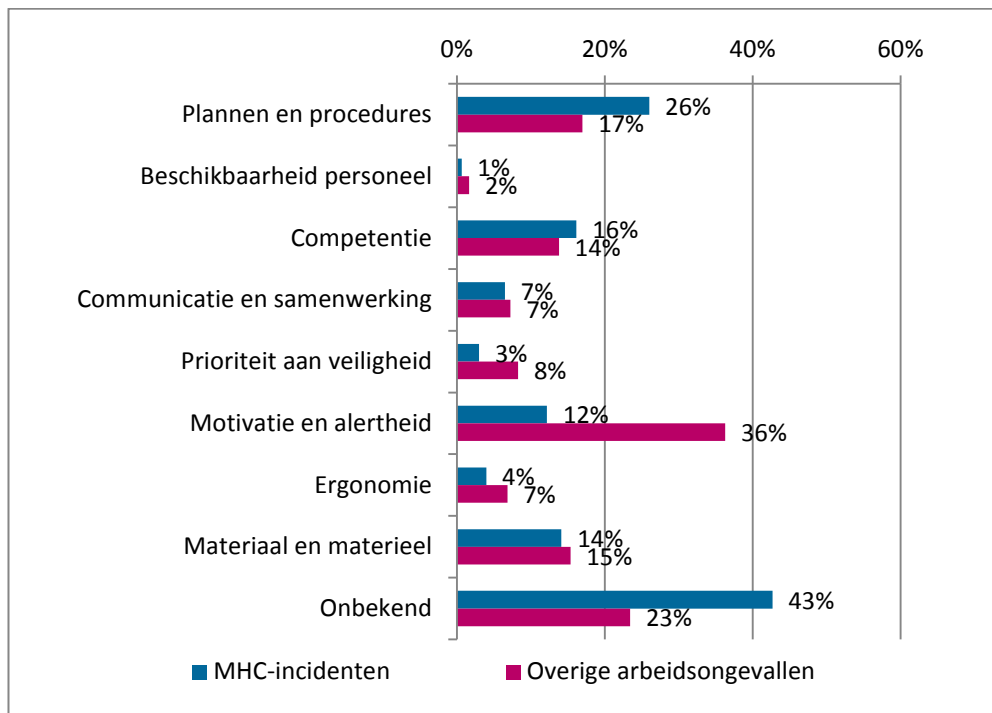
³⁹ 32.111 slachtoffers in 31.156 ongevallen.

⁴⁰ 215 slachtoffers in 326 ongevallen.

Vervolgens is gekeken naar hoe veiligheidsmaatregelen hebben gefaald en waarom. Dit is weergegeven in Figuur 6.2 en Figuur 6.3.



Figuur 6.2 Hoe falen de veiligheidsmaatregelen? MHC-incidenten ten opzichte van overige arbeidsongevallen.



Figuur 6.3 Waarom falen de veiligheidsmaatregelen? MHC-incidenten ten opzichte van overige arbeidsongevallen.

In Figuur 6.2 en Figuur 6.3 zijn de volgende verschillen te zien:

- Bij MHC-incidenten falen veiligheidsmaatregelen voornamelijk doordat ze niet zijn verschaft (33%) of niet adequaat werden gebruikt/toegepast (28%). Bij overige arbeidsongevallen falen veiligheidsmaatregelen vooral omdat ze niet goed worden gebruikt (47%). Zie Figuur 6.2.

- Bij MHC-incidenten ligt dat vooral aan de kwaliteit en volledigheid van plannen en procedures (26%). Bij overige arbeidsongevallen ligt het vooral aan de motivatie en alertheid (36%) (zie Figuur 6.3). Ook het verschil in de factor prioriteit aan veiligheid (3% versus 8%) is opvallend.

Een mogelijke verklaring voor de verschillen is dat het beheersen van de veiligheid bij grote chemische bedrijven complexer is. Er zijn meer mogelijke oorzaken van incidenten, die deels ook op een complexere manier met elkaar samenhangen. Het is daardoor moeilijker om alle mogelijke routes tot een incident te voorzien en te beheersen met praktisch toepasbare maatregelen. Dit zou verklaren waarom er bij MHC-incidenten relatief veel tekortkomingen in plannen en procedures worden gesignaleerd en waarom veiligheidsmaatregelen vaker niet zijn verschaft.

Bij overige arbeidsongevallen speelt het menselijk handelen een grotere rol. Veiligheidsmaatregelen worden verhoudingsgewijs vaak niet gebruikt, en de onderliggende reden is relatief vaak een gebrek aan alertheid bij de werknemers. Voor overige arbeidsongevallen kan de veiligheid worden vergroot door het veilig handelen van het personeel verder te bevorderen. Voor MHC-incidenten levert dat minder winst op en is ook een verdere verbetering van de plannen en procedures nodig.

7 Conclusies

In de periode van 2004-2018 zijn 326 incidenten met gevaarlijke stoffen geanalyseerd die door de vakgroep Major Hazard Control van de Inspectie SZW zijn onderzocht. Bij deze 326 incidenten vielen 215 slachtoffers. De aantallen zijn groot genoeg om statistisch onderbouwde conclusies te trekken. Deze zijn:

1. De meeste incidenten vonden plaats bij hogedrempelinrichtingen van het Besluit risico's zware ongevallen 2015. Het ging daarbij vooral om inrichtingen voor het vervaardigen van chemische producten, oftewel de chemische procesindustrie.
2. Het letsel van de slachtoffers was gelukkig meestal van tijdelijke aard. Desalniettemin waren er ook drie incidenten met dodelijke slachtoffers (in totaal vijf) en waren er minimaal negen incidenten met (in totaal) tien slachtoffers met blijvend letsel.
3. De slachtoffers waren vooral onderhoudsmedewerkers en procesoperators. De helft van de slachtoffers was als contractor ingehuurd door het bedrijf, een derde was eigen personeel.
4. De meeste incidenten (60% van het totaal) traden op tijdens normaal bedrijf. Bij incidenten tijdens onderhoud vielen verhoudingsgewijs meer slachtoffers. Ook was de ernst van het letsel van de slachtoffers bij incidenten tijdens onderhoud verhoudingsgewijs groter.
5. Het aantal incidenten dat door de Inspectie SZW werd onderzocht is gedurende de periode afgenomen. Deze afname is ongeveer tien jaar geleden ingezet. Mogelijk weerspiegelt dit een reële afname van incidenten met gevaarlijke stoffen binnen de industrie. Het kan ook zo zijn dat de Inspectie SZW verhoudingsgewijs minder incidenten is gaan onderzoeken. Het aantal meldingsplichtige incidenten dat werd onderzocht, is gedurende de periode niet aantoonbaar afgenomen.
6. De aard van de incidenten en de directe en onderliggende oorzaken ervan zijn tijdens de onderzochte periode niet wezenlijk veranderd.
7. Bij de meeste incidenten kwamen in eerste instantie gevaarlijke stoffen vrij. 15% van de incidenten begon met een brand of explosie. De gevaarlijke stoffen kwamen vooral vrij via losgeraakte verbindingen en koppelingen en vanuit open afsluiters, drukveiligheidsventielen, aftappunten, afblaasopeningen en leidingen.
8. Als gevaarlijke stoffen vrijkomen, dan zullen deze zich meestal via de lucht verder verspreiden. Eén op de zeven keer ontstond na het vrijkomen van de gevaarlijke stoffen alsnog een brand of explosie. Een kwart van de incidenten is na aanvang snel voorbij of onder controle.
9. De meest voorkomende directe oorzaken van incidenten waren fouten bij het menselijke handelen en materiaalverzwakking. Samen waren deze twee directe oorzaken verantwoordelijk voor 56% van alle incidenten.
10. In het analysemodel zijn verschillende veiligheidsmaatregelen geïdentificeerd waarmee incidenten kunnen worden voorkomen. Deze zijn gegroepeerd in drie beschermingslagen ('lines of

defence'): procesbeheersing, herstel van afwijkingen en noodbescherming:

- a. De veiligheidsmaatregelen voor een goede procesbeheersing zijn gebundeld in vier groepen. Drie daarvan waren bepalend voor het ontstaan van incidenten. De incidenten ontstonden door tekortkomingen bij het borgen van de (materiële) integriteit van de installatie, het beheersen van procesparameters en het veilig opstarten. Er was dus niet één dominante oorzaak voor het ontstaan van incidenten.
 - b. Als de goede procesbeheersing faalt, dan ontstaan er afwijkingen buiten operationele grenzen. Deze werden bij de incidenten niet tijdig en adequaat hersteld. Bij ongeveer de helft van de incidenten kwam dat doordat er geen indicatie van de afwijking was. De afwijking bleef buiten beeld omdat er geen middelen of procedures waren om de afwijkingen tijdig te ontdekken, of omdat deze middelen of procedures niet goed functioneerden.
 - c. Soms zijn, als herstel van de afwijking uitblijft, nog noodmaatregelen mogelijk om een incident te voorkomen. Volgens de analyse was dit voor 41% van de incidenten het geval. Dit betrof vooral het voorkomen van brand en explosie in een insluitsysteem en de bescherming van installaties tegen hoge druk. Bij de overige 59% van de incidenten waren volgens de analyse na het uitblijven van herstel geen verdere noodmaatregelen mogelijk. Voor die incidenten is de veiligheid volledig afhankelijk van een goede procesbeheersing (punt a) en van tijdig en adequaat herstel van afwijkingen (punt b). Het ging dan bijvoorbeeld om scenario's met materiaalverzwakking of waarbij een insluitsysteem actief werd geopend.
11. Het analysemodel omvat verschillende maatregelen om de gevolgen van een incident te beperken. De ene maatregel functioneerde bij de incidenten beter dan de andere. Over het geheel was er iets vaker sprake van tekortkomingen (387x) dan van successen (335x). Dit betekent dat er ook ten aanzien van de bestrijding van het incident en het voorkomen of verminderen van letsel nog verbeteringen mogelijk zijn.
 12. Veiligheidsmaatregelen faalden vooral doordat deze niet of niet goed waren verschaft (33%) of niet goed werden gebruikt (28%). Het eerste houdt in dat de benodigde veiligheidsinstrumenten en procedures ontbraken of onvoldoende geschikt waren. Het tweede houdt in dat beschikbare middelen niet goed werden bediend, gebruikt of toegepast.
 13. Op organisatieniveau werd het falen van veiligheidsmaatregelen vooral veroorzaakt door tekortkomingen in plannen en procedures (26%). In mindere mate speelden ook onvoldoende ervaring en deskundigheid van het personeel (16%), ongeschikt materiaal en materieel (14%) en onvoldoende alertheid van het personeel (14%) een rol.
 14. Met betrekking tot het veiligheidsbeheerssysteem hing het falen van veiligheidsmaatregelen in 38% van de gevallen samen met tekortkomingen in de controle op de exploitatie (VBS element iii). Bij 18% had het falen van de maatregel te maken met fouten bij het identificeren van gevaren en het beoordelen van risico's

(element ii). Overige onderdelen van het VBS werden minder vaak als kritische afwijking beoordeeld.

15. Het verbeteren van de veiligheid is maatwerk, waarbij bedrijven zelf moeten analyseren welke maatregelen voor hun situatie effectief kunnen zijn. Desalniettemin zijn er in de incidenten verschillende overeenkomsten te zien. Allereerst waren twee directe oorzaken gezamenlijk verantwoordelijk voor 56% van alle incidenten en 49% van alle slachtoffers. Het betrof fouten bij menselijke handelingen en materiaalverzwakking. In paragraaf 4.1 is beschreven hoe de veiligheid voor deze twee scenario's kan worden verbeterd. Ten tweede bleek dat de veiligheid bij 59% van de incidenten rustte op twee pijlers: de veilige procesbeheersing en het tijdige en adequate herstel van afwijkingen. Het versterken van deze twee pijlers levert dus relatief veel veiligheidswinst op. Goed zicht op mogelijke afwijkingen buiten operationele grenzen is daar onderdeel van. Tot slot bleek dat met betrekking tot het veiligheidsbeheerssysteem vooral de controle op de exploitatie faalde. Dat betekent dat de gevaren en risico's in principe bekend waren, maar dat de vertaling naar goed functionerende maatregelen in de praktijk tekortschoot. Voor het vergroten van de veiligheid moet nog zorgvuldiger worden bekeken of de geïmplementeerde instrumenten en procedures gegeven de mogelijke afwijkingen toereikend zijn, en of deze op de werkvloer ook worden gebruikt zoals was beoogd.

Begrippenlijst

Arbeidsongeval	Een aan een werknemer in verband met het verrichten van arbeid overkomen ongewilde, plotselinge gebeurtenis, die schade aan de gezondheid tot vrijwel onmiddellijk gevolg heeft gehad en heeft geleid tot ziekteverzuim, of die de dood tot vrijwel onmiddellijk gevolg heeft gehad.
Barrière (definitie cf. Storybuilder)	Barrières zijn obstakels in het incidentpad die incidenten moeten voorkomen of de gevolgen ervan verminderen. Barrières vervullen daarmee een specifieke veiligheidsfunctie. De veiligheidsfunctie kan op verschillende manieren worden geïmplementeerd. De adequate werking van barrières moet worden gemanaged met een beheerscyclus. Het Storybuilder MHC-model omvat zes groepen barrières (zie 'line of defence'), waarvan drie ter linkerzijde van de centrale gebeurtenis (preventieve barrières) en drie ter rechterzijde (mitigerende barrières).
Barrièretaak	Zie taak.
Bijna ongeval (‘near miss’)	Een incident waarbij een of meerdere preventieve barrières falen, waardoor afwijkingen ten opzichte van de normale bedrijfsvoering optreden. Door succesvolle preventieve maatregelen ontstaat er geen ongeval, dat wil zeggen er komen geen gevaarlijke stoffen vrij, er treedt geen brand of explosie op, en ruimten met gevaarlijke stoffen worden ook niet betreden.
Brzo	Besluit risico's zware ongevallen 2015 (voorheen 1999). Het Brzo integreert wet- en regelgeving op het gebied van arbeidsveiligheid, externe veiligheid en rampenbestrijding in één juridisch kader. Doelstelling is het voorkomen en beheersen van zware ongevallen waarbij gevaarlijke stoffen betrokken zijn. Het Brzo stelt hiertoe eisen aan de meest risicovolle bedrijven in Nederland. Daarnaast wordt in het besluit de wijze geregeld waarop de overheid daarop moet toezien. Op 8 juli 2015 trad het vernieuwde Brzo 2015 in werking.
Brzo-inrichting	De inrichting (onderneming) die gevaarlijke stoffen heeft, zodanig naar aard en hoeveelheid dat de in het Brzo genoemde grenzen (voor één of meer genoemde gevaarlijke stoffen) worden overschreden.
Centrale gebeurtenis	Een centrale gebeurtenis is het middelpunt van een zogeheten 'vlinderdas'. Het is het punt waar de gevaarlijke stof of agens vrijkomt. Het Storybuilder MHC-model maakt onderscheid naar drie verschillende typen: het vrijkomen van gevaarlijke stoffen, brand en/of explosie in een insluitsysteem en

	blootstelling aan gevaarlijke stoffen in een insluitsysteem.
Directe oorzaak	Het betreft het faalmechanisme dat chronologisch direct voorafging aan het incident. Bijvoorbeeld de fysieke oorzaak van het bezwijken van een insluitsysteem of de directe oorzaak waardoor een insluitsysteem open ging.
Incident	Bij een incident zijn een of meer afwijkingen ten opzichte van de normale bedrijfsvoering opgetreden. Incident is dus een breed begrip, dat zowel 'bijna ongevallen' als ongevallen omvat.
Insluitsysteem	Een insluitsysteem bestaat uit een of meer toestellen, waarvan onderdelen blijvend met elkaar in open verbinding staan en bestemd zijn om één of meer stoffen te omsluiten, die in geval van een (dreigend) zwaar ongeval in korte tijd kan worden afgesloten. Onder insluitsystemen worden hier verstaan installatieonderdelen (zoals reactoren, procesvaten en procespijpleidingen), maar ook opslageenheden (zoals tanks, drums en cilinders) en transportinstallaties (zoals transportpijpleidingen, flexibele slangen, laadarmen), et cetera.
Line of Defence (LoD)	Een verzameling veiligheidsmaatregelen (barrières) met een functionele samenhang. Zijn als zodanig gegroepeerd in het model.
Major Hazard Control (MHC)	Een vakgroep (voorheen Directie) van de Inspectie SZW. De vakgroep MHC richt zich op de veiligheid bij grote chemische bedrijven en is mede verantwoordelijk voor het toezicht op naleving van de wetgeving ter voorkoming van zware ongevallen en het beperken van de gevolgen er van. De vakgroep MHC voert inspecties uit en doet incidentonderzoek bij bedrijven die vallen onder de wetgeving voor zware ongevallen.
Management-factor	Managementfactoren, ook wel managementsysteemfactoren, zijn de sociotechnische elementen van de veiligheidsbeheersing die ervoor moeten zorgen dat veiligheidsbarrières adequaat functioneren. Het Storybuilder-model onderscheidt acht verschillende managementfactoren, namelijk (i) adequate plannen en procedures, (ii) de beschikbaarheid van geschikt personeel, (iii) voldoende competentie van het personeel, (iv) afdoende communicatie, (v) de afwezigheid van belangen die conflicteren met veiligheid, (vi) voldoende gemotiveerd en alert personeel, (vii) geschikte ergonomie van technische onderdelen en interfaces en (viii) voldoende geschikte materialen en gereedschappen.
eMARS	Databank van de Europese Unie (electronic Major Accident Reporting System). De lidstaten zijn verplicht ernstige incidenten direct te melden en later aan te vullen met onderzoeksgegevens.

MHC incident-analysemodel	Voor het analyseren van incidenten waar gevaarlijke stoffen bij zijn betrokken, is, in samenwerking met de Engelse HSE, voor de toenmalige directie Major Hazard Control (MHC) van het ministerie van SZW een specifiek Storybuilder-model gemaakt. Dit is het (Storybuilder-MHC) incidentanalysemodel dat onderwerp is van dit voorschrift.
Ongeval	Bij een ongeval falen een of meerdere preventieve barrières, en treden afwijkingen ten opzichte van de normale bedrijfsvoering op die niet tijdig en adequaat hersteld worden. Dit resulteert in het vrijkomen van gevaarlijke stoffen, brand of explosie, of het betreden van een ruimte met gevaarlijke stoffen. Bij een ongeval hoeft geen sprake te zijn van letsel of materiële schade.
SBI code	SBI staat voor Standaard bedrijfsindeling kamers van koophandel.
Seveso-richtlijn	Europese richtlijn voor het voorkomen en beheersen van ongevallen met gevaarlijke stoffen bij grote chemische bedrijven. Bedrijven vallen onder de richtlijn als de vergunde hoeveelheden gevaarlijke stoffen groter zijn dan drempelwaarden die in de richtlijn zijn vermeld. De betreffende bedrijven moeten onder meer de risico's van incidenten beperken met een veiligheidsbeheerssysteem. Overheden moeten voorbereid zijn op incidenten en moeten bepalen welke gevaren en risico's toelaatbaar zijn voor de omgeving.
Storybuilder	Storybuilder is een onderzoeksinstrument met een grafische interface. Het wordt gebruikt voor het registreren en analyseren van incidenten. In het model worden de oorzakelijke 'paden' ingegeven. De paden geven aan wat, waar en waarom incidenten zijn voorgevallen. Zie Bijlage 2 voor achtergrondinformatie over Storybuilder.
SZW	Ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid.
Taak	Een taak is een onderdeel van de beheerscyclus van barrières. Het Storybuilder-model onderscheidt vier taken: (i) verschaffen (implementeren), (ii) gebruiken, (iii) onderhouden en (iv) monitoren (toezien op). Samen moeten de vier taken borgen dat de barrière functioneert, c.q. dat de beoogde veiligheidsfunctie van de barrière wordt vervuld.
Veiligheidsbeheerssysteem (VBS)	Ten einde het preventiebeleid te bepalen en uit te voeren, voert degene die een Brzo-plichtige onderneming bestuurt of leidt, een veiligheidsbeheerssysteem in. In het veiligheidsbeheerssysteem komen de zeven elementen die genoemd staan in Bijlage 3 van het Brzo, aan de orde.
Verliesbepalende gebeurtenis	Een verliesbepalende gebeurtenis beschrijft de veiligheidstoestand die volgt op het falen of slagen

van de voorafgaande groep veiligheids-barrières (LoD). Voorbeelden van verliesbepalende gebeurtenissen zijn de materiële toestand van de installatie buiten operationele grenzen en druk in de installatie buiten operationele grenzen. Samen geven de verliesbepalende gebeurtenissen in een ongevalspad aan hoe het incident is verlopen.

Zwaar ongeval

Een zwaar ongeval is, volgens de definitie van het Brzo, een gebeurtenis als gevolg van onbeheersbare ontwikkelingen tijdens de bedrijfsuitoefening in een bedrijf, waardoor ernstig gevaar voor de gezondheid van de mens of voor het milieu ontstaat en waarbij gevaarlijke stoffen zijn betrokken.

