

# Veiligheid alternatief aangedreven voertuigen op chemische sites

Incidentscenario's (fase 2)



Nederlandse Academie voor  
Crisisbeheersing en Brandweezorg  
Postbus 7010  
6801 HA Arnhem  
Kemperbergerweg 783, Arnhem  
[www.nipv.nl](http://www.nipv.nl)  
[info@nipv.nl](mailto:info@nipv.nl)  
026 355 24 00

Versie 1.1

## Colofon

© Nederlands Instituut Publieke Veiligheid (NIPV), 2024

Auteurs J. Reinders, H. Brans

Contactpersonen B. Knuttel, A. van Dijk

Opdrachtgever Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat / SDN

Datum 5 juli 2024

Wij hechten veel belang aan kennisdeling. Delen uit deze publicatie mogen dan ook worden overgenomen op voorwaarde van bronvermelding.

Het Nederlands Instituut Publieke Veiligheid is bij wet vastgelegd onder de naam Instituut Fysieke Veiligheid.

# Inhoud

<b>Inleiding</b>	<b>4</b>
<b>1 Analysemethodiek</b>	<b>6</b>
<b>2 Incidentscenario's</b>	<b>8</b>
2.1 Inleiding	8
2.2 Afbakening	8
2.2.1 Worst Credible Incident of (WCI)	8
2.2.2 Schadecriteria	10
<b>3 Identificatie en uitwerking van de scenario's</b>	<b>12</b>
3.1 Inleiding	12
3.2 Dieselvrachtauto	13
3.3 Vrachtauto's op LNG	13
3