Referenties

- [1] Database: Storybuilder-MHCA-2019-07.sb. Binnenkort beschikbaar via www.rivm.nl/storybuilderdownload/login.jsp (verwachte publicatiedatum eind juli 2019).
- [2] Gebruiksvoorschrift Storybuilder-MHC; analyse van incidenten met gevaarlijke stoffen bij grote chemische bedrijven en invoer in Storybuilder. Conceptversie opvraagbaar via de auteurs.
- [3] Besluit van 25 juni 2015, houdende vaststelling van het Besluit risico's zware ongevallen 2015 en herziening van enkele andere besluiten in verband met de implementatie van Richtlijn 2012/18/EU van het Europees Parlement en de Raad van 4 juli 2012 betreffende de beheersing van de gevaren van zware ongevallen waarbij gevaarlijke stoffen zijn betrokken, houdende wijziging en vervolgens intrekking van Richtlijn 96/82/EG van de Raad (Besluit risico's zware ongevallen 2015). Beschikbaar via <https://wetten.overheid.nl/BWBR0036791/2015-07-08> (ingezien op 6 mei 2019).
- [4] Analyse van incidenten met gevaarlijke stoffen bij grote bedrijven 2018. Rapport 2019-0054. RIVM. 2019.
- [5] Incidentanalyse 2011-2013, incl. trend 2004-2013. VRM13.3731.R06. RPS. 2014. Onderdeel van de Rapportenbundel behorend bij Staat van de Veiligheid Majeure risicobedrijven 2014. Beschikbaar via <https://zoek.officielebekendmakingen.nl/blg-586345.pdf> (ingezien op 25 maart 2019).
- [6] Voortgangsrapportage Veiligheid Voorop 2017. Veiligheid Voorop. 2018. Beschikbaar via http://www.veiligheidvoorop.nu/uploads/userfiles/jaarverslag_2017-veiligheid-voorop_lr.pdf (ingezien op 3 mei 2019).
- [7] Werken met effect – onderzoek naar de capaciteit van de Inspectie SZW. ABDTopConsult. 2016. Beschikbaar via <https://www.rijksoverheid.nl/binaries/rijksoverheid/documenten/rapporten/2016/11/30/rapportage-onderzoek-naar-de-capaciteit-van-de-inspectie-szw/rapportage-onderzoek-naar-de-capaciteit-van-de-inspectie-szw.pdf> (ingezien op 3 mei 2019).
- [8] Wet van 18 maart 1999, houdende bepalingen ter verbetering van de arbeidsomstandigheden (Arbidsomstandighedenwet 1998). Beschikbaar via <https://wetten.overheid.nl/BWBR0010346/2019-01-01> (ingezien 6 mei 2019).
- [9] Richtlijn 2012/18/EU van het Europees Parlement en de Raad van 4 juli 2012 betreffende de beheersing van de gevaren van zware ongevallen waarbij gevaarlijke stoffen zijn betrokken, houdende wijziging en vervolgens intrekking van Richtlijn 96/82/EG van de Raad (Seveso III-richtlijn). Beschikbaar via <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/nl/TXT/?uri=CELEX:32012L0018> (ingezien 6 mei 2019).

- [10] Standaard Bedrijfsindeling 2008 – versie 2017. Centraal Bureau voor de Statistiek in samenwerking met Kamer van Koophandel. 2016. Beschikbaar via <https://www.cbs.nl/nl-nl/onze-diensten/methoden/classificaties/activiteiten/sbi-2008-standaard-bedrijfsindeling-2008/de-structuur-van-de-sbi-2008-versie-2017> (ingezien op 6 mei 2019).
- [11] AnnexVI_CLP_Table3_Sep_2018. European Chemicals Agency (ECHA). 2018. Beschikbaar via <https://echa.europa.eu/information-on-chemicals/annex-vi-to-clp> (ingezien op 31 januari 2019).
- [12] De ontwikkeling van Storybuilder – achtergrond en verantwoording. Rapport 1100100001/2013. RIVM. 2014. Beschikbaar via <https://www.rivm.nl/publicaties/ontwikkeling-van-storybuilder-achtergrond-en-verantwoording> (ingezien op 6 mei 2019).
- [13] Controlling the false discovery rate: a practical and powerful approach to multiple testing. Benjamini, Y. and Hockberg, Y. Journal of the Royal Statistical Society B. Vol. 57 p.p. 289-300. 1995.
- [14] Database: RIVM 1999tm2014_ANON.sb. Beschikbaar via www.rivm.nl/storybuilderdownload/login.jsp (ingezien op 12 juni 2019).
- [15] European Statistics on Accidents at Work (ESAW) - summary methodology. 2013 edition. Eurostat. 2013.
- [16] Technical guideline on reporting accidents to the MARS database. Version 02-2001. EC DG-JRC, MAHB. 2001.

1 Bijlage 1 Modelbeschrijving Storybuilder

Storybuilder is ontwikkeld om de resultaten van grote aantallen incidentanalyses in een Bowtie-model vast te kunnen leggen [12]. De term Storybuilder verwijst daarbij zowel naar het model waarmee de analyses worden uitgevoerd als de bijbehorende publiek beschikbare software. De software bestaat uit een grafische interface waarmee analyses kunnen worden uitgevoerd en als incidentpaden worden vastgelegd.

Storybuilder wordt in Nederland gebruikt voor het analyseren van arbeidsongevallen die door de Inspectie-SZW zijn onderzocht. Voor verschillende typen ongevallen/incidenten⁴¹ zijn specifieke (sub)modellen ontwikkeld. De algemene kenmerken van Storybuilder worden besproken in paragraaf B1.1. Storybuilder-MHC betreft het specifieke model voor het analyseren van incidenten met gevaarlijke stoffen bij majeure risicobedrijven. De specifieke kenmerken van dit MHC (sub)model worden beschreven in paragraaf B1.2.

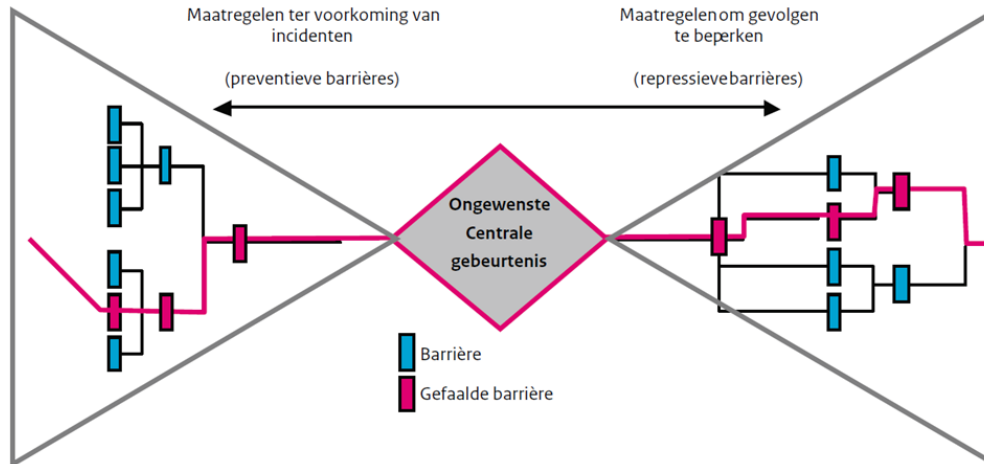
B1.1 Algemene beschrijving van Storybuilder

Het generieke Storybuilder-model gaat uit van een incidentscenario dat wordt weergegeven als een incidentpad. Het model bevat naast algemene kenmerken van het incident (administratieve gegevens) ook een structuur voor het analyseren van directe en onderliggende oorzaken. Voor deze directe en onderliggende oorzaken wordt een zogeheten 'vlinderdasmodel' ('bowtie-model') gebruikt. Centraal in dit vlinderdasmodel staat de te voorkomen centrale gebeurtenis. Ter linker zijde van de centrale gebeurtenis staan (preventieve) barrières die deze gebeurtenis moeten voorkomen. Ter rechter zijde staan (repressieve) barrières die de gevolgen ervan moeten beperken. Schematisch is de samenhang tussen incidentpad, centrale gebeurtenis en barrières weergegeven in Figuur B1.1.

De centrale gebeurtenis is het middelpunt in het vlinderdasmodel en geeft antwoord op de vraag wat er is gebeurd. De centrale gebeurtenis wordt gedefinieerd als het moment waarbij de gevaarlijke agens (schadelijke stof of energie) vrijkomt.

Barrières (in het hoofdrapport 'veiligheidsmaatregelen' genoemd) zijn obstakels in het incidentpad die incidenten moeten voorkomen of de gevolgen ervan moeten verminderen. Barrières vervullen daarmee een specifieke veiligheidsfunctie. De veiligheidsfunctie kan op verschillende manieren worden geïmplementeerd. De adequate werking van barrières moet worden gemanaged met een beheercyclus.

⁴¹ In de verdere tekst wordt hoofdzakelijk de term 'incident' gebruikt. Incident staat hier voor een onvoorziene ongewenste gebeurtenis. De term ongeval impliceert schade of letsel. Daarvan is niet altijd sprake.



Figuur B1.1 Storybuilder-model met als rode lijn weergegeven het incidentpad, die de route aangeeft van het opgetreden incidentscenario met de daarbij falende barrières

Aan de linkerkant van het vlinderdasmodel staan de barrières ter voorkoming van incidenten ('preventieve barrières'). De centrale gebeurtenis treedt op als de verdedigingslinies van preventieve barrières hebben gefaald. Aan de rechterkant staan de barrières om gevolgen van het incident te beperken ('repressieve/ mitigerende barrières'). De ernst van de gevolgen hangt af van het succes of falen van de repressieve/ mitigerende barrières'.

Barrières zijn functioneel gegroepeerd in 'lines of defence' (LoD's). Elk specifiek Storybuilder-model bevat minimaal één preventieve en één repressieve LoD. Barrières kunnen falen of succesvol zijn, zie paragraaf B1.4. Een falende barrière leidt tot een verliesbepalende gebeurtenis, ofwel 'loss control event' (LCE). Elke barrièregroep (LoD) wordt daarom opgevolgd door één of meerdere LCE's. In de grafische weergave staan deze ter rechterzijde van de LoD.

De falende taak (T) geeft antwoord op de vraag hoe kon het gebeuren dat de barrière faalde. Het model maakt onderscheid naar vier verschillende (barrière)taken: Verschaffen, Gebruiken, Onderhouden en Monitoren. Samen vormen de taken een soort beheercyclus voor de barrière. Als er mogelijk sprake is van een menselijke fout, dan wordt de aard van de menselijke fout ook geanalyseerd.

De falende managementfactor (DS) geeft antwoord op de vraag waarom de beheerstaak faalde. Deze factoren kunnen organisatorisch- of gedragsmatig van aard zijn. Haperingen in het goed functioneren van deze managementfactoren kunnen leiden tot het falen van één van de taken en daardoor van de barrière. Het model maakt onderscheid naar acht verschillende managementfactoren.

De oorzaken van incidenten zijn dus te beschrijven als een keten van falende managementfactoren, falende taken en falende barrières. Schematisch is dit weergegeven in Figuur B1.2.



Figuur B1.2 Structuur voor het analysemodel met onderliggende factoren

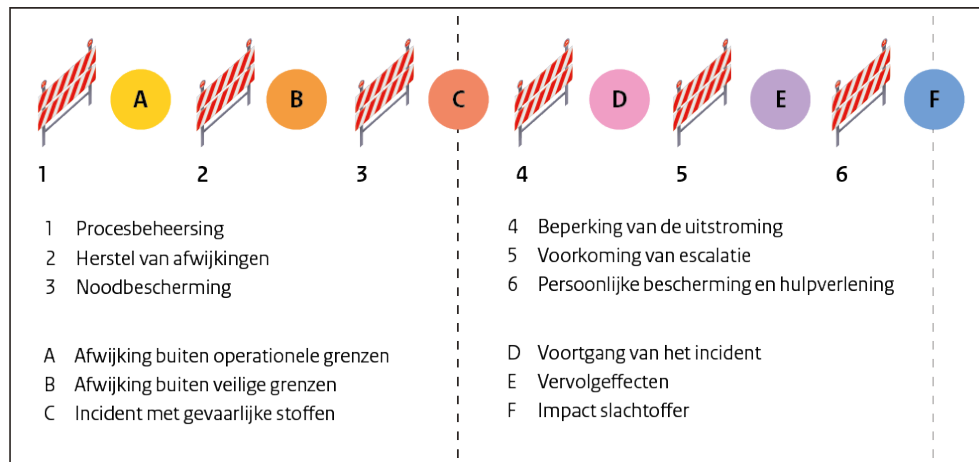
B1.2 Algemene beschrijving van het MHC-model

Voor incidenten met uitstroming van gevaarlijke stoffen is een specifiek Storybuilder-analysemodel ontwikkeld, in opdracht van het ministerie van SZW en in samenwerking met de Health and Safety Executive (Arbeidsinspectie in het Verenigd Koninkrijk). Dit model wordt in dit rapport verder aangeduid als het (Storybuilder) MHC-model, of Storybuilder-MHC.

De (oorspronkelijke) centrale gebeurtenis in het MHC-model is het 'onbedoeld uitstromen van een gevaarlijke stof'. Omdat er door de directie MHC van de I-SZW ook enkele andere incidenten zijn onderzocht, is de definitie later verbreed tot 'Majeur incident met gevaarlijke stof(fen)'. Daarbij worden de volgende typen onderscheiden:

1. het vrijkomen van gevaarlijke stoffen, ook wel 'loss of containment' (LoC) genoemd;
2. directe brand: brand in of nabij een insluitsysteem zonder voorafgaande 'loss of containment';
3. directe explosie: explosie in een insluitsysteem zonder voorafgaande 'loss of containment';
4. blootstelling aan gevaarlijke stoffen in een insluitsysteem.

Om een majeure incident met gevaarlijke stoffen te voorkomen en de gevolgen daarvan te beperken, moeten verdedigingslijnies (*Lines of Defence* (LoD's)) van daarbij horende veiligheidsmaatregelen (barrières) in stand worden gehouden. In het MHC-model worden drie preventieve en drie repressieve LoD's gebruikt, zie Figuur B1.3.



Figuur B1.3 Overzicht van het Storybuilder MHC-model. De 'lines of defence' zijn weergegeven met hekken, de verliesbepalende gebeurtenissen met cirkels. In het midden staat de centrale gebeurtenis

Zoals beschreven in paragraaf B1.1 is het vlinderdasmodel in Storybuilder opgebouwd uit barrières, (barrière)taken en managementfactoren. Vanwege de relatie met de wetgeving, zijn in het MHC-model ook de onderdelen van het veiligheidsbeheerssysteem (VBS) opgenomen, zoals die in het Brzo zijn benoemd. De VBS-onderdelen staan naast de managementfactoren en hebben daar ook overlap mee. Zo is de managementfactor Competentie uit Storybuilder een expliciet onderdeel van het VBS element 'Personeel en organisatie' uit het Brzo.

In het MHC-model zijn 41 barrières verdeeld over zes *lines of defence*. In Tabel B1.1 is weergegeven uit welke barrières de verschillende *lines of defense* zijn opgebouwd.

Tabel B1.1 Overzicht van barrières binnen de verschillende LoD's

LoD	Code	Barrières binnen de LoD
1	01_B	Selectie installatieonderdeel
	02_B	Veiligstellen vooraf
	03_B	Beheersing condities m.b.t. materiaaldegradatie
	04_B	Materiaal insluitsysteem
	05_B	Ontwerp van de installatie (onderdelen)
	06_B	Verbinding installatieonderdelen
	07_B	Installatie van apparatuur/ installatieonderdelen
	08_B	Beveiliging tegen onbedoeld in beweging komen insluitsysteem
	09_B	Beheersing van de (proces)temperatuur
	10_B	Beheersing van de reactie
	11_B	Beheersing (proces)druk
	12_B	Beheersing van de processtromen
	13_B	Scheiding van niet-compatibele stoffen
	14_B	Beveiliging van het terrein van de inrichting
	15_B	Voorkomen storingen van gemeenschappelijke oorzaak
	16_B	Voorkomen van externe impact
	17_B	Opslag/transportcondities
	18_B	Scheiding met hittebronnen

LoD	Code	Barrières binnen de LoD
2	20_B	Herstel van afwijking
3	51_B	Secundaire containment
	52_B	Bescherming bij opheffen insluiting
	53_B	Bescherming bij temperatuur buiten veilige grenzen
	54_B	Bescherming bij druk buiten veilige grenzen
	55_B	Bescherming bij niveau buiten veilige grenzen
	56_B	Bescherming bij ongewenste doorslag
	57_B	Voorkomen van ontsteking of zelfontbranding
	60_B	Bescherming bij afwijkende stof
	58_B	Noodbescherming bij externe impact en belasting
	59_B	Gebruik van PBM's in een insluitsysteem
4	28_B	Stoppen van de uitstroming
	29_B	Reductie van de drijvende kracht uitstroming
5	31_B	Beperking van de verdamping of dispersie
	32_B	Noodopvang
	34_B	Voorkomen van ontsteking
	35_B	Brandbestrijding en explosiepreventie
	36_B	Voldoende afstand tot andere installaties
6	38_B	Gebruik persoonlijke beschermingsmiddelen
	39_B	Evacuatie
	40_B	Veilige toevlucht
	41_B	Afstand houden tot de gevaarszone
	42_B	Bedrijfshulpverlening

B1.3 Doel en gebruik van het Storybuilder MHC-model

Het primaire doel van de analyses met het Storybuilder MHC-model is het vergroten van het inzicht in de ontstaansgeschiedenis van incidenten met gevaarlijke stoffen bij grote chemische bedrijven. De vlinderdasstructuur laat zien welke barrières van belang zijn voor het voorkomen van incidenten en het beperken van de gevolgen daarvan. De achterliggende barrièretaken en managementfactoren geven aan hoe het goed functioneren van die barrières moet worden geborgd.

Voor specifieke (individuele) incidenten biedt het model de mogelijkheid om op gestructureerde manier na te gaan welke aspecten van belang zijn voor het incident. Hierbij gaat het zowel om de relevante barrières in de verschillende *lines of defence* als om de achterliggende factoren (barrièretaken en managementfactoren). Met deze kennis kan de kwaliteit van incidentonderzoeken worden verbeterd.

Omdat de kenmerken van alle geanalyseerde incidenten in één database worden verzameld, is het mogelijk om veelvoorkomende patronen te identificeren. Daarbij kan eventueel weer onderscheid worden gemaakt in verschillende typen bedrijven, installatieonderdelen of stoffen. Inspectiediensten kunnen deze informatie gebruiken voor de planning/prioritering van inspectieonderwerpen. Bedrijven kunnen deze informatie gebruiken om te controleren of voor de terugkerende fouten in de beheersing van veiligheid bij hen voldoende aandacht is.

Voor het onderzoek naar terugkerende patronen gelden twee kanttekeningen:

1. Alleen incidenten die door de Inspectie-SZW of door de Onderzoeksraad voor Veiligheid zijn onderzocht, worden geanalyseerd. De kenmerken van incidenten die niet worden gemeld of die de inspectie niet relevant vindt voor nader incidentonderzoek, blijven dus buiten beeld.
2. Voor de analyses wordt gebruikgemaakt van de voor de Inspectie-SZW en eventueel de Onderzoeksraad voor Veiligheid beschikbare incidentonderzoeken. Relevante aspecten die niet zijn onderzocht of die onvoldoende konden worden aangetoond, blijven dus buiten beeld. Dit heeft in het bijzonder betrekking op de managementfactoren, zoals 'plannen en procedures', 'competentie', 'samenwerking en communicatie' en 'tegenstrijdige belangen'. Sommige managementfactoren zijn beter aantoonbaar dan andere. Managementfactoren die in het incidentonderzoek niet worden aangetoond, worden in de analyses niet benoemd. Daardoor blijven de moeilijk aantoonbare managementfactoren onderbelicht.

B1.4 Falende maatregelen en succesvolle maatregelen

De barrières (veiligheidsmaatregelen) vormen de kern van het vlinderdasmodel. De meeste aandacht gaat daarbij uit naar falende veiligheidsmaatregelen. Als veiligheidsmaatregelen aantoonbaar succesvol waren, dan wordt dat ook geregistreerd. Daarbij gelden de volgende afwegingen:

- Een maatregel heeft gefaald als er in het incidentonderzoek tekortkomingen zijn geconstateerd. Dit kan betekenen dat de maatregel ontbrak of niet goed functioneerde. In enkele gevallen wordt een (falende) maatregel in het incidentonderzoek niet genoemd, maar is toch duidelijk dat deze maatregel mogelijk was en ontbrak. Ook dan heeft de maatregel gefaald.
- Een maatregel is succesvol als het ongeval door een bedoelde actie van een persoon of systeem is voorkomen of als de ernst van het ongeval is beperkt. Een extra voorwaarde is dat de actie probleemloos moet zijn verlopen. Als een waterscherm vanwege problemen met aansluitingen pas na enige tijd kan worden opgezet, dan wordt dat niet gezien als een succesvolle maatregel, maar als een falende maatregel. Verder heeft 'succes' alleen betrekking op de specifieke veiligheidsfunctie die wordt beoordeeld. Als een persoon zonder beschermingsmiddelen direct een flens dichtdraait, dan wordt het stoppen van de uitstroming als succesvol beschouwd. Het gebruik van persoonlijke beschermingsmiddelen en mogelijk ook het veilig toevlucht zoeken, worden dan negatief beoordeeld (falende maatregelen).
- Niet elke maatregel is voor elk incident van toepassing; het stoppen van de uitstroming is bijvoorbeeld alleen relevant voor incidenten waarbij stoffen uitstromen, en bedrijfshulpverlening is alleen van toepassing voor incidenten met slachtoffers.
- Soms is niet duidelijk of een ontbrekende maatregel relevant was voor het incident. Als bijvoorbeeld een uitstroming na een halve minuut vanzelf stopte, faalde dan het stoppen van de uitstroming? De afspraak is dan om dan aan te sluiten bij het onderzoeksrapport. Als het ontbreken van de maatregel daarin niet als tekortkoming is opgenomen, dan heeft deze niet gefaald.

2 Bijlage 2 Aanvullende data/statistiek

B2.1 Aantal incidenten

Het totale aantal geanalyseerde incidenten is 326. Deze vonden hoofdzakelijk plaats in de periode 2004-2018. Abusievelijk is ook één incident uit 2003 geanalyseerd (zie voetnoot 3). Voor veertien incidenten was het incidentonderzoek aan het eind van 2013 nog niet afgerond. Deze zijn niet meegenomen. Zie verder paragraaf 2.2.

B2.2 Aard van het ongeval

In het model wordt onderscheid gemaakt tussen het directe effect van het incident, ook wel de 'centrale gebeurtenis', en effecten die daar op volgen (de 'vervolgeffecten'). De centrale gebeurtenissen zijn weergegeven in Tabel B2.1, de vervolgeffecten in Tabel B2.3.

B2.2.1 Centrale gebeurtenis (direct effect)

Tabel B2.1 Centrale gebeurtenis

Centrale gebeurtenis	Aantal incidenten	Aantal slachtoffers
Uitstroming van gevaarlijke stoffen vanuit een open systeem	292	190
vanuit een reguliere opening in een insluitsysteem	13	17
vanuit falende of losse verbinding	23	4
vanuit een opening die bij normale bedrijfsvoering gesloten is	67	33
vanuit een nieuw ontstaan gat, inclusief lasnaad	93	83
catastrofaal falen	77	39
onbekend	6	1
Directe brand	32	18
brand in het insluitsysteem	26	16
brand in de omgeving van het insluit-systeem	5	2
Directe explosie	31	18
fysische explosie	3	6
ontvlambaar mengsel in insluitsysteem	21	8
stofexplosie	6	1
runaway reactie	7	4
vaste-stof explosie	31	18
Blootstelling in een insluitsysteem	3	5

Bij een incident kunnen meerdere gebeurtenissen optreden, bijvoorbeeld brand en explosie of explosie en uitstroming van gevaarlijke stoffen. De onderlinge samenhang is weergegeven in Tabel B2.2.

Tabel B2.2 Centrale gebeurtenissen in onderlinge samenhang

Initiële gebeurtenis	Aantal incidenten	Aantal slachtoffers
Uitstroming van gevaarlijke stoffen	292	190
uitsluitend vrijkomen gevaarlijke stoffen	273	181
tevens brand	6	0
tevens explosie	9	9
en tevens brand en explosie	4	0
Directe brand	32	18
uitsluitend brand	13	11
tevens vrijkomen gevaarlijke stoffen	6	0
tevens explosie	9	7
tevens vrijkomen gevaarlijke stoffen en explosie	4	0
Directe explosie	31	18
uitsluitend explosie	9	2
tevens vrijkomen gevaarlijke stoffen	9	9
tevens brand	9	7
tevens vrijkomen gevaarlijke stoffen en brand	4	0
Blootstelling in een insluitsysteem	3	5

B2.2.2 Vervolgeffecten na de centrale gebeurtenis

Tabel B2.3 Vervolgeffecten na de centrale gebeurtenis

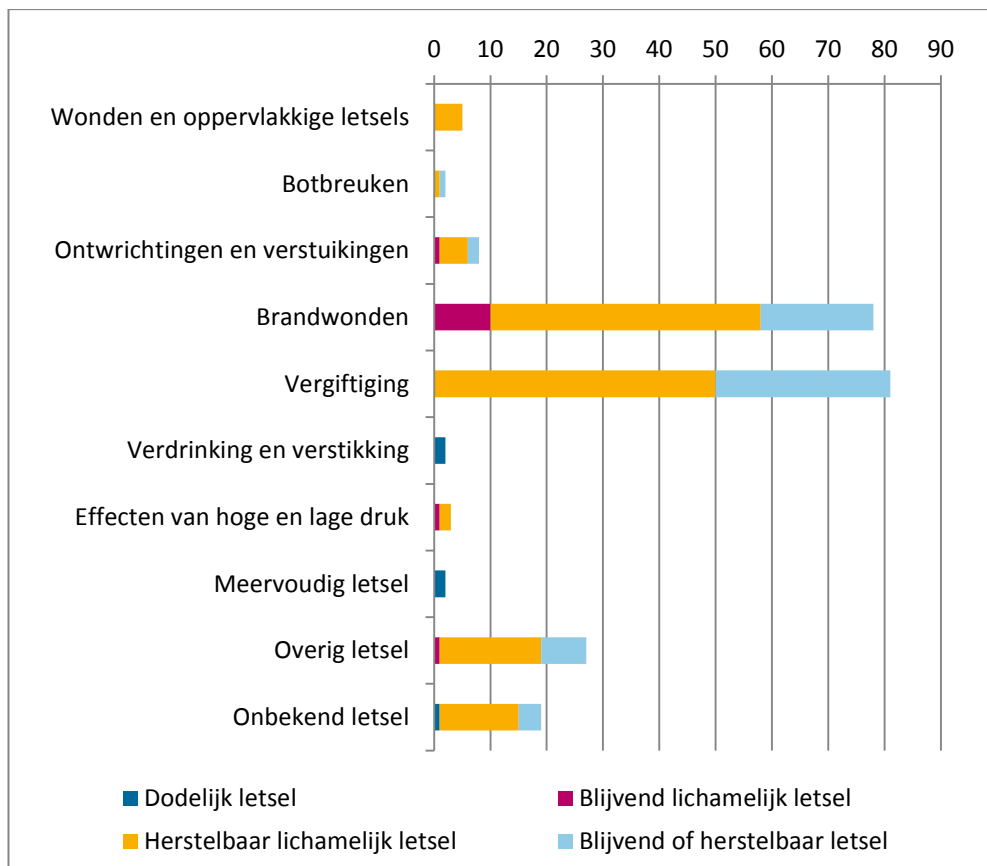
Vervolgeffect na de centrale gebeurtenis	Aantal incidenten	Aantal slachtoffers
Verspreiding door de lucht	168	142
niet gecontroleerd of beperkt	94	110
gecontroleerd of beperkt	69	28
Brand	66	35
plasbrand	17	6
fakkelbrand	19	9
wolkbrand	13	15
vuurbal	1	0
tankdakbrand	1	0
brand in insluitsysteem	13	3
materiaalbrand buiten insluitsysteem	10	3
Explosie	7	7
BLEVE	0	0
explosieve decompressie	1	1
gaswolkexplosie (uitwendig)	2	1
vertraagde explosie tank of leiding door escalatie of domino-effect	4	5
explosie in riool-/afwateringsysteem	0	0
explosie in uitwendig object	0	0
rapid phase transition buiten insluitsysteem	0	0
Geen relevant vervolg	80	27
Onbekend vervolg	13	11

B2.3 Slachtoffers en letsel

B2.3.1 Aard en ernst van het letsel

Bij de 326 geanalyseerde incidenten vielen 215 slachtoffers. In het analysemodel worden voor deze slachtoffers de aard van de blootstelling, de daarmee samenhangende aard van het letsel en de ernst van het letsel geregistreerd. De aard van de blootstelling is weergegeven in Tabel 3.2. De aard van het letsel is weergegeven in Tabel.2.3. De ernst van het letsel is weergegeven in Figuur 2.4.

In Figuur B2.1 is weergegeven hoe het type letsel zich verhoudt tot de ernst van het letsel. Brandwonden resulteren verhoudingsgewijs vaak in blijvend letsel, terwijl bij vergiftigingen (c.q. blootstelling aan stoffen met een toxische werking) overwegend sprake is van herstelbaar letsel.

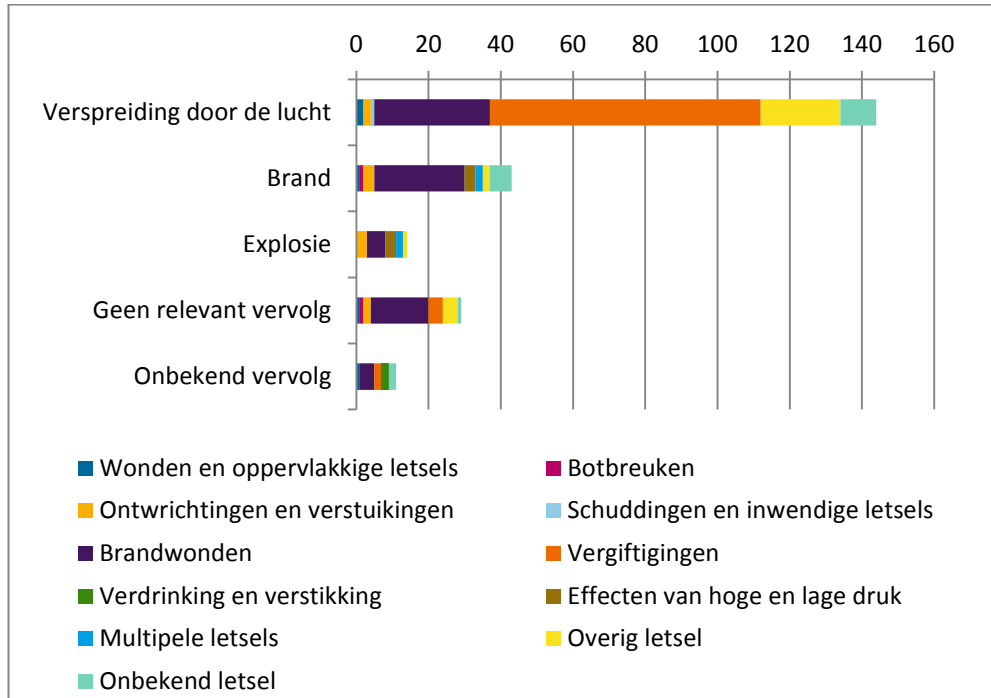


Figuur B2.1 Aard en ernst van het letsel (aantal slachtoffers)

Verbrandingen ontstaan zowel bij brand als bij verspreiding van gevaarlijke stoffen door de lucht, zie Figuur B 2.2. In het eerste geval gaat het om thermische verbrandingen door contact met vlammen of hitte en in het tweede geval om chemische verbrandingen door contact met zure of bijtende stoffen. Ook als er 'geen relevant vervolgeffect' is, ontstaan er verbrandingen.⁴² Dit betreft incidenten waarbij een

⁴² Als er 'geen relevant vervolgeffect' is, dan vindt de blootstelling aan gevaarlijke stoffen direct bij de bron plaats. Bij de andere vervolgeffecten kan de blootstelling een gevolg zijn van het directe effect, of van het vervolgeffect, of van een combinatie van beide.

slachtoffer direct door product wordt getroffen. Vergiftigingen zijn logischerwijs vooral gekoppeld aan verspreiding door de lucht, en in mindere mate aan 'geen relevant vervolgeffect'.⁴²



Figuur B 2.2 Type letsel in combinatie met type vervolgeffect (aantal slachtoffers)

B2.3.3 Overige gevolgen

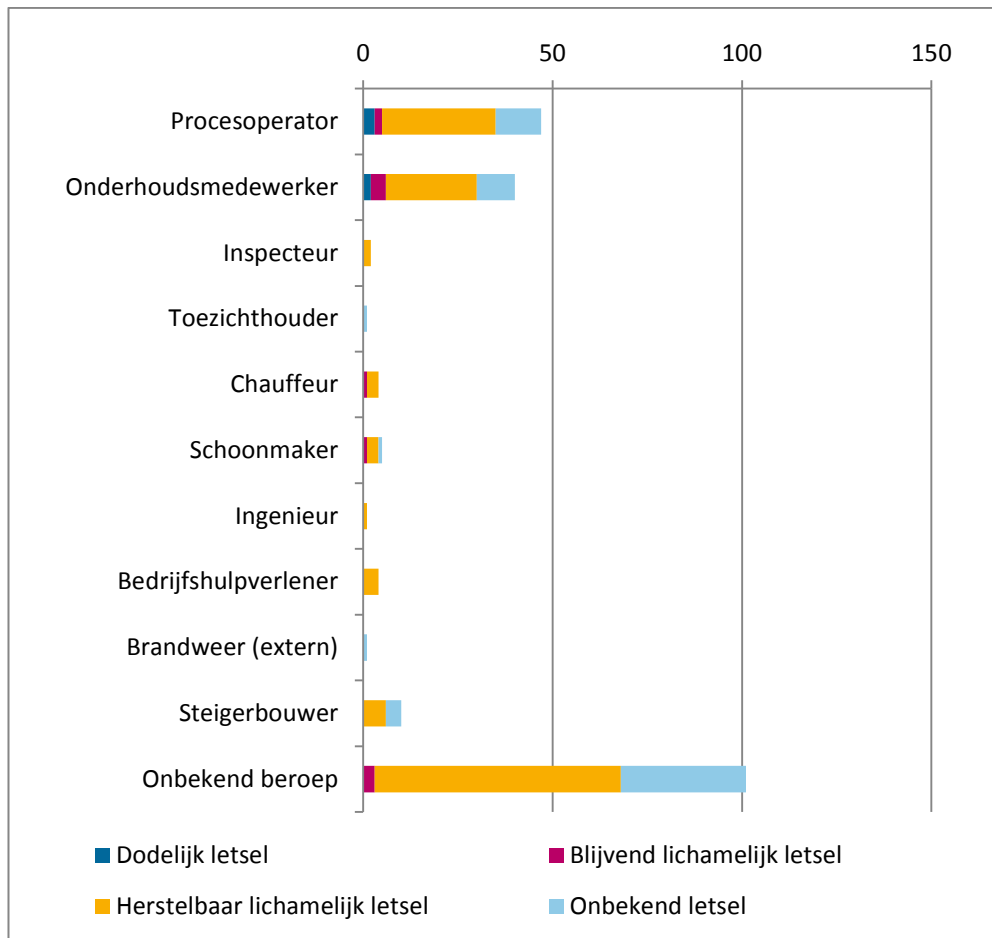
In Tabel 2.4 (zie paragraaf 2.4.3 van het rapport) is weergegeven hoeveel slachtoffers voor behandeling in het ziekenhuis werden opgenomen. In Tabel B2.4 hieronder is de verzuimduur weergegeven. Deze is voor de meerderheid van de slachtoffers (73%) niet bekend.

Tabel B2.4 Verzuimduur

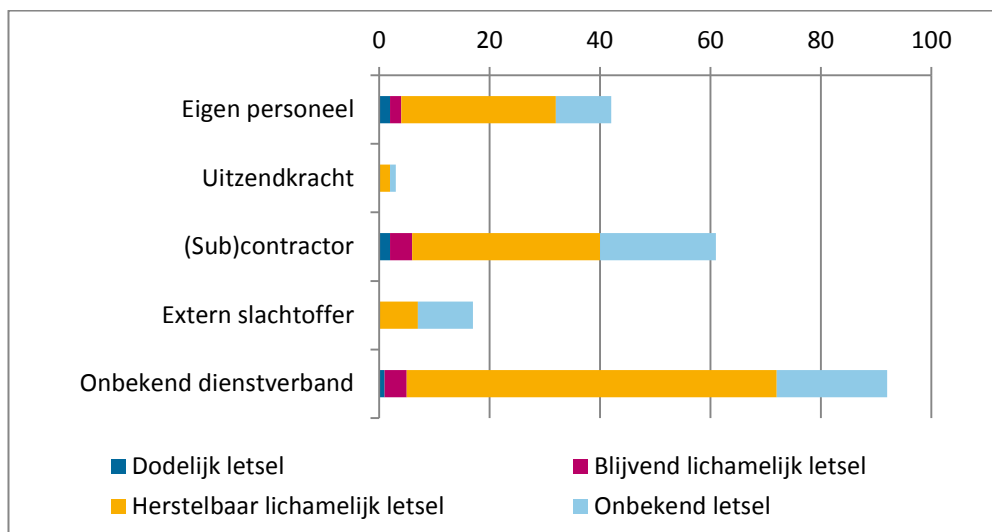
Verzuimduur	Aantal slachtoffers
Maximaal 3 werkdagen	35
Meer dan 3 werkdagen	24
Onbekend	156

B2.3.4 Kenmerken van de slachtoffers

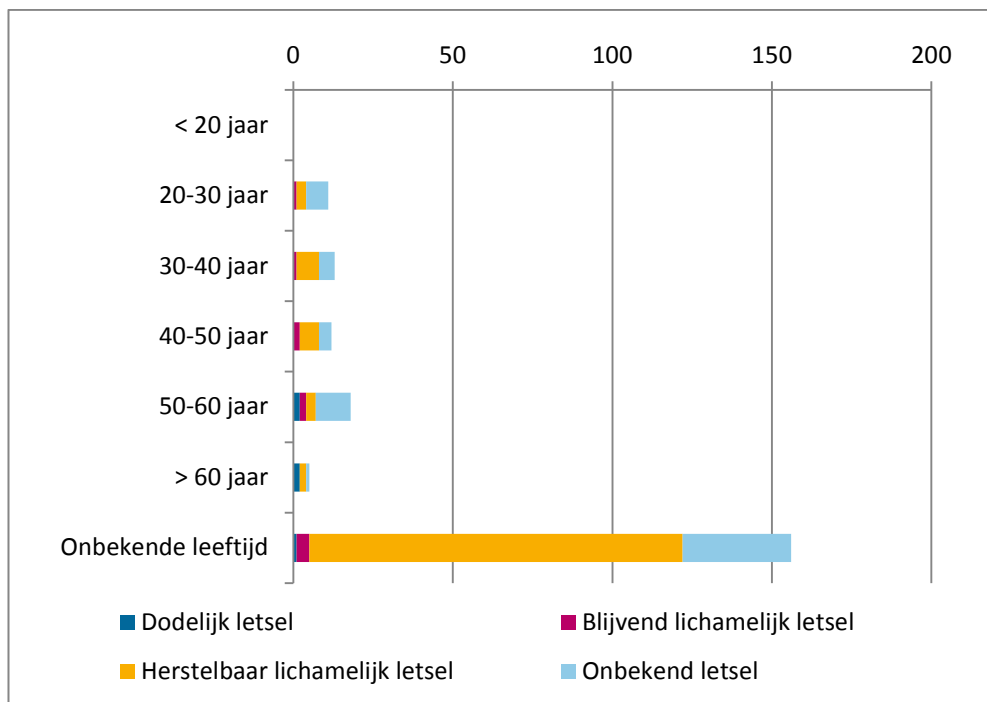
In Figuur B2.3, Figuur B2.5 en Figuur B2.4 zijn respectievelijk het beroep, het dienstverband en de leeftijd van de slachtoffers weergegeven. Daarbij is onderscheid gemaakt naar de ernst van het letsel.



Figuur B2.3 Beroep van het slachtoffer (met onderscheid naar ernst van het letsel)



Figuur B2.4 Dienstverband van het slachtoffer (met onderscheid naar ernst van het letsel)



Figuur B2.5 Leeftijd van het slachtoffer (met onderscheid naar ernst van het letsel)

B2.4 Betrokken stoffen en hoeveelheden

B2.4.1 Betrokken stoffen en producten

In Tabel B2.5 zijn de betrokken stoffen en producten weergegeven.

Tabel B2.5 Betrokken stoffen en producten

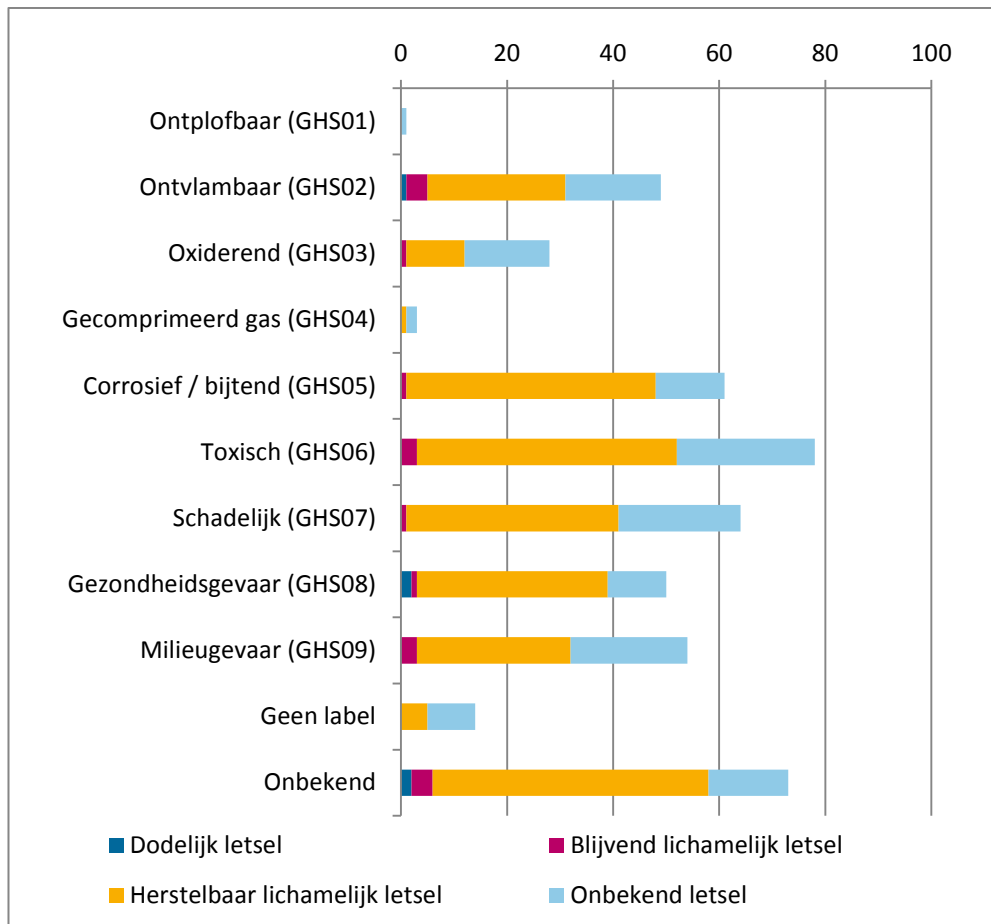
Stofnaam	Aantal incidenten
Waterstof	21
Chloor	14
Ammoniak	13
Waterstofchloride (zoutzuur)	11
Benzeen, ethyleenoxide	10
Waterstofsulfide, natronloog (oplossing)	9
Benzine, natronloog (oplossing)	7
Ethanol, gasolie (dieselolie), methaan, nafta, propeen (propyleen), stoom/heet water, zoutzuur (oplossing)	6
Acrylnitril, etheen, fosfor, koolstofmonoxide, nitreuze dampen (NOx), ruwe olie	5
Butaan, condensaat, isobutaan, methanol, nikkeloxide, vinylchloride, zuurstof	4
Acetyleen, aniline, biogas, boriumtrifluoride, cokesgas, fenol, isopropyl alcohol, katalysator, kerosine, titaan-tetrachloride, toluen, zwavelzuur	3
Aceton, acrylzuur, butadieën, cyclohexaan, ethylbenzeen, ethyleendiamine, formaldehyde, formaline, fosforoxychloride, fosgeen, kalium-tert-butoxide, koolstofdioxide, methylethylketon, nikkel, propaan, propyleenoxide, stookgas, styreen, tert-butylalcohol, TN120, vinylacetaat, water-	2

Stofnaam	Aantal incidenten
stoffluoride, zwaveldichloride, zwaveldioxide, zwaveltrioxide	
2-Butanol, aceetaldehyde, acetylchloride, alcoholen (divers), aldehyden (divers), allyl methacrylaat, amine-oplossing, ammoniakale pekkel, ammoniumnitraat, azijnzuur (oplossing), broom (dibroom), broomzuur (waterstofbromaat), buteen (butyleen), cadmiumoxide, captan 83%, cellulose, cellulosenitraat, cetepox, chlooraceetaldehyde, chloorazijnzuur, chloor-oplossing, chloorpyrifos-methyl, cyclohexanon, cyclopentaan, decaline, dichloorpropaan, dichloorpropeen, dichloorvos, dimethyldisulfide, divinylbenzeen, EC5202A Fuel Antioxidant, epichloorhydrine, ethaan, ethyleenglycol, ethylidene norbornene, Exxsol D30, fenol-oplossing, finicon, furfural, hars, heavy vacuum gas oil, hexaan, hydrazine, hydroxylaminesulfaat, ijzer, isobutyleen (2-methylpropeen), isopentaan, isopreen, kobalt, kraakgas, light and medium cracked spirit, LPG (propaan/butaan), maltodextrine, metaalalkylen, methonial allyl isothiocyanaat, methyleendifenyldiisocyanaat, methylpropylkethon, methyl-tert-butylether, minerale olie, natrium, natriumdichromaat, natriumnitriet, nikane, oleum, para-amino-azobenzeen, polyetheen, propylbromide, pygas (pyrolysegas), rubber, salpeterzuur (oplossing), silaan, stikstof, teer (dampen), terpentine, tert-butylhydroperoxide, thionylchloride, triethylaluminium, trigonox 101, vinylester (hars), vliegas, waterstofazide, waterstofbromide, waterstofcyanide, xyleen, zetmeel, zinkoxide, zinksulfaat, zwavel, zwavelkoolstof	1

Naast bovenstaande stoffen/producten is er 13 keer sprake van 'koolwaterstoffen niet nader gespecificeerd', 8 keer sprake van een 'mengsel of oplossing niet nader gespecificeerd' en 2 keer 'onbekend'.

B2.4.2 CLP classificatie

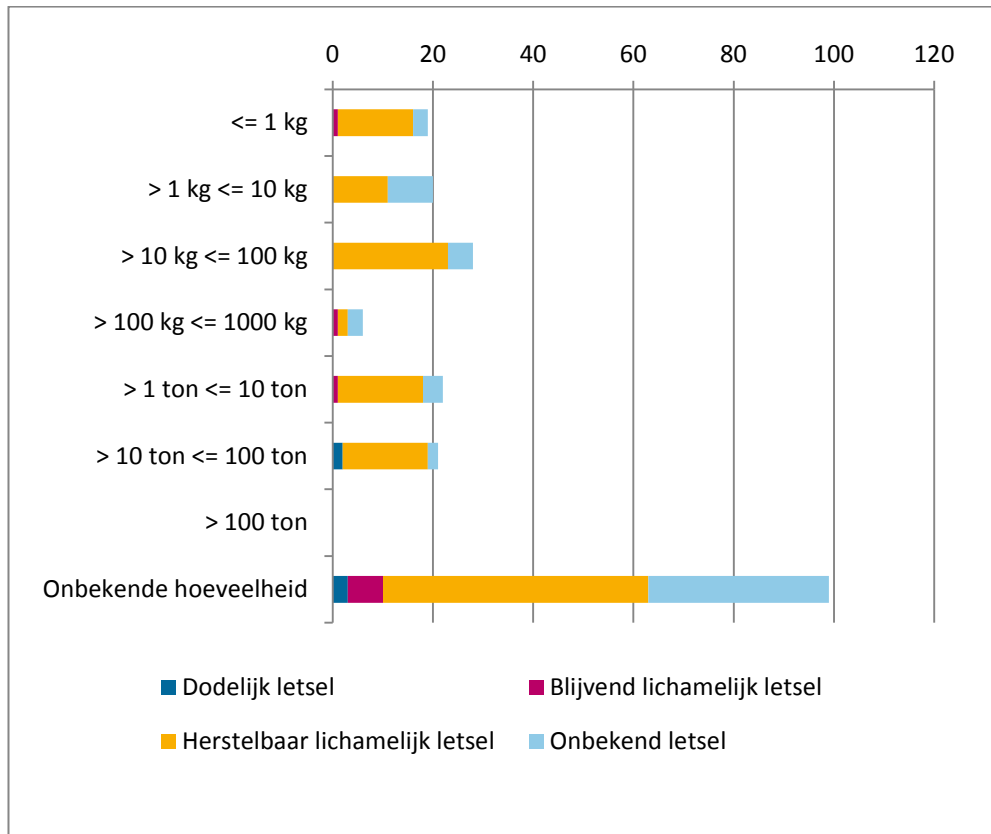
In Figuur B2.6 is voor de verschillende typen gevaarlijke stof (CLP-pictogram) het aantal incidenten weergegeven, met onderscheid naar de ernst van het letsel.



Figuur B2.6 Aantal incidenten per type gevaarlijke stof met onderscheid naar ernst van het letsel

B2.4.3 Betrokken hoeveelheden

In Figuur B2.7 zijn de betrokken hoeveelheden weergegeven in relatie tot de ernst van het letsel van de slachtoffers.



Figuur B2.7 Betrokken hoeveelheid in relatie tot ernst van het letsel (aantal slachtoffers)

B2.5 Type bedrijven en activiteiten

B2.5.1 Type bedrijf (SBI-indeling)

In Tabel B2.6 is weergegeven bij welke typen bedrijven de incidenten plaatsvonden. De betreffende 2-cijferige SBI-codes zijn altijd vermeld. 3-, 4- en 5-cijferige SBI-codes zijn alleen opgenomen in de tabel als het betreffende aantal incidenten groter of gelijk was aan 3.

Tabel B2.6 Type bedrijf (SBI-indeling)

SBI-code	Omschrijving	Aantal incidenten	Aantal slachtoffers
06	Winning van aardolie en aardgas	1	3
10	Vervaardiging van voedingsmiddelen	15	25
10.4	Vervaardiging van plantaardige en dierlijke oliën en vetten	4	16
10.41	Vervaardiging van plantaardige en dierlijke oliën en vetten (geen margarine en andere spijsvetten)	4	16
10.6	Vervaardiging van meel	4	2
10.62	Vervaardiging van zetmeel en zetmeelproducten	4	2
10.8	Vervaardiging van overige voedingsmiddelen	4	7
16	Primaire houtbewerking en vervaardiging van artikelen van hout, kurk, riet en vlechtwerk (geen meubels)	1	3
17	Vervaardiging van papier, karton en papier- en kartonwaren	2	0
19	Vervaardiging van cokesovenproducten en aardolieverwerking	46	15
19.2	Aardolieverwerking	46	15
19.20	Aardolieverwerking	46	15
20	Vervaardiging van chemische producten	177	130
20.1	Vervaardiging van chemische basisproducten, kunstmeststoffen en stikstofverbindingen en van kunststof en synthetische rubber in primaire vorm	139	110
20.12	Vervaardiging van kleur- en verfstoffen	21	16
20.13	Vervaardiging van overige anorganische basischemicaliën	25	20
20.14	Vervaardiging van overige organische basischemicaliën	50	30
20.15	Vervaardiging van kunstmeststoffen en stikstofverbindingen	10	5
20.16	Vervaardiging van kunststof in primaire vorm	26	35
20.5	Vervaardiging van overige chemische producten	23	10
20.53	Vervaardiging van etherische oliën	5	4
20.59	Vervaardiging van overige chemische producten (rest)	18	6

SBI - code	Omschrijving	Aantal incidenten	Aantal slachtoffers
20.6	Vervaardiging van synthetische en kunstmatige vezels	8	6
20.60	Vervaardiging van synthetische en kunstmatige vezels	8	6
21	Vervaardiging van farmaceutische grondstoffen en producten	1	0
22	Vervaardiging van producten van rubber en kunststof	4	2
22.2	Vervaardiging van producten van kunststof	4	2
22.21	Vervaardiging van platen, folie, buizen en profielen van kunststof	3	2
24	Vervaardiging van metalen in primaire vorm	11	6
24.1	Vervaardiging van ijzer en staal en van ferrolegeringen	6	3
24.10	Vervaardiging van ijzer en staal en van ferrolegeringen	6	3
24.4	Vervaardiging van edelmetalen en overige non-ferrometalen	4	2
25	Vervaardiging van producten van metaal (geen machines en apparaten)	1	0
26	Vervaardiging van computers en van elektronische en optische apparatuur	1	1
33	Reparatie en installatie van machines en apparaten	1	0
35	Productie en distributie van en handel in elektriciteit, aardgas, stoom en gekoelde lucht	2	0
38	Afvalinzameling en -behandeling; voorbereiding tot recycling	5	5
46	Groothandel en handelsbemiddeling (niet in auto's en motorfietsen)	19	4
46.1	Handelsbemiddeling	5	0
46.12	Handelsbemiddeling in brandstoffen, erten, metalen en chemische producten	3	0
46.7	Overige gespecialiseerde groothandel	14	4
46.71	Groothandel in brandstoffen en overige minerale olieproducten	4	0
46.75	Groothandel in chemische producten	10	4
49	Vervoer over land	2	0
52	Opslag en dienstverlening voor vervoer	35	20
52.1	Opslag	30	19
52.10	Opslag	30	19
52.2	Dienstverlening voor vervoer	4	1
52.24	Laad-, los- en overslagactiviteiten	4	1
81	Facility management, reiniging en landschapsverzorging	2	1

B2.5.2 Type bedrijf (MARS-classificatie)

In Tabel B2.7 is het type bedrijf volgens de MARS-classificatie [16] weergegeven.

Tabel B2.7 Type bedrijf (MARS-classificatie)

Code	Omschrijving	Aantal incidenten	Aantal slachtoffers
2000	Onbekend	18	14
2001	Algemene chemie	111	83
2002	Petrochemie, raffinaderij, proceschemie	81	36
2003	Kunststoffen en rubberfabricage	12	1
2004	Pesticiden, farmacie	10	11
2005	Energieopwekking en distributie	1	0
2007	Afvalbehandeling, verwijdering	8	6
2008	Groothandel, detailhandel en distributie	34	12
2009	Overslagcentra (haven, luchthaven, rangeerterrein, vrachtwagencentrum)	12	21
2011	Metaalbewerking	15	7
2012	Elektronica	1	1
2014	Algemene productie/ montage	1	0
2019	Voedsel en drank	10	6
2020	Hout en meubels	1	3
2999	Overig	10	14

B2.5.3 Activiteit voorafgaand aan het incident

In Tabel B2.8 is weergegeven welke activiteit plaatsvond voorafgaand aan het incident. In een enkel geval is sprake van meerdere activiteiten, zoals het actief openen van een insluitsysteem in combinatie met activiteiten aan een insluitsysteem.

Tabel B2.8 Activiteit voorafgaand aan het incident

Activiteit voorafgaand aan het incident	Aantal incidenten	Aantal slachtoffers
Het toe- of afvoeren van stoffen	121	83
toevoegen/vullen	91	22
verwijderen/leegmaken	21	58
onbekend	9	3
Activiteiten in de omgeving	17	8
manoeuvreren van een voertuig	1	0
onderhoudswerkzaamheden in de omgeving	10	6
procesverstoring/ interruptie in de nabijheid	1	0
graafwerkzaamheden	1	0
hijswerkzaamheden	1	0
loop- of valbeweging	2	2
Activiteiten aan een insluitsysteem	52	54
afsluiten/hersluiten	4	0
onderhoud, inspectie en reiniging	20	25
heet werk	8	6
aanbrengen of verwijderen van isolatie	1	0

Activiteit voorafgaand aan het incident	Aantal incidenten	Aantal slachtoffers
verwarmen	7	9
koelen	5	1
deblokkeren	5	6
verhelpen van lekkage	4	8
Het actief openen van het insluitsysteem	53	55
ontkoppelen van (onderdelen) van insluitsystemen	19	15
handmatig openen van een insluitsysteem	27	34
openen t.b.v. reinigen	2	0
betreden insluitsysteem	3	5
gestuurd openen	1	0
Overige activiteiten	4	0
transport en verplaatsing mobiele containers/verpakkingen	4	0
Geen relevante activiteit	88	26
spontane verzwakking materiaal of verbinding	54	9
spontane procesafwijking	16	10
uitzonderlijke weersomstandigheden (e.g. bevroering)	4	0
Onbekende activiteit	1	3

In Tabel B2.9 is de 'wijze van taak- of procesregulering' weergegeven. Het gaat om de manier waarop taken en processen worden uitgevoerd en aangestuurd. Bij handmatig worden de voor het incident relevante stappen en handelingen handmatig uitgevoerd. Geautomatiseerd betekent dat de relevante processen werden gestuurd met een volledig automatische procesregeling. Semi-geautomatiseerd houdt in dat er een interactie is tussen een automatische regelsysteem en menselijke handelingen.

Tabel B2.9 Wijze van taak- of procesregulering

Wijze van taak- of procesregulering	Aantal incidenten	Aantal slachtoffers
Handmatig	123	100
Semi-geautomatiseerd	87	40
Geautomatiseerd	88	53
Onbekend	28	22

B2.6 Installatieonderdelen, uitstroomlocaties en gatgrootten

B2.6.1 Installatieonderdeel met betrekking tot het incident (direct effect)

In het analysemodel worden twee categorieën installatieonderdelen gebruikt: 'betrokken installatieonderdelen' en 'installatieonderdeel met betrekking tot de centrale gebeurtenis'. Voor de eerste categorie worden alle installatieonderdelen geregistreerd die relevant waren voor het ontstaan van het incident. De tweede categorie is specifiek: het gaat daarbij om het installatieonderdeel waar het product uit stroomde (in geval van 'uitstroming gevaarlijke stoffen'), waar brand of explosie in optrad (voor directe brand of explosie) of dat werd betreden.

In Tabel B2.10 is weergegeven in welke installatieonderdelen de centrale gebeurtenis van het incident plaatsvond. De meeste incidenten vonden plaats in of vanuit onderdelen van procesinstallaties (160x). In meer detail ging het om procesleidingen (58x), reactorvaten (35x) en verschillende typen scheiders (31x). Daarnaast vond het incident 36 keer plaats in een vaste opslagtank, 25 keer in leidingwerk bij verladingslocaties en 21 keer in lange pijpleidingen voor transport/verlading.

Tabel B2.10 Installatieonderdeel met betrekking tot het incident (direct effect)

Installatieonderdeel	Aantal incidenten	Aantal slachtoffers
Vaste opslagtank	36	31
Mobiele tank of verpakking	23	19
tankcontainer	2	1
IBC	5	2
drum	5	10
gasfles (cilinder)	3	0
cilinderpakket	1	1
sputbus	1	1
bak/emmer	4	2
zak	2	2
Onderdeel procesinstallatie	160	115
buffervat	3	1
reactorvat	35	17
scheiders	31	27
ab-/adsorber	3	1
centrifuge	1	2
cycloon	1	0
filter/zeef	11	4
gaswasser/scrubber	6	16
damp-vloeistof (knock-outvat)	3	0
stripper	1	1
vloeistof-vloeistofscheider	2	0
onbekend type scheider	3	2
verdamp(er) (incl. reboiler)	4	0
condensor	1	1
menger	1	1
procesleiding	58	47
pomp (in procesinstallatie)	6	7
compressor (in procesinstallatie)	1	0
warmtewisselaar	10	10
destillatiekolom	5	0
onderdeel voor vullen verpakkingen	3	8
overig	3	1
onbekend	4	5
Onderdeel met betrekking tot verlading	57	
pijpleiding (lange leiding)	21	3
leidingwerk (korte leidingen)	25	20
dampretourleiding	1	0
flexibele slang of leiding	3	0
laad-/loslang	1	3
laad-/losarm	2	2

Installatieonderdeel	Aantal incidenten	Aantal slachtoffers
pomp	3	1
compressor	1	0
Voer- en vaartuigen	17	19
tankauto	7	4
spoorwagen	5	2
schip	4	6
vacuümwagen	1	7
Overig	39	15
inert-gassysteem	2	4
(koel)watersysteem	5	1
afgassysteem	1	0
oven/fornuis	8	5
verbrandingsoven	4	1
turbine	1	0
afvalwatersysteem (inclusief riolering en drainage)	4	3
(nood)afblaassysteem	3	0
fakkelsysteem	3	0
schoorsteen	2	0
pig catcher/launcher	2	0
opslagruimte/-gebouw	2	0
overig	2	2
Onbekend	6	2

B2.6.2 Locatie van de uitstroming

In Tabel B2.11 is weergegeven van waaruit welke onderdelen van installaties de uitstroming plaatsvond. Bij 84 incidenten vond de uitstroming plaats vanuit een gat in de wand van een tank of leiding. Verder gaat het hoofdzakelijk om verbindingen (39x), afsluiters/afsluitkleppen (23x), drukveiligheidsventielen (22x), koppelingen (19x), aftappunten (15x), open leidingen (14x) en vents/afblaasopeningen (11x).

Tabel B2.11 Locatie van de uitstroming

Locatie van de uitstroming	Aantal incidenten	Aantal slachtoffers
Open vat/tank	13	17
Omhulling	112	77
wand	84	66
drijvend dak	3	0
normale lasnaad	1	0
zwakke lasnaad (scheurnaad)	4	0
breekplaat	3	6
explosieluik	3	3
mangat	4	5
deksel/luik	8	3
Voorzieningen op/aan/in equipment en verbindingen	141	98
monsternamepunt	2	1
opening voor instrumentatie	4	1

Locatie van de uitstroming	Aantal incidenten	Aantal slachtoffers
opening voor mechanisch onderdeel	3	1
drukveiligheid/-ventiel (incl. waterslot)	22	13
aftap-/afvoerpunt (incl. drain)	15	15
afsluiter/afsluitklep	23	14
blindflens/-plaat	5	6
vacuümklep	1	0
overige klep	1	15
verbinding (incl. flens)	39	21
koppeling	19	12
overig	5	1
onbekend	1	0
Openingen en ontworpen uitstroompunten	44	15
ventilatieopening	6	1
afblaasopening (vent)	11	0
fakkel	6	0
schoorsteen	6	1
open leiding	14	13
overig	5	7
Onbekend	8	4
Niet van toepassing	15	12

B2.6.3 Gatgrootte

In Tabel B2.12 is de absolute gatgrootte weergegeven en in Tabel B2.13 de relatieve gatgrootte. Voor een overgrote meerderheid van de incidenten was de gatgrootte niet bekend. Dit betekent dat de gatgrootte kleiner was dan de volledig diameter van de leiding, klep of aansluiting, maar onbekend hoe groot dan wel precies.

Tabel B2.12 Absolute gatgrootte

Absolute gatgrootte	Aantal incidenten	Aantal slachtoffers
0 ≤ 5 mm	11	12
5 mm ≤ 1 inch	13	6
1 ≤ 4 inch	5	5
4 ≤ 10 inch	2	1
> 10 inch	5	0
Catastrofaal falen vat/insluitsysteem	18	14
Onbekend	256	165
Niet van toepassing	16	12

Tabel B2.13 Relatieve gatgrootte

Relatieve gatgrootte	Aantal incidenten	Aantal slachtoffers
≤ 1/3 van de diameter	6	2
> 1/3 van de diameter	6	1
Volledige diameter	68	61
Catastrofaal falen vat/insluitsysteem	18	14
Onbekend	212	125
Niet van toepassing	16	12

B2.7 Overtredingen van wet- en regelgeving en handhaving

Bij exact de helft van de incidenten werd een overtreding van wet- en regelgeving geconstateerd. De uitsplitsing van de geconstateerde overtredingen is weergegeven in Tabel B2.14.

Tabel B2.14 Overtredingen wet- en regelgeving

Overtreding wet- of regelgeving	Aantal incidenten	Aantal slachtoffers
Arbeidsomstandighedenwet	65	85
art. 5	5	10
art. 6	53	71
art. 16	7	10
Arbeidsomstandighedenbesluit	23	17
art. 3.5	8	2
art. 4.6	10	10
Besluit risico's zware ongevallen	98	94
art. 5 lid 1	94	92
art. 5 lid 3	69	48
Wet Milieubeheer	30	5
art. 17.2	20	1
Onbekend	27	21
Geen overtreding (geconstateerd)	163	76

De meeste overtredingen hebben betrekking op het Besluit risico's zware ongevallen (Brzo) inclusief Regeling (Rrzo), en op de Arbeidsomstandighedenwet (Arbowet) inclusief besluit.

De volgende artikelen werden het vaakst overtreden:

- Artikel 5 lid 1 van het Brzo (94x).
- Artikel 5 lid 3 van het Brzo (69x).
- Artikel 6 van de arbeidsomstandighedenwet (53x).

Volgens artikel 5 lid 1 van het Brzo 2015 (voorheen 1999) en artikel 6 van de arbeidsomstandighedenwet moeten bedrijven maatregelen voeren voor het voorkomen van zware ongevallen en het beperken van de gevolgen voor werknemers (Arbowet) en mens en milieu (Brzo). Volgens artikel 5 lid 3 van het Brzo 2015 (voorheen 1999) moeten Brzo-bedrijven daartoe een veiligheidsbeheerssysteem invoeren dat voldoet aan eisen die in een bijlage van het Brzo zijn gedefinieerd.

In Tabel B2.15 is vermeld welke handhavinginstrumenten zijn ingezet bij de 326 incidenten. Bij 132 incidenten (40%) werd een of meer van de onderstaande handhavinginstrumenten gebruikt. Bij 40 incidenten werd een wettelijke eis tot naleving opgelegd. Bij 37 incidenten werd een strafrechtelijk onderzoek ingesteld.

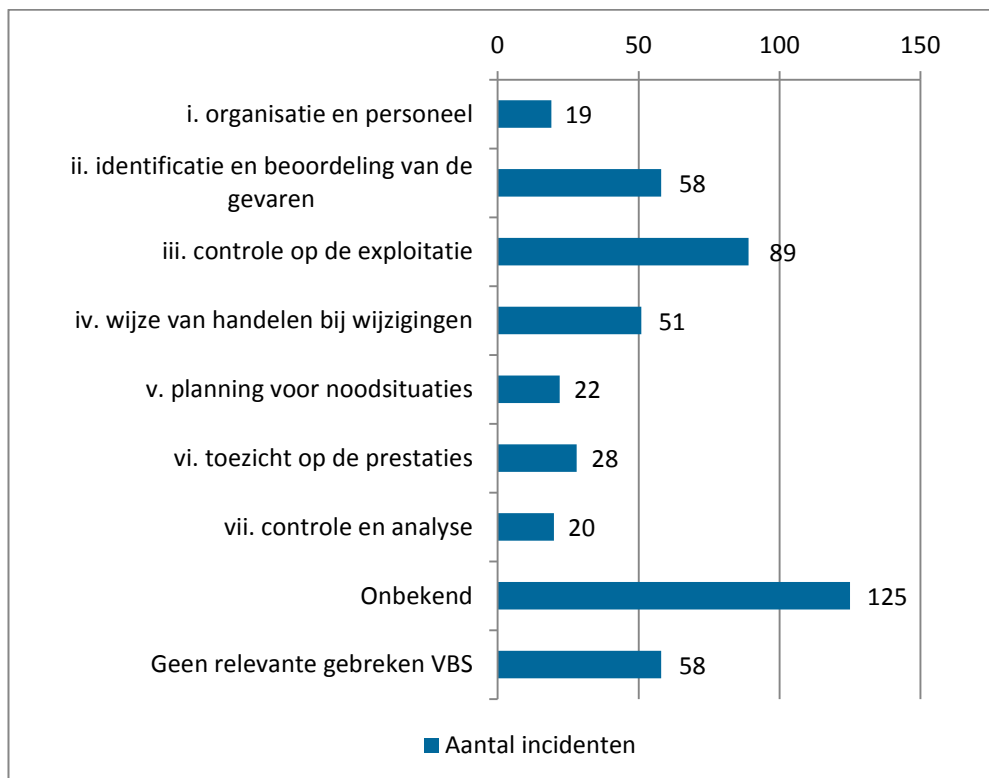
Tabel B2.15 Handhaving

Handhavinginstrument	Aantal incidenten	Aantal slachtoffers
strafrechtelijk onderzoek/vervolg	37	36
wettelijke eis tot stillegging	16	9
wettelijke eis tot naleving	40	26
wettelijke waarschuwing	5	1

Handhavinginstrument	Aantal incidenten	Aantal slachtoffers
dwangsom	5	1
bestuurlijke boete	8	10
stimuleringsbrieven	1	0
onbekende wettelijke sanctie	20	11
geen wettelijke actie of waarschuwing	158	82

B2.7.1 Overtredingen tijdens voorafgaande Brzo-inspectie

Door de Inspectie SZW wordt gezamenlijk met de andere toezichthouders van Brzo-bedrijven periodieke inspecties uitgevoerd. Hierbij wordt ook het veiligheidsbeheerssysteem (VBS) geïnspecteerd. Bij de analyses in Storybuilder is nagegaan welke overtredingen werden geconstateerd in de laatste inspectie voorafgaand aan het incident. Een aanvullende voorwaarde was dat deze inspectie maximaal twee jaar voor het incident moest zijn uitgevoerd. De uitkomsten zijn weergegeven in Figuur B2.8.⁴³



Figuur B2.8 Geconstateerde overtredingen met betrekking tot het Veiligheidsbeheerssysteem tijdens de laatste voorafgaande Brzo-inspectie

⁴³ Tweederde van de 'onbekende' uitkomsten van voorafgaande inspecties heeft betrekking op de periode 2003-2007. Na 2007 is de beschikbaarheid van informatie over voorafgaande inspecties verbeterd en wordt 'onbekend' nog maar weinig gebruikt.

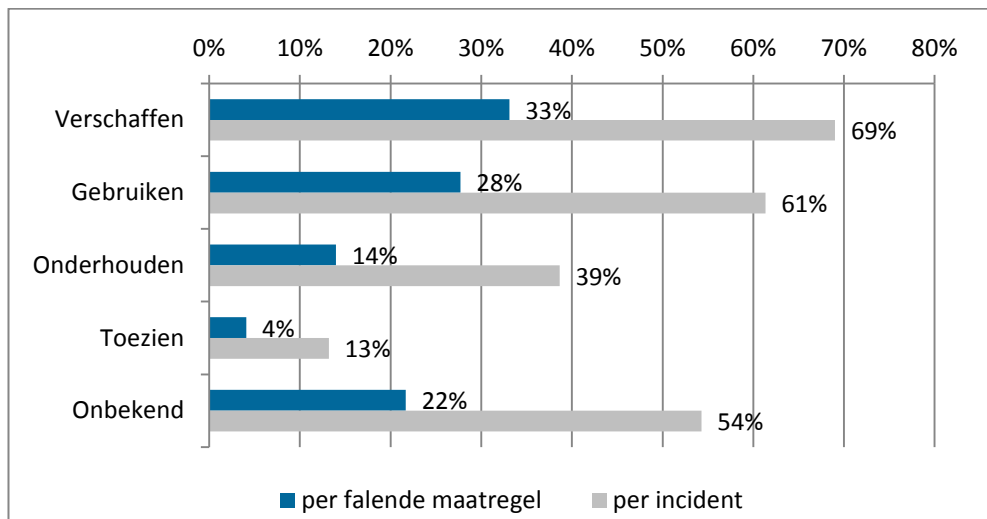
3 Bijlage 3 Directe en onderliggende oorzaken

B3.1 Onderliggende factoren: totaal gemiddelde

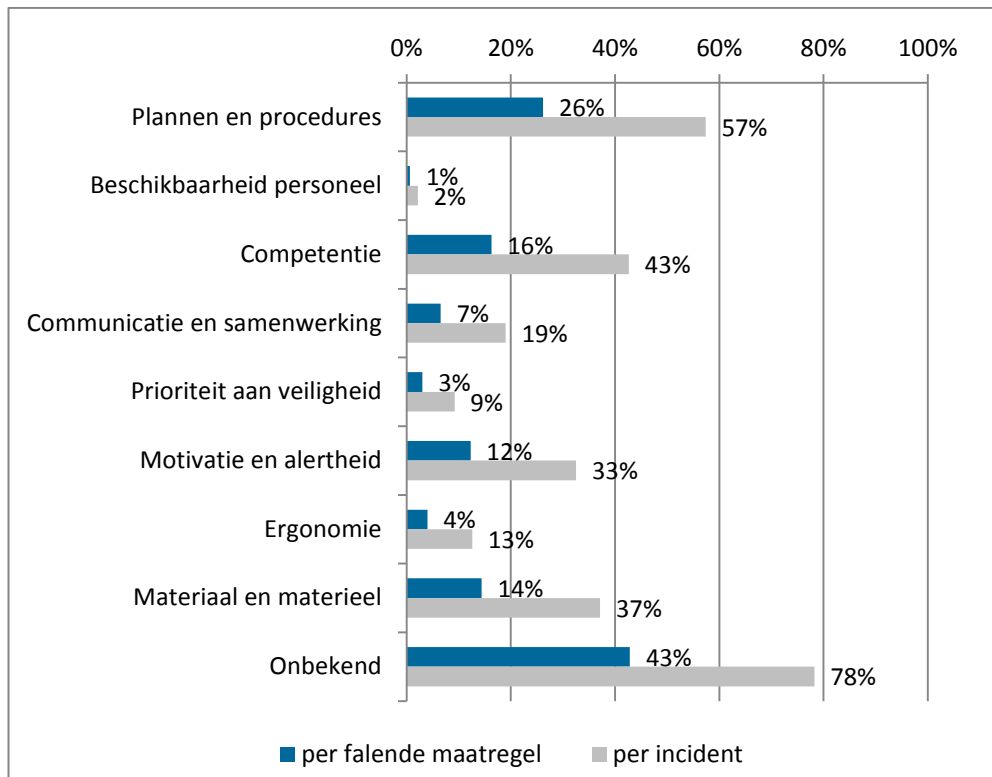
Voor falende veiligheidsmaatregelen is onderzocht hoe en waarom deze falen, en welke onderdelen van het VBS faalden. In Figuur B3.1, Figuur B3.2 en Figuur B3.3 zijn de frequenties van de onderliggende factoren weergegeven. Daarbij is op twee verschillende manieren geteld:

- De bovenste (blauwe) staven geven het gemiddelde per falende veiligheidsmaatregel aan. Van alle falende maatregelen in het model, faalt 33% bijvoorbeeld doordat de maatregel niet was verschaft. Evenzo spelen tekortkomingen met betrekking tot plannen en procedures een rol bij 26% van de maatregelen die falen.
- De onderste (grijze) staven geven het gemiddelde per incident aan. Bij 69% van de incidenten faalt minimaal één van de maatregelen doordat deze niet was verschaft. Evenzo was bij 57% van de incidenten sprake van een tekortkoming op het gebied van plannen en procedures.

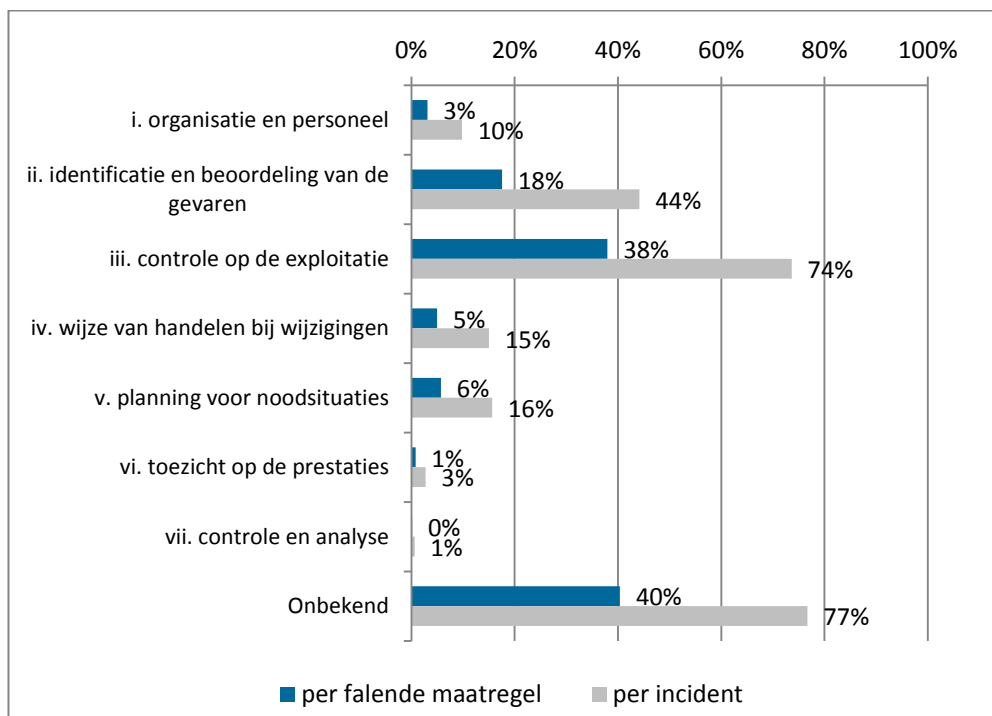
De tweede manier van tellen leidt tot hogere bijdragen doordat per incident meerdere veiligheidsmaatregelen falen (minimaal twee). Gemiddeld genomen faalden per incident 3,75 veiligheidsmaatregelen. Welke wijze van tellen nuttiger is, hangt af van de context.



Figuur B3.1 Hoe faalden veiligheidsmaatregelen?



Figuur B3.2 Waardoor faalden veiligheidsmaatregelen?



Figuur B3.3 Welke tekortkomingen in het VBS waren relevant?

B3.2 1^e LoD: procesbeheersing

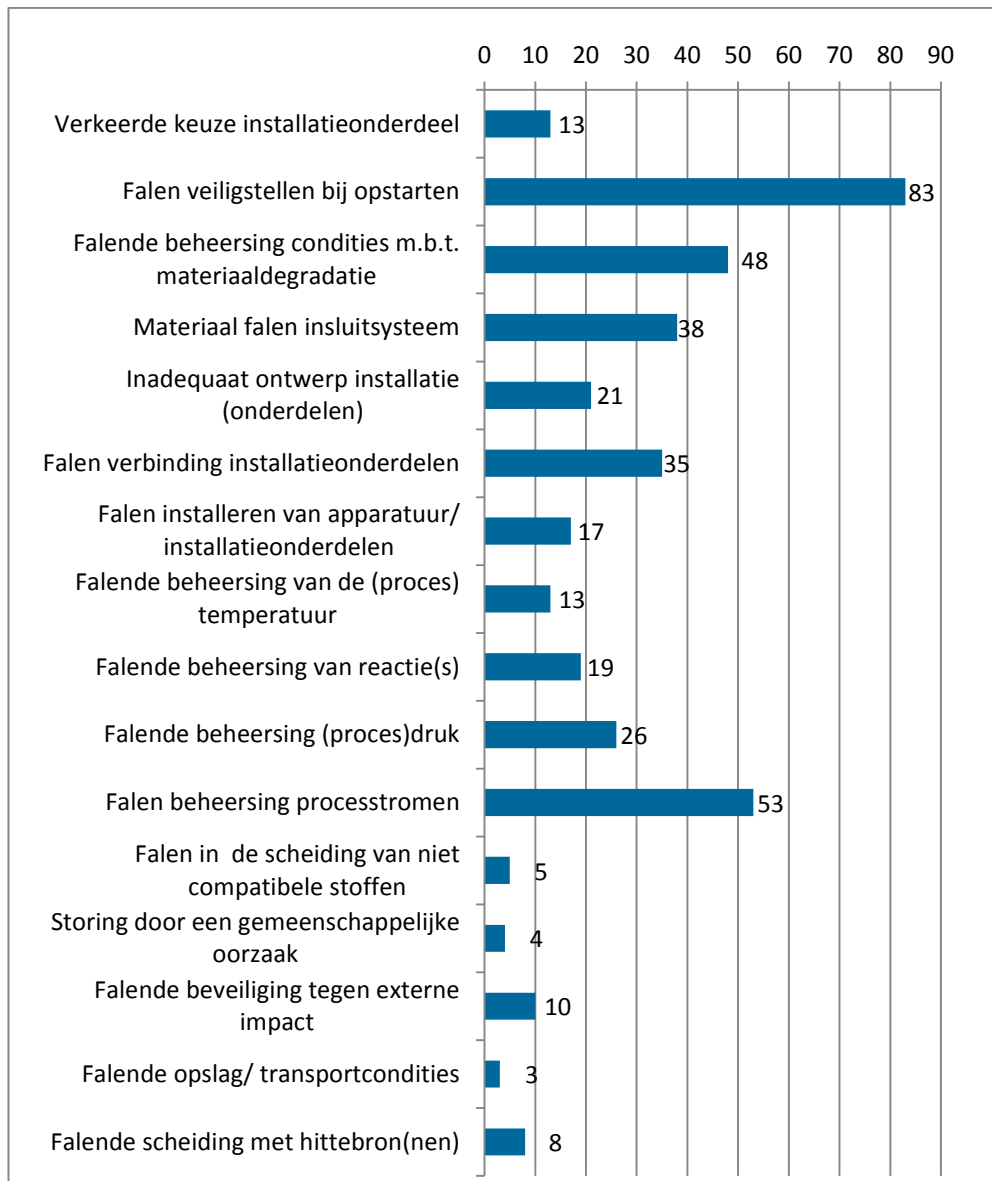
In Tabel B3.1 is te zien welke veiligheidsmaatregelen het analysemodel bevat en hoe deze zijn gegroepeerd.

Tabel B3.1 Indeling van veiligheidsmaatregelen in de 1^e line of defence

Maatregelgroep	Specifieke maatregelen
Beheersing bij (op)starten	<ul style="list-style-type: none"> • Selectie installatieonderdeel • Veiligstellen bij opstarten
Beheersing van de toestand van de installatie	<ul style="list-style-type: none"> • Beheersing procescondities met betrekking tot veroudering • Materiaal insluitsysteem • Ontwerp van de installatie (onderdelen) • Verbinding installatieonderdelen • Installatie van apparatuur/ installatieonderdelen
Beheersing van de procesparameters	<ul style="list-style-type: none"> • Beveiliging tegen onbedoeld in beweging komen insluitsysteem • Beheersing van de (proces)temperatuur • Beheersing van de reactie • Beheersing (proces)druk • Beheersing van de processtromen • Scheiding van niet-compatibele stoffen
Beheersing van de omgevingsfactoren	<ul style="list-style-type: none"> • Beveiliging van het terrein van de inrichting • Voorkómen van storingen van gemeenschappelijke oorzaak • Voorkómen van externe impact • Opslag/ transportcondities • Scheiding met hittebronnen
Onbekend	<ul style="list-style-type: none"> • Onbekend

B3.2.1 Falende veiligheidsmaatregelen

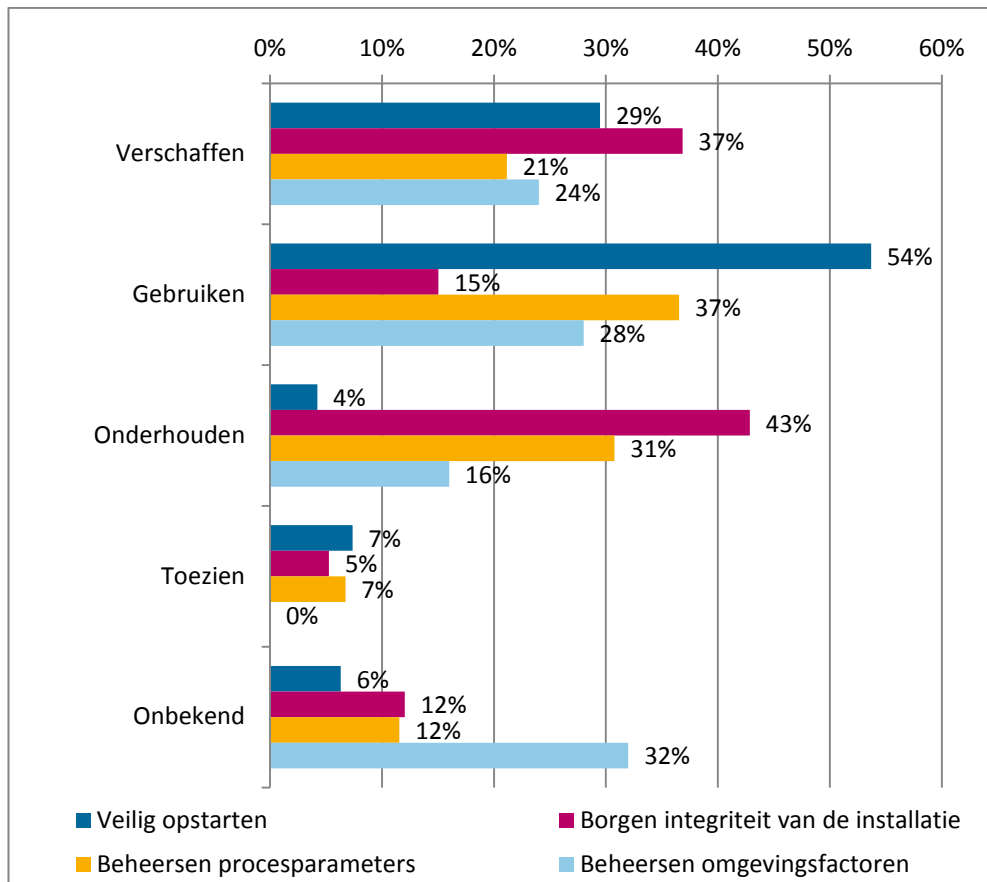
In Figuur B3.4 is aangegeven hoe vaak de verschillende veiligheidsmaatregelen met betrekking tot de procesbeheersing faalden. Voor de groepering van deze maatregelen, zie Tabel B3.1.



Figuur B3.4 Veiligheidsmaatregelen in de 1e LoD: aantal keer dat de veiligheidsmaatregel faalt

B3.2.2 Hoe faalden veiligheidsmaatregelen voor veilige procesbeheersing?

In Figuur B3.5 is weergegeven hoe de maatregelen voor veilige procesbeheersing faalden.



Figuur B3.5 Hoe faalde de procesbeheersing: percentages waarin elementen relevant zijn binnen de 1^e LoD (procesbeheersing)

Veilig opstarten

Bij 29% van de incidenten had de organisatie geen goede middelen (procedures en instrumenten) geïmplementeerd om veilig te kunnen opstarten. Bij 54% van de incidenten waren er wel geschikte middelen verstrekt, maar werden deze niet of niet goed gebruikt/toegepast.

Borgen integriteit van de installatie

Bij 37% van de incidenten had de organisatie geen adequate maatregelen geïmplementeerd om de integriteit van de installatie te borgen. Dit kan betekenen dat er geen maatregelen waren of dat deze onvoldoende effectief waren (bijvoorbeeld een te lage onderhoudsfrequentie). Bij 43% waren er wel maatregelen geïmplementeerd om de integriteit van de installatie te borgen, maar waren deze maatregelen met het verstrijken van de tijd niet meer effectief. Dit had dus te maken met veranderingen, bijvoorbeeld wijzigingen in de installatie of in het proces, of veranderingen in het onderhoud zelf.

Beheersen procesparameters

Het beheersen van de procesparameters faalde om uiteenlopende redenen. Bij 21% van de incidenten waren er geen adequate veiligheidsmaatregelen geïmplementeerd. Dat wil zeggen dat er geen geschikte instrumenten of procedures waren om de verschillende procesparameters binnen operationele grenzen te houden. Bij 37% van de incidenten waren er wel instrumenten of procedures geïmplementeerd,

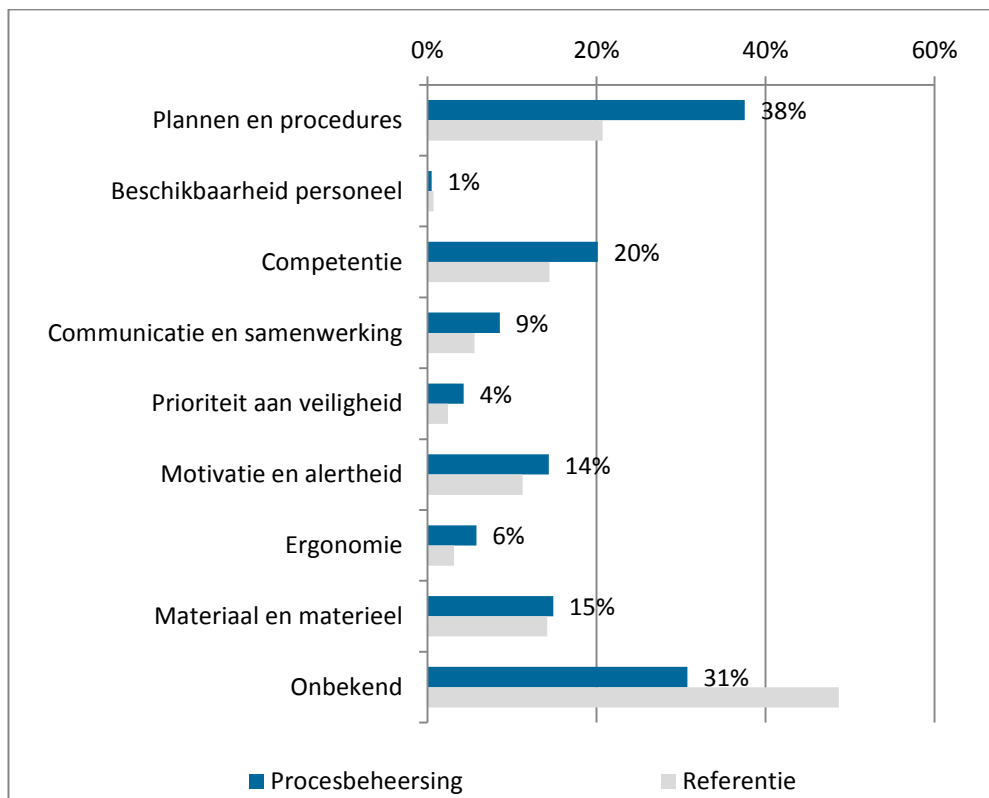
maar werden deze niet of niet gebruikt. Bij 31% van de incidenten waren maatregelen voor het beheersen van procesparameters door veranderingen in de installatie, het proces of de instrumentatie niet meer effectief.

Beheersen omgevingsfactoren

Het beheersen van de omgevingsfactoren faalde omdat geen adequate veiligheidsmaatregelen waren geïmplementeerd (24%), of omdat deze maatregelen niet op de juiste manier werden gebruikt (28%). Eén op de drie keer is het niet bekend waarom de veiligheidsmaatregelen niet goed werkten.

B3.2.3 Waarom faalden veiligheidsmaatregelen voor veilige procesbeheersing?

In Figuur B3.6 is weergegeven waarom maatregelen voor veilige procesbeheersing faalden. Als referentie is aangegeven waarom de veiligheidsmaatregelen in de overige *lines of defence* faalden.

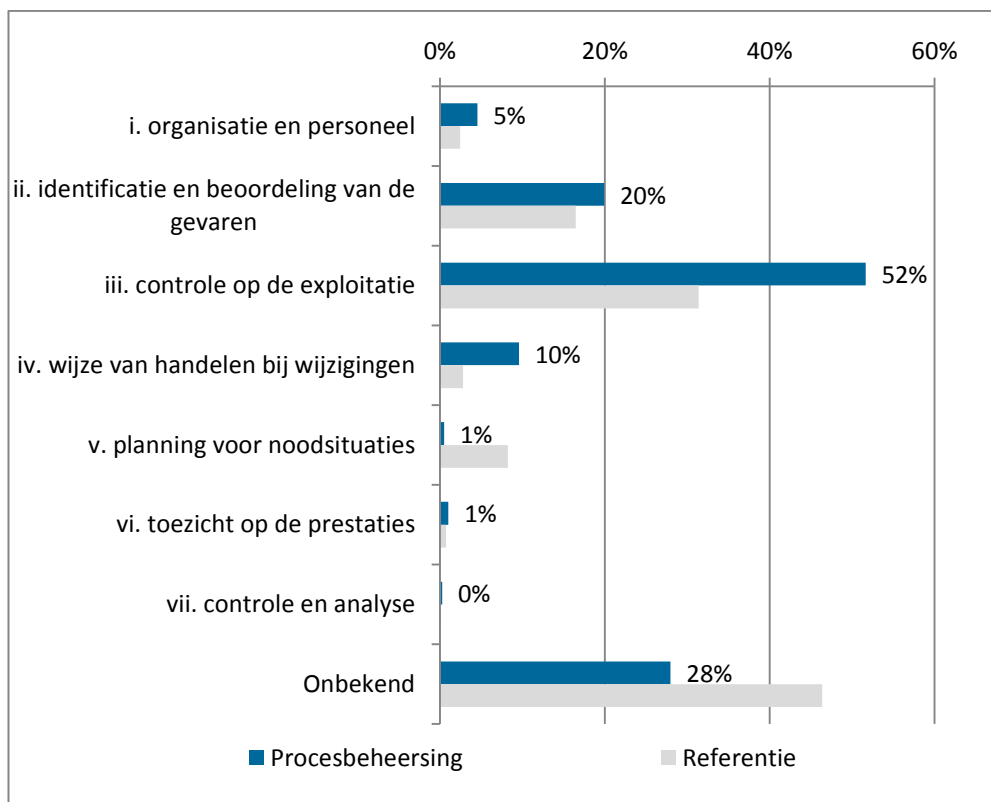


Figuur B3.6 Waarom faalde de procesbeheersing: percentages waarin elementen relevant zijn binnen de 1^e LoD (procesbeheersing)

De meest voorkomende reden is het ontbreken van geschikte (werk)plannen en procedures. Deze factor speelt een rol bij 38% van de falende maatregelen. Het laat zien dat de veiligheid van een inrichting erg afhankelijk is van het bestaan van geschikte procedures en een goede naleving daarvan. De relevantie van werkplannen is onder meer heel duidelijk voor het (op)starten van processen, de installatie en montage van onderdelen, het onderhoud van installaties en voor processen met handmatige stappen of controles.

Tekortkomingen met betrekking tot de ervaring en deskundigheid van het personeel (competentie) spelen bij 20% van de falende maatregelen een rol. Onvoldoende motivatie en alertheid is relevant voor 14% van de falende maatregelen. Hiermee wordt bedoeld dat mensen onvoldoende zorgvuldig of geconcentreerd werkten of dat het veiligheidsbewustzijn tekortschoot.

In Figuur B3.7 is weergegeven welke tekortkomingen in het VBS een rol speelden bij het falen van de procesbeheersing. Als referentie is aangegeven welke tekortkomingen in de overige *lines of defence* een rol speelden.



Figuur B3.7 Welke tekortkomingen in het VBS waren relevant: percentages waarin elementen relevant zijn binnen de 1e LoD (procesbeheersing)

Uit de figuur blijkt dat bij 20% van de falende maatregelen de identificatie van risico's en beoordeling van de gevaren tekortschoot (onderdeel ii). Bij 52% van de falende maatregelen faalde onderdeel iii: de controle op de exploitatie. Bij deze incidenten waren de risico's en gevaren voldoende in beeld maar heeft de organisatie dat onvoldoende vertaald naar effectieve maatregelen om de veiligheid te beheersen. De tekortkomingen hebben zowel betrekking op de reguliere bedrijfsvoering (81x) als op het onderhoud van installaties (91x). Bij 10% van de falende maatregelen speelden gebreken in onderdeel iv van het VBS (de wijze van handelen bij wijzigingen, ook bekend als 'management of change') een rol. Bij eenderde van de incidenten kon niet goed worden vastgesteld welk VBS-element had gefaald.

B3.2.4 Gevolgen

In Tabel B3.2 zijn de gevolgen van het falen van de procesbeheersing vermeld.

Tabel B3.2 Gevolgen van het falen van de procesbeheersing

Gevolgen van het falen van de procesbeheersing	Aantal incidenten
Onveilig (op)starten	95
inhoud niet productvrij / niet veiliggesteld	45
ongewenste afsluiter posities/openingen	43
verkeerd insluitsysteem geselecteerd	12
Materiaalafwijking buiten operationele grenzen	125
corrosie	47
erosie	4
materiaalbroosheid / -moeheid / -verzwakking	35
losse verbinding (of niet lekdicht)	42
Procesafwijking buiten operationele grenzen	110
temperatuur afwijking	30
lage temperatuur	3
hoge temperatuur	27
afwijking druk	39
hoge druk	36
lage druk	2
stromingsafwijking	41
andere samenstelling	21
geringe stroming	3
grote stroming	6
geen stroming	8
onbedoelde stroming	4
niveau afwijking	11
laag niveau	0
hoog niveau	10
saturatie afwijking	5
Omgevingsafwijking buiten operationele grenzen	16
object of persoon nadert insluitsysteem	8
materieel instabiel	1
externe belasting buiten operationele grenzen	2
hittebron in niet-veiliggestelde omgeving	5
Onbekende afwijking buiten operationele grenzen	12

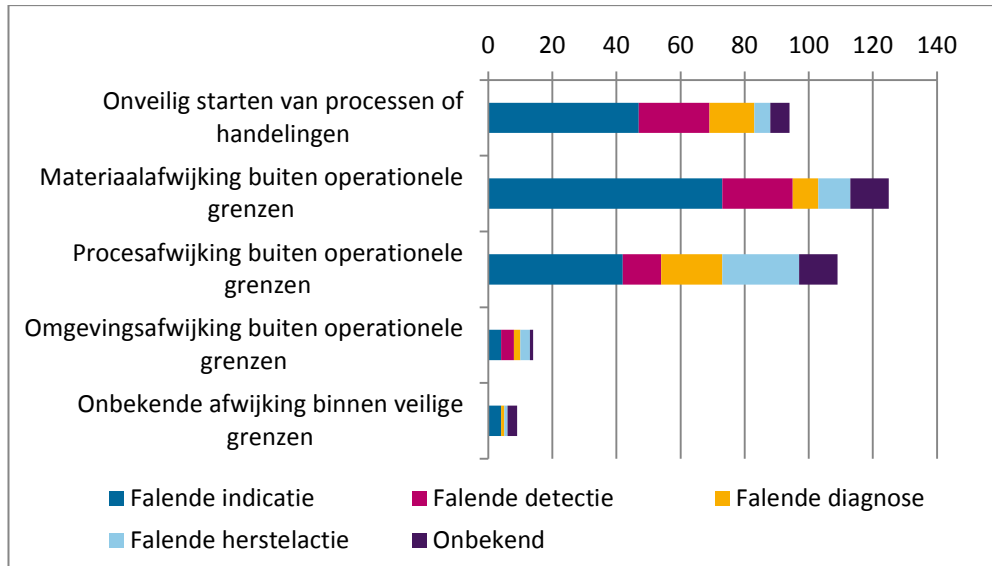
B3.3 2^e LoD: herstel van afwijkingen buiten operationele grenzen

B3.3.1 Falende veiligheidsmaatregelen

Bij ongeveer de helft van de incidenten (48%) faalde de indicatie van de afwijking, zie Figuur 3.5. Met andere woorden, er waren geen middelen om de afwijkingen te kunnen opmerken, of de middelen waren ontoereikend. Bij de overige incidenten faalde de detectie van de afwijking (16%), de juiste diagnose (11%) of de juiste herstelactie (13%), of was de faaloorzaak onbekend (12%).

In Figuur B3.8 is de samenhang weergegeven tussen het type afwijking dat optrad (zie paragraaf B3.3.1) en de manier waarop het herstel faalde. Uit de figuur blijkt dat er geen sterke correlatie is tussen de twee factoren: de manier waarop het herstel mislukt, is voor de verschillende

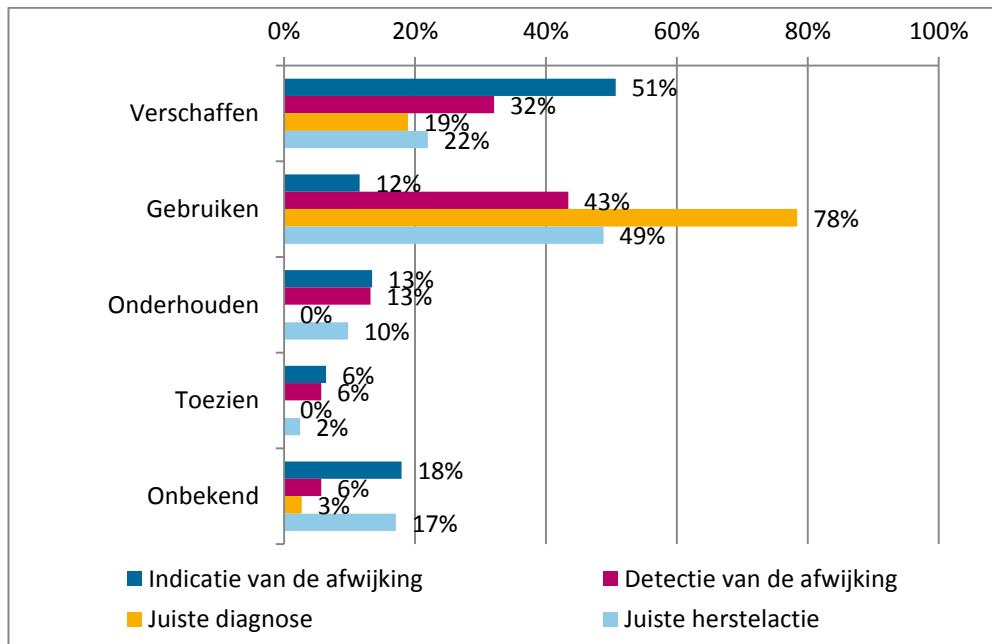
typen afwijkingen niet wezenlijk anders. Bij materiaalafwijkingen faalt iets vaker de indicatie, en bij procesafwijkingen iets vaker de herstelactie.



Figuur B3.8 Voor welke afwijkingen ontbrak de indicatie?

B3.3.2 Hoe faalden veiligheidsmaatregelen voor het herstel van afwijkingen?

In Figuur B3.9 is weergegeven hoe de maatregelen voor het herstel van afwijkingen buiten operationele grenzen faalden.



Figuur B3.9 Hoe faalde het herstel van afwijkingen: percentages waarin elementen relevant zijn binnen de 2^e LoD

Indicatie van de afwijking

Bij 156 incidenten ontbrak de indicatie van de afwijking buiten operationele grenzen (zie Figuur 3.5). Bij ongeveer de helft daarvan

(51%) kwam dat omdat de organisatie geen geschikte instrumenten en procedures had geïmplementeerd om afwijkingen te kunnen identificeren. Bij de overige incidenten (49%) waren er wel middelen geïmplementeerd, maar werden deze niet goed gebruikt/toegepast, of functioneerden deze niet meer goed door toedoen van veranderingen in het proces, de installatie of de instrumentatie.

Dit kan betekenen dat er helemaal geen maatregelen waren genomen om afwijkingen te kunnen identificeren, of dat de getroffen maatregelen niet adequaat waren. In veel gevallen vertrouwde de organisatie er blijkbaar op dat getroffen maatregelen voor een veilige procesvoering afdoende waren, zodat er geen aanvullende controles nodig waren.

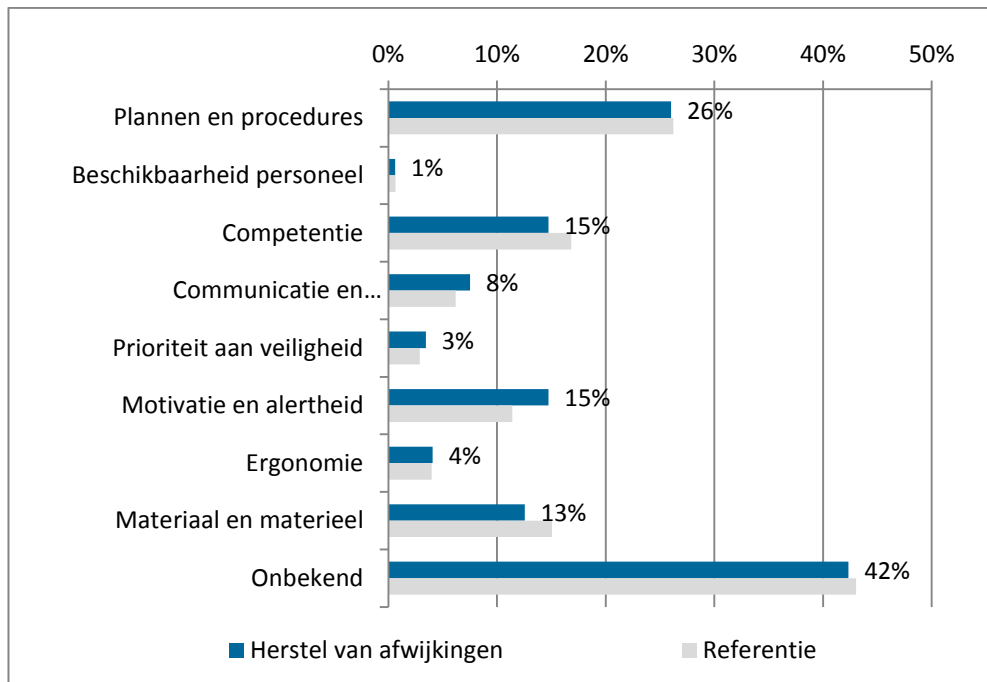
- Voor het monitoren van de integriteit van de installatie bestond er bijvoorbeeld geen inspectieprogramma, was de termijn tussen opvolgende inspecties te lang of was het inspectiemiddel (de methode/uitvoering) ongeschikt om optredende afwijkingen goed te kunnen identificeren.
- Voor procesparameters betekent dit dat deze onvoldoende werden gemonitord: er was in het betreffende proces of installatieonderdeel geen alarmering voorzien voor het geval dat procesparameters zoals druk, niveau of temperatuur buiten operationele grenzen kwamen.
- Voor veilig opstarten betekent dit dat er geen controles waren ingebouwd om voorafgaand aan de handeling te verifiëren of deze inderdaad veilig konden worden gestart.

Detectie, diagnose en herstelactie

Bij de overige 170 incidenten was er wel een indicatie van de afwijking voorzien, maar faalde de detectie, diagnose of herstelactie voor de afwijking. In de meeste gevallen was dat doordat het verkeerd toepassen (gebruiken) van beschikbare middelen.

B3.3.3 Waarom faalden veiligheidsmaatregelen voor het herstel van afwijkingen?

In Figuur B3.10 is weergegeven waarom de maatregelen voor het herstel van afwijkingen buiten operationele grenzen faalden. Als referentie is aangegeven waarom de veiligheidsmaatregelen in de overige *lines of defence* faalden.

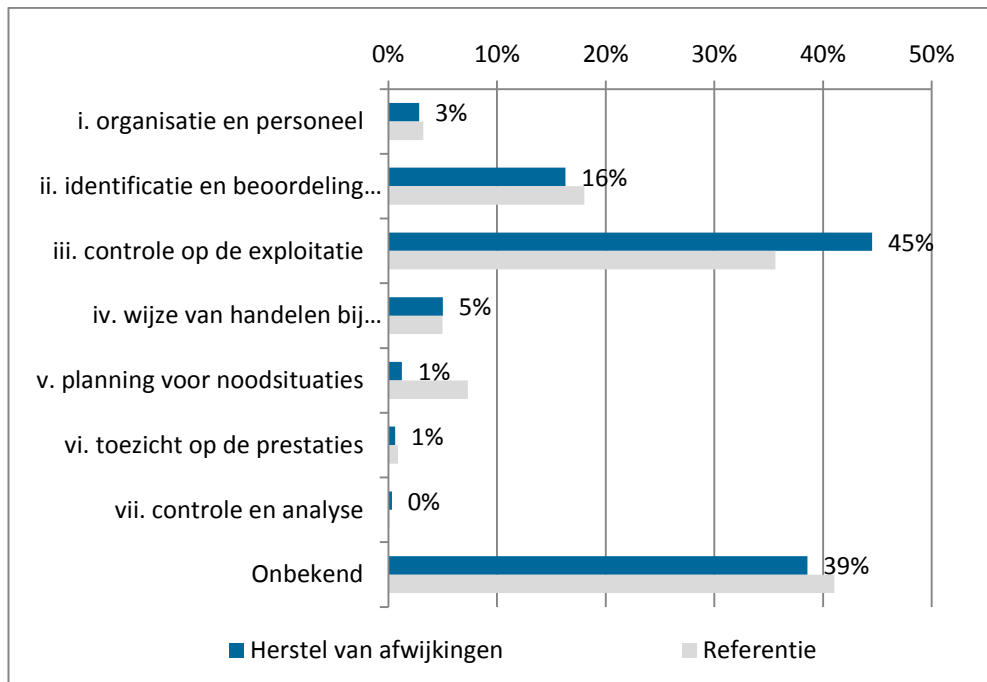


Figuur B3.10 Waarom faalde het herstel van afwijkingen: percentages waarin elementen relevant zijn binnen de 2^e LoD

De achterliggende redenen waarom het herstel van afwijkingen buiten operationele grenzen faalde, zijn bij 42% van de incidenten niet bekend. Een mogelijke verklaring hiervoor is dat in de ongevalsonderzoeken relatief weinig aandacht wordt besteed aan dit onderdeel. Bij deze 42% van de incidenten worden de achterliggende factoren voor het ontstaan van de afwijkingen (het falen van de procesbeheersing) nog wel gedetailleerd onderzocht, maar de achterliggende redenen voor het falen van het herstel van de afwijkingen niet. Hier zijn dus kansen om met beter incidentonderzoek in de toekomst beter te kunnen begrijpen waarom incidenten optreden.

Daar waar de onderliggende oorzaken wel bekend zijn (58%) van de incidenten, is het beeld op hoofdlijnen gelijk aan dat van paragraaf B2.3.2. Tekortkomingen in de (werk)plannen en procedures worden het vaakst genoemd (bij 26% van alle incidenten), gevolgd door competentie (15%), motivatie en alertheid (15%) en materiaal en materieel (13%).

In Figuur B3.11 is weergegeven welke tekortkomingen in het VBS een rol speelden bij het falen van het herstel van afwijkingen buiten operationele grenzen. Als referentie is aangegeven welke tekortkomingen in de overige *lines of defence* een rol speelden.



Figuur B3.11 Welke tekortkomingen in het VBS waren relevant: percentages waarin elementen relevant zijn binnen de 2^e LoD

Ook voor de onderdelen van het VBS geldt dat de tekortkomingen voor een aanzienlijk deel van de incidenten (39%) niet goed kunnen worden vastgesteld. Daar waar de tekortkomingen wel kunnen worden vastgesteld, is er vooral sprake van tekortkomingen met betrekking tot de controle op de exploitatie (onderdeel iii). Dat betekent dat de mogelijke gevaren binnen de organisatie wel waren voorzien, maar niet goed waren vertaald naar toereikende middelen (instrumenten en procedures).

B3.3.4 Gevolgen

In Tabel B3.3 is weergegeven wat de gevolgen waren van het uitblijven van het herstel.

Tabel B3.3 Gevolgen van het uitblijven van herstel

Gevolgen van het uitblijven van herstel	Aantal incidenten
Fysiek falen primair insluitsysteem (incl. losse verbindingen)	117
door materiaalverzwakking	81
corrosie	46
erosie	3
vermoeiing	3
verbrossing	3
kruip	1
trillingen	10
slijtage/beschadiging	7
overig	4
door installatie- of montagefout	23
Opheffen insluiting (actief)	84

Gevolgen van het uitblijven van herstel	Aantal incidenten
openen niet-productvrij of niet-geïsoleerd insluitsysteem	65
toevoer producten naar een systeem met een onbedoelde opening	15
toevoer producten naar een systeem met een reguliere opening	3
off-spec product	1
Temperatuur, druk of niveau buiten veilige grenzen	66
productsamenstelling buiten veilige grenzen	5
ten gevolge van een chemische reactie	3
hoge temperatuur buiten veilige grenzen	14
ten gevolge van een chemische reactie	6
hoge druk buiten veilige grenzen	45
ten gevolge van explosieve faseovergang	2
ten gevolge van een chemische reactie	13
hoog niveau buiten veilige grenzen	10
ongewenste doorslag	21
ontvlambare omstandigheden	40
ontvlambare omstandigheden in insluitsysteem	33
ontvlambare omstandigheden in omgeving	7
ongewenste stof in containment	15
Omgevingsafwijking buiten veilige grenzen	9
bewegend object of persoon in gevaarszone	6
verlies van stabiliteit	1
externe belasting buiten veilige grenzen	2
Betreding insluitsysteem dat onvoldoende is veiliggesteld	3
Onbekende afwijking buiten veilige grenzen	9

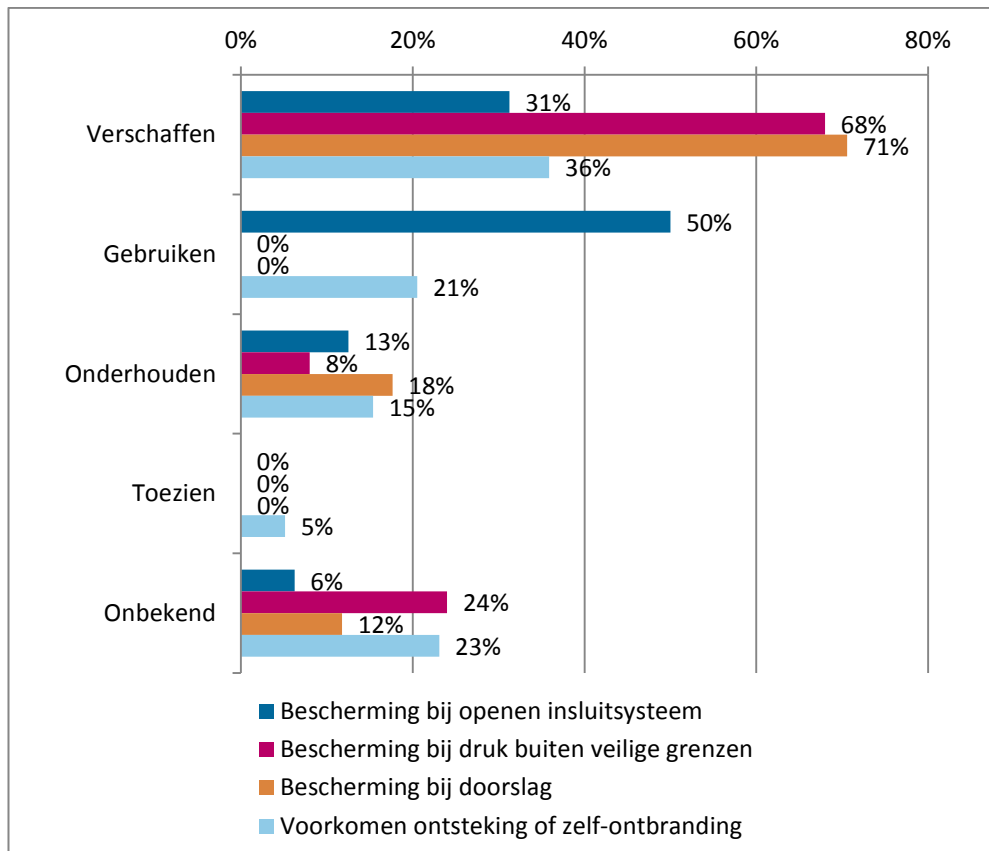
B3.4 3^e LoD: bescherming bij afwijking buiten veilige grenzen

B3.4.1 Falende veiligheidsmaatregelen

Zie Figuur 3.7.

B3.4.2 Hoe faalden veiligheidsmaatregelen voor noodbescherming?

In Figuur B3.12 is weergegeven hoe de maatregelen voor noodbescherming faalden. Alleen de vier meest voorkomende onderdelen zijn geselecteerd.



Figuur B3.12 Hoe faalden noodbeschermingsmaatregelen? Selectie van de vier maatregelen die het vaakst faalden in de 3^e LoD

Voorkomen van ontsteking en zelfontbranding

Het voorkomen van ontsteking en zelfontbranding gaat op verschillende manieren mis. Bij 36% van de incidenten is de maatregel niet of niet goed geïmplementeerd. Elf van de veertien keer waren de risico's van brand door de organisatie niet of niet goed geïdentificeerd. In de overige gevallen werden maatregelen om ontsteking te voorkomen niet goed toegepast (21%) of functioneerden ze niet meer goed (15%).

Bescherming bij druk buiten veilige grenzen

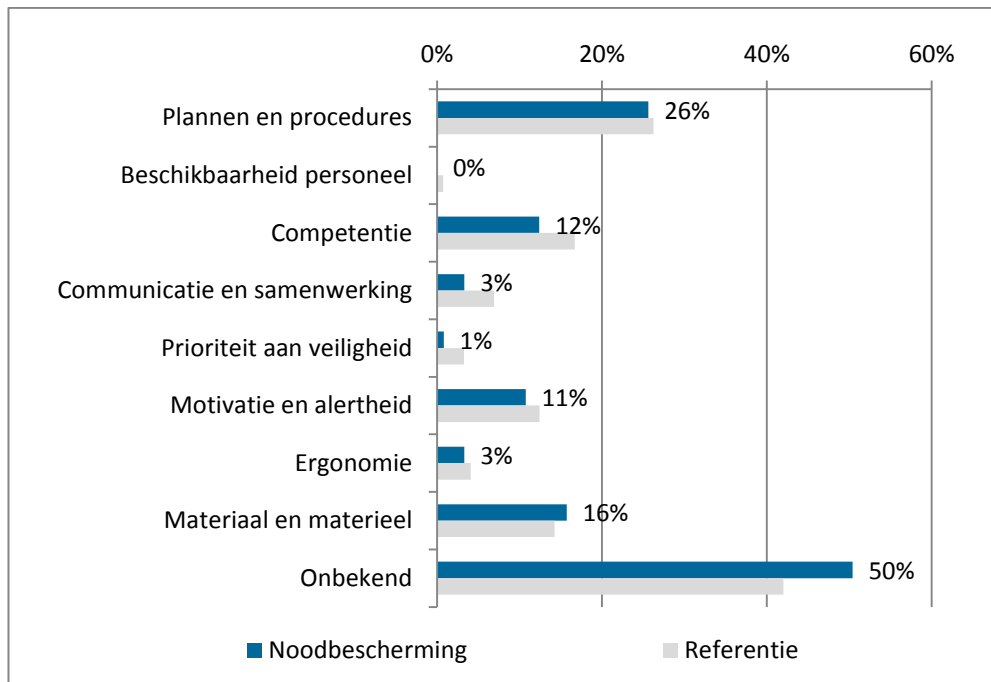
Noodbeschermingsmaatregelen die moeten voorkomen dat installaties bezwijken door te hoge druk, faalden hoofdzakelijk (69%) doordat de bescherming ontbrak of doordat de capaciteit van de systemen (vooral drukventielen) ontoereikend was. Ook dit had vooral betrekking op tekortkomingen in het identificeren van deze risico's (11 van de 17 keer).

Bescherming bij openen insluitsysteem

Dit faalde vooral omdat geïmplementeerde maatregelen (instrumenten of procedures) niet goed werden gebruikt of toegepast (50%).

B3.4.3 Waarom faalden veiligheidsmaatregelen voor noodbescherming?

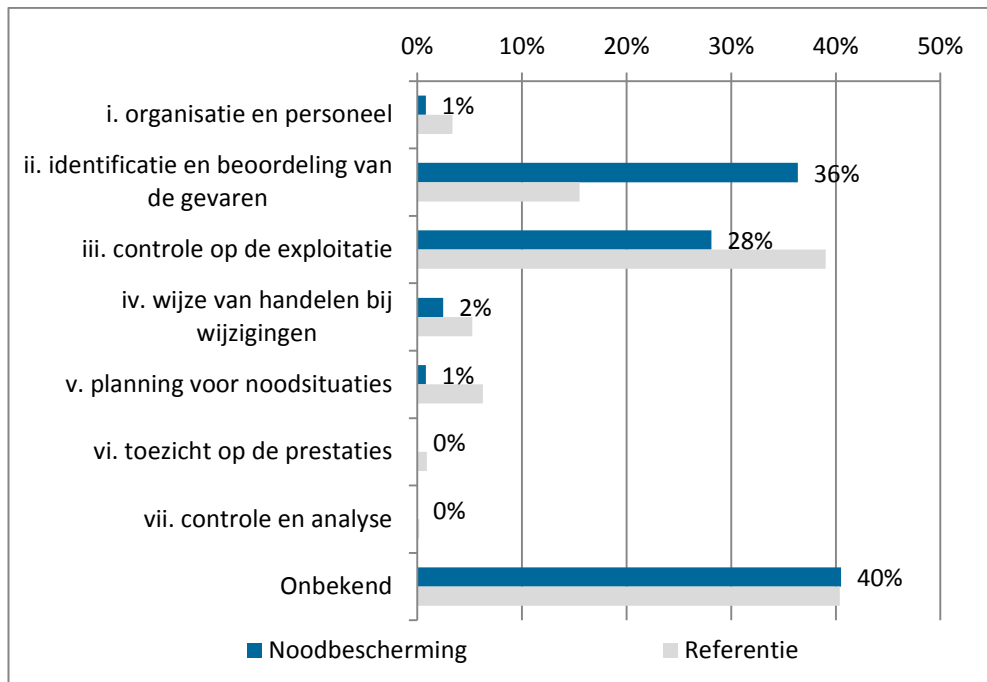
In Figuur B3.13 is weergegeven waarom maatregelen voor noodbescherming faalden. Als referentie is aangegeven waarom de veiligheidsmaatregelen in de overige *lines of defence* faalden.



Figuur B3.13 Waarom faalde de noodbescherming: percentages waarin elementen relevant zijn binnen de 3^e LoD

Net als bij het falen van het herstel van afwijkingen (zie paragraaf B3.3.3), is voor de helft van de incidenten (50%) onduidelijk waarom de noodbescherming faalde. Daar waar het wel bekend is, ligt dat voornamelijk aan tekortkomingen in de (werk)plannen en procedures (26%), materiaal en materieel (16%), competentie (12%) en motivatie en alertheid (11%).

In Figuur B3.14 is weergegeven welke tekortkomingen in het VBS een rol speelden bij het falen van noodmaatregelen.



Figuur B3.14 Welke tekortkomingen in het VBS waren relevant: percentages waarin elementen relevant zijn binnen de 3^e LoD

Ook voor de onderdelen van het VBS geldt dat de tekortkomingen voor een aanzienlijk deel van de incidenten (40%) niet goed kunnen worden vastgesteld. Daar waar de tekortkomingen wel kunnen worden vastgesteld, is er vooral sprake van tekortkomingen met betrekking tot de identificatie van gevaren en beoordeling van risico's (onderdeel ii, 36%). Dat betekent dat de betreffende onveilige situaties bij de organisatie onvoldoende in beeld waren.

B3.4.4 Gevolgen

Als er geen veiligheidsmaatregelen voor de bescherming bij afwijkingen buiten veilige grenzen zijn, of als deze falen, ontstaat er een incident. Deze gebeurtenis geldt als centrale gebeurtenis in het model, en is beschreven in paragraaf B2.2.1. In sommige gevallen is er sprake van een succesvolle noodmaatregel, bijvoorbeeld het voorkómen van het bezwijken van een tank ten gevolge van overdruk, door het aanspreken van een drukontlastingsventiel of breekplaat. Omdat daarbij product vrijkomt, en elke emissie van product in beginsel ongewenst is, worden ook die gebeurtenissen gezien als 'incident'. Het model maakt het wel mogelijk om te onderscheiden welke incidenten het gevolg zijn van een succesvolle noodingreep en welke het gevolg van een falende of afwezige noodmaatregel.

In Tabel B3.4 is weergegeven wat de centrale gebeurtenis, oftewel het directe effect van het incident was. Voor de uitstroming van gevaarlijke stoffen is in Tabel B3.5 nader gespecificeerd hoe het product vrijkwam. In Tabel B3.6 is de fase van het vrijkomende product vermeld.

Tabel B3.4 Centrale gebeurtenis (direct effect van het incident)

Type incident/ongeval (direct effect)	Aantal incidenten
Uitstroming van gevaarlijke stoffen	292
Directe brand	32
brand in een insluitsysteem	26
brand in de omgeving	5
Directe explosie	31
explosie in een insluitsysteem	31
fysische explosie	3
ontvlambaar mengsel in insluitsysteem	21
stofexplosie	6
runaway reactie	7
vaste-stof explosie	0
Blootstelling in een insluitsysteem	3
Onbekend type incident	0

Tabel B3.5 Type uitstroming

Type uitstroming	Aantal incidenten
Vanuit een open systeem	13
Vanuit een reguliere opening in een insluitsysteem	23
Vanuit een falende of losse verbinding	67
Vanuit een opening die bij normale bedrijfsvoering gesloten is	93
Vanuit een nieuw ontstaan gat, inclusief lasnaad	77
Catastrofaal falen	20
Onbekend	6

Tabel B3.6 Productfase bij uitstroming

Fase uitstroming	Aantal incidenten
Uitstroming van gas/damp bij atmosferische druk	45
Uitstroming van gas/damp onder druk	86
Uitstroming van tot vloeistof verdicht gas	17
Uitstroming van een vloeistof onder druk	82
Uitstroming van tot vloeistof gekoeld gas	5
Uitstroming van een drukloze vloeistof ⁴⁴	51
Uitstroming van vaste stof/deeltjes	11
Onbekend	4

⁴⁴ Er is sprake van een drukloze vloeistof als het insluitsysteem niet actief via een pomp of met een inert gas onder druk wordt gezet. Er is nog wel hydrostatische druk.

B3.5 Mitigerende maatregelen

In Tabel B3.7 staat welke mitigerende veiligheidsmaatregelen zijn opgenomen in het analysemodel. Daarbij wordt onderscheid gemaakt naar drie verschillende *lines of defence*.

Tabel B3.7 Indeling van veiligheidsmaatregelen in de 4^e, 5^e en 6^e LoD

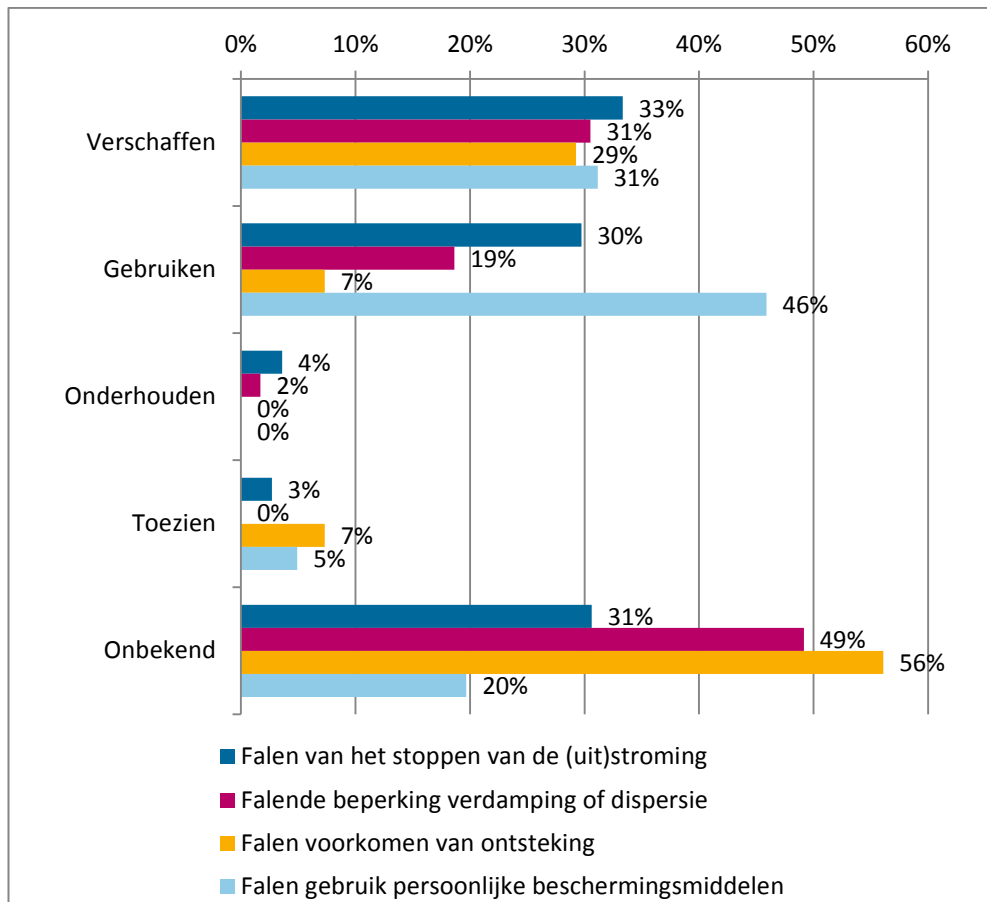
Line of defence	Betreffende veiligheidsmaatregelen
4: Beperken van de uitstroming	<ul style="list-style-type: none"> • Het stoppen van de uitstroming • Het beperken van de toevoer of het reduceren van de drijvende kracht
5: Voorkomen van escalatie	<ul style="list-style-type: none"> • Het beperking van de verdamping en/of de dispersie • Noodopvang van vloeistoffen • Beheersing van ontstekingsbronnen • Brand-/explosiebestrijding • Voldoende afstand tot andere installaties
6: Persoonlijke bescherming en hulpverlening	<ul style="list-style-type: none"> • Het gebruik van persoonlijke beschermingsmiddelen (PBM's) • Evacuatie • Veilige toevlucht • Inachtneming veilige afstand tot de gevaarszone • Bedrijfshulpverlening

B3.5.1 Succesvolle en falende veiligheidsmaatregelen

De (succesvolle en falende) veiligheidsmaatregelen zijn beschreven in paragraaf 3.5.1 van het rapport.

B3.5.2 Hoe faalden de mitigerende maatregelen?

In Figuur B3.15 is weergegeven hoe de mitigerende maatregelen faalden. Alleen de vier meest voorkomende onderdelen zijn in de figuur weergegeven. Drie daarvan worden nader toegelicht.



Figuur B3.15 Hoe faalden mitigerende maatregelen? Selectie van de vier mitigerende maatregelen die het vaakst falen

Stoppen van de uitstroming

Bij eenderde van de betreffende incidenten beschikte de organisatie niet over de juiste instrumenten en middelen om de uitstroming te kunnen stoppen. Bij een even groot deel van de incidenten waren die instrumenten en middelen wel beschikbaar, maar werden ze niet goed gebruikt/toegepast. Voor de overige incidenten is niet bekend hoe deze maatregel faalde.

Beperken van de verdamping of de dispersie

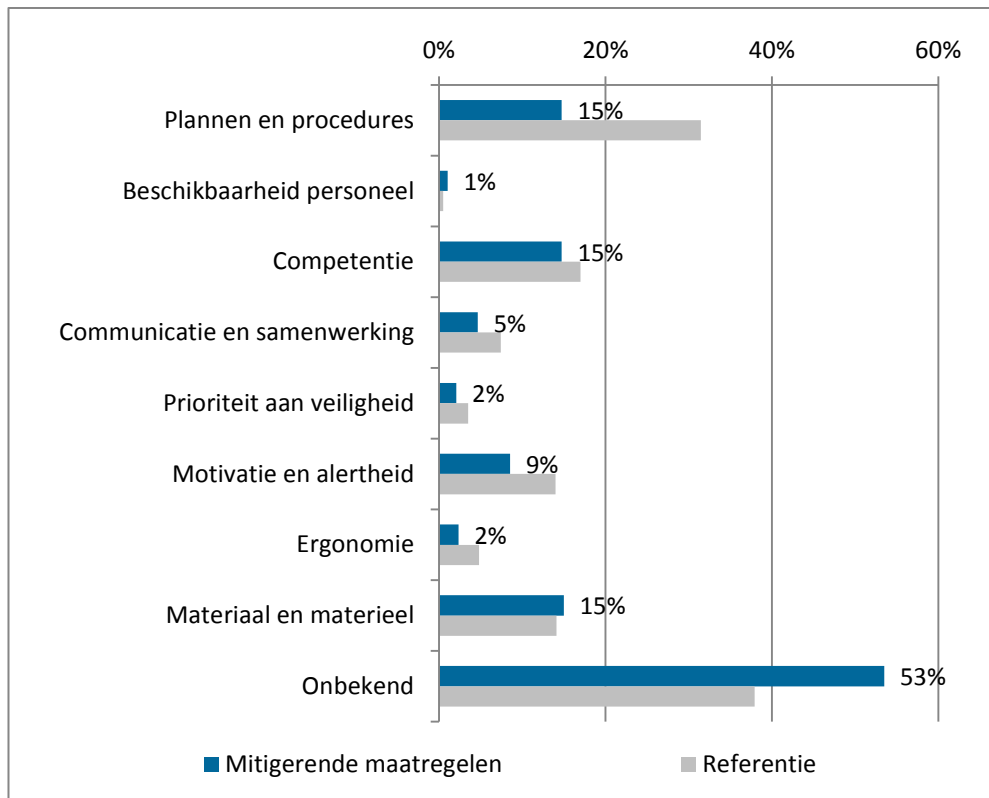
Bij 31% van de betreffende incidenten beschikte de organisatie niet over de juiste instrumenten en middelen om de verdamping en dispersie te kunnen beperken. Bij 19% van de incidenten werden beschikbare middelen niet goed gebruikt/toegepast. Bij de overige incidenten (49%) was niet bekend hoe deze maatregel faalde.

Gebruik van persoonlijke beschermingsmiddelen

Persoonlijke beschermingsmiddelen werden relatief vaak niet gebruikt (46%). Daarbij komen vergissingen (onopzettelijke fouten in het toepassen van voorschriften) vaker voor dan overtredingen (bewust afwijken van voorschriften). Bij 31% van de incidenten had de organisatie voor de betreffende activiteit niet voorgeschreven dat persoonlijke beschermingsmiddelen nodig waren.

B3.5.3 Waarom faalden de mitigerende maatregelen?

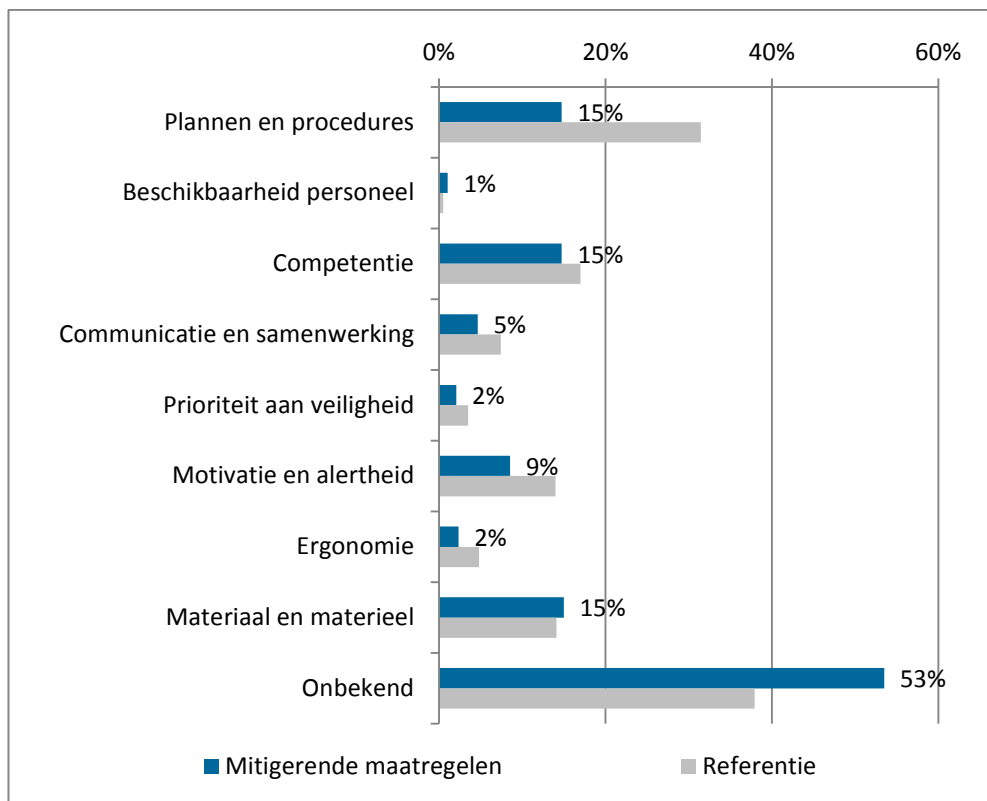
In Figuur B3.16 is weergegeven waarom de mitigerende maatregelen faalden. Als referentie is aangegeven waarom de veiligheidsmaatregelen in de overige *lines of defence* faalden.



Figuur B3.16 Waarom faalden mitigerende maatregelen: percentages waarin elementen relevant zijn voor de mitigerende veiligheidsmaatregelen

De onderliggende oorzaken van het falen van mitigerende maatregelen zijn relatief vaak onbekend (53%). Daar waar ze wel bekend zijn, zijn de belangrijkste elementen plannen en procedures (15%), competentie (15%) en materiaal en materieel (15%).

In Figuur B3.17 is weergegeven welke tekortkomingen in het VBS een rol speelden bij het falen van mitigerende maatregelen. Als referentie is aangegeven welke tekortkomingen in de overige *lines of defence* een rol speelden.



Figuur B3.17 Welke tekortkomingen in het VBS waren relevant: percentages waarin elementen relevant zijn voor de mitigerende veiligheidsmaatregelen

Ook de onderliggende tekortkomingen in het VBS waren voor falende mitigerende maatregelen minder vaak onbekend (55%). Daar waar ze wel bekend zijn, komen de controle op de uitvoering (element iii, 21%) en de planning voor noodsituaties (element v, 16%) het meest duidelijk naar voren.

B3.5.4 Gevolgen

De consequenties van het slagen of falen van mitigerende veiligheidsmaatregelen zijn beschreven in Tabel B3.8 en Tabel B3.9.

Tabel B3.8 Mate van beperking van de uitstroming

Mate van beperking van de uitstroming	Aantal incidenten
Uitstroming wordt niet beperkt	111
Uitstroming wordt beperkt	128
Onbekend of niet van toepassing	78

Tabel B3.9 Type vervolg van het incident

Type vervolg na de centrale gebeurtenis	Aantal incidenten
Verspreiding gevaarlijke stoffen door de lucht	168
niet beperkt en niet gecontroleerd	94
gecontroleerd of beperkt	69
Brand	66
plasbrand	17
fakkelbrand	19
wolkbrand	13
vuurbal	1

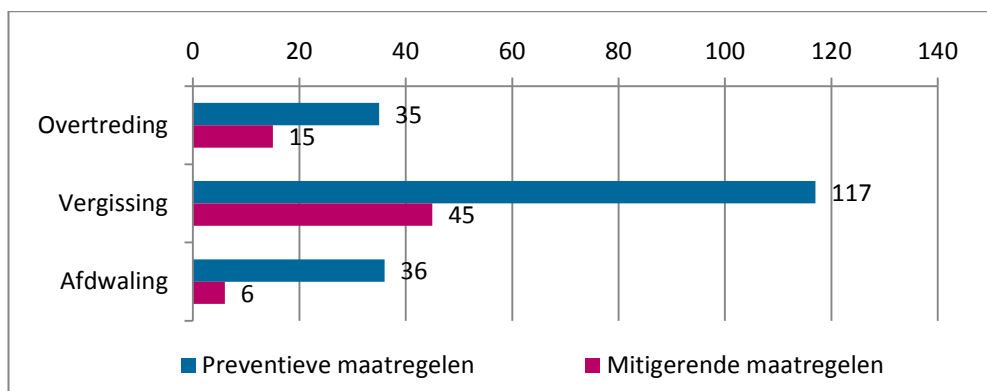
Type vervolg na de centrale gebeurtenis	Aantal incidenten
tankdakbrand	1
brand in insluitsysteem	13
materiaalbrand buiten insluitsysteem	10
Explosie	7
BLEVE	0
explosieve decompressie	1
gaswolkexplosie (uitwendig)	2
vertraagde explosie tank of leiding door escalatie of domino-effect	4
explosie in uitwendig object (bijvoorbeeld riool- of afvalwateringssysteem)	0
Rapid phase transition buiten insluitsysteem	0
Geen relevant vervolg	80
Onbekend vervolg	13

Bij de 326 incidenten werden 224 personen blootgesteld aan verschillende typen gevaar, zoals contact met gevaarlijke stoffen, warmtestraling, vlammen, hete of koude producten en overdruk. Dit is beschreven in Tabel 3.2 van paragraaf 3.5.2 van dit rapport.

B3.6 Menselijke fouten (human error)

Bij het falen van veiligheidsmaatregelen wordt nagegaan of er sprake is van een menselijke fout, en of dan kan worden achterhaald of er sprake is van een overtreding, een vergissing of een afdwaling. Bij een overtreding wordt bewust afgeweken van regels en voorschriften. Daarbij hoeft de intentie overigens niet verkeerd te zijn. Bij een vergissing wordt onbedoeld een verkeerde beslissing genomen of verkeerde actie uitgevoerd. Bij een afdwaling wordt door gebrek aan aandacht iets over het hoofd gezien of verkeerd uitgevoerd.

In totaal waren er 254 situaties waarbij een persoon een verkeerde handeling verrichtte die in één van deze drie categorieën kon worden ingedeeld. Deze zijn weergegeven in Figuur B3.18 (en in meer detail in Tabel B3.10). In meerderheid was er sprake van vergissingen. Dit geldt zowel voor foutieve handelingen in aanloop naar het incident (bij het falen van preventieve maatregelen) als voor handelingen bij het bestrijden van het incident (fouten bij het nemen van mitigerende maatregelen).



Figuur B3.18 Aantal geïdentificeerde menselijke fouten in preventieve en mitigerende maatregelen

Tabel B3.10 Menselijke fouten bij preventieve en mitigerende maatregelen

Type menselijke fout	Aantal bij preventieve maatregelen	Aantal bij mitigerende maatregelen
Overtreding	35	15
situatieve overtreding	21	2
exceptionele overtreding	2	5
routine-overtreding	10	4
onbekend	2	4
Vergissing	117	45
vergissing op kennisniveau	54	32
vergissing op procedure-niveau	57	10
onbekend	6	3
Uitglijder/afdwaling	36	6
verlies van concentratie/aandacht	18	4
iets vergeten (afdwaling)	16	0
onbekend	2	2
Totaal	188	66

Tabel B3.11 Definitie van verschillende typen menselijke fouten (Bron: [12])

Type menselijke fout	Omschrijving
Situatieve overtreding	Een overtreding waarbij de regels worden geschonden als gevolg van druk om de taak te voltooien, of omdat het moeilijk is om aan de regels te voldoen onder de lokale omstandigheden.
Exceptionele overtreding	Zeldzame overtreding onder bijzondere omstandigheden, zoals noodsituaties.
Routinematige overtreding	Een gebruikelijke overtreding, dat wil zeggen dat het breken met het voorschrift de normale manier van werken is.
Vergissing op kennisniveau	Een fout die ontstaat door ontoereikende kennis en als gevolg waarvan een verkeerde handeling/maatregel wordt gekozen. Fouten in bewust gedrag op kennisniveau: dit heeft betrekking op nieuwe problemen en vaak ook op nieuwe acties die moeten worden uitgevoerd, en deze zijn daardoor het minst geautomatiseerd.
Vergissing op procedureniveau	Een vergissing die ontstaat doordat de (voorschriften van) bestaande protocollen, dagelijkse routines en afspraken niet of verkeerd worden toegepast.
Uitglijder	Fout ten gevolge van verlies van concentratie of aandacht.
Afdwaling	In wezen een tijdelijk geheugenverlies, vaak als gevolg van een onderbreking of ten gevolge van 'multitasking'.

4 Bijlage 4 Toegepaste filters bij veelvoorkomende scenario's

Hieronder is weergegeven hoe de veelvoorkomende scenario's vanuit technisch perspectief zijn opgebouwd.

4.1.1: Fysiek falen van het insluitsysteem door materiaalverzwakking
Deze cluster van gelijkende incidenten betreft de incidenten die door de onderstaande modelonderdelen gaan:

- 1^e LoD: Materiaalfalen (04_BFM) of falende beheersing condities m.b.t. materiaaldegradatie (03_BFM);
- 1^e LCE: Afwijking in de installatie (materiaal) buiten operationele grenzen;
- 2^e LoD: Falen herstel van afwijking buiten operationele grenzen (20_BFM);
- 2^e LCE: Fysiek falen van het primaire insluitsysteem;
- 3^e LoD: Onbekend of niet van toepassing (BSU-L3);
- 3^e LCE: Uitstroming van gevaarlijke stoffen.

4.1.2: Het falen van het veiligstellen van een insluitsysteem voorafgaand aan het openen daarvan

Deze cluster van gelijkende incidenten betreft de incidenten die door de onderstaande modelonderdelen gaan:

- 1^e LoD: Falen veiligstellen bij opstarten (02-BFM);
- 1^e LCE: Afwijking (op)starten buiten operationele grenzen;
- 2^e LoD: Falen herstel van afwijking buiten operationele grenzen (20_BFM);
- 2^e LCE: Opheffen insluitsysteem (actief);
- 3^e LoD: Onbekend of niet van toepassing (BSUL3);
- 3^e LCE: Uitstroming van gevaarlijke stoffen.

4.1.3: Hoge druk in een insluitsysteem

Deze cluster van gelijkende incidenten betreft de incidenten die door de onderstaande modelonderdelen gaan:

- 1^e LoD: Falen beheersing van de procesparameters (G_B_L1);
- 1^e LCE: Procesafwijking buiten operationele grenzen;
- 2^e LoD: Falen herstel van afwijking buiten operationele grenzen (20_BFM);
- 2^e LCE: Hoge druk buiten veilige grenzen;
- 3^e LCE: Uitstroming van gevaarlijke stoffen.

Voor de scenario's vanuit organisatorisch en menselijk perspectief zijn de scenario's als volgt tot stand gekomen:

4.2.1: Controle op de exploitatie

Het betreft alle paden die bij één van de barrières in het analysemodel, bij het onderdeel 'VBS onderdelen', door 'iii. controle op de exploitatie' gaan.

4.2.2: Identificatie van de gevaren en beoordeling van de risico's

Het betreft alle paden die bij één van de barrières in het analysemodel, bij het onderdeel 'VBS onderdelen', door 'ii. identificatie van gevaren en beoordeling van risico's' gaan.

4.2.3: Beleid bij wijzigingen (Management of Change)

Het betreft alle paden die bij één van de barrières in het analysemodel, bij het onderdeel 'VBS onderdelen', door 'iv. beleid bij wijzigingen' gaan.

4.3.1: Overtredingen

Het betreft alle paden die bij één van de barrières in het analysemodel, bij het onderdeel 'Menselijke fouten', door 'Overtreding' gaan.

4.3.2: Vergissingen

Het betreft alle paden die bij één van de barrières in het analysemodel, bij het onderdeel 'Menselijke fouten', door 'Vergissing' gaan.

4.3.3: Afdwalingen en uitglijders

Het betreft alle paden die bij één van de barrières in het analysemodel, bij het onderdeel 'Menselijke fouten', door 'Uitglijders en afdwalingen' gaan.

5 Bijlage 5 Vergelijking met de conclusies van de voorgaande meerjarenrapportage (2004-2013)

In 2014 is een analyse gedaan van de incidenten uit de periode 2004-2013 [5]. Hieronder worden de conclusies uit die rapportage herhaald en wordt aangegeven of ze nog steeds actueel zijn.

Conclusie 1: "Het totaal aantal incidenten dat de Inspectie-SZW in onderzoek heeft genomen, neemt af na 2009. Het is niet bekend of minder gemeld wordt, of dat er daadwerkelijk minder incidenten zijn."
De conclusie is nog steeds geldig, de daling vanaf 2009 heeft zich doorgezet, zie paragraaf 5.1.

Conclusie 2: "Er zijn geen opvallende trends geconstateerd in de oorzaken van den incidenten. Jaarlijks falen vaak dezelfde veiligheidsfuncties (barrières)."
De conclusie is nog steeds geldig, door de jaren heen blijven de falende veiligheidsmaatregelen (voorheen: veiligheidsfuncties) min of meer gelijk, zie paragraaf 5.2.

Conclusie 3: "De beheersing van de procesparameters, dat wil zeggen de mate van controle om de processen binnen de 'normale' veilige grenzen te houden, faalt vaker van 2008-2010."
De piek in de periode 2008-2010 is volgens de huidige analyses kleiner dan in [5] werd aangegeven. Over de periode 2003-2018 bezien, zijn er geen structurele veranderingen in de (falende) veiligheidsmaatregelen met betrekking tot de procesbeheersing. Dat geldt ook voor de beheersing van de procesparameters, zie paragraaf 5.2.

Conclusie 4: "Een gebrekkige toestand van de installatie blijkt in gemiddeld 40% van de incidenten een rol te hebben gespeeld, en is daarmee een belangrijke oorzaak van incidenten. Dit kan zowel ontwerp- als onderhoud-gerelateerd zijn (veroudering, materiaalkeuze)."
De conclusie is nog steeds geldig. Het borgen van de integriteit van de installatie (voorheen: beheersing van de toestand) blijft de belangrijkste faaloorzaak. Bij 41% van de incidenten faalt dit onderdeel van de procesbeheersing, zie paragraaf 3.2.1.

Conclusie 5: "Door de jaren heen faalt de indicatie van de afwijking bij ruim 40% van de incidenten."
De conclusie is nog steeds geldig. De afwezigheid van een indicatie van de afwijking is bij 48% van de incidenten de reden waarom ontstane afwijkingen niet worden hersteld, zie paragraaf 3.3.1.

Conclusie 6: "Bij de meeste incidenten met gevaarlijke stoffen is het niet de sterkte van het insluitsysteem dat faalt (dat blijft intact), maar wordt het insluitsysteem omzeild. Voorbeelden daarvan zijn overvulling, het abusievelijk openen van afsluiters, ontbrekende of niet afgeblinde leidingstukken, et cetera."

De conclusie is nog steeds geldig. Bij 32% van de incidenten bezwijken installaties (deels). Veel vaker komen gevaarlijke stoffen vrij via afsluiters en kleppen die abusievelijk open staan, zie paragraaf 3.4.2.

Conclusie 7: "De drie achterliggende managementfactoren die het vaakst falen zijn plannen & procedures, materieel en competentie."
De conclusie is nog steeds geldig. De top drie van onderliggende (management)factoren bestaat nog steeds uit plannen en procedures (26%), competentie (16%) en materiaal/materieel (14%). Het onderdeel motivatie en alertheid scoort 12% en communicatie en samenwerking 7%. De percentages zijn het gemiddelde over alle falende barrières bij de 326 geanalyseerde incidenten.

.....

E.S. Kooi | H.J. Manuel | M. Mud

.....

RIVM Rapport 2019-0042

Dit is een uitgave van:

**Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu**

Postbus 1 | 3720 BA Bilthoven
Nederland
www.rivm.nl

juni 2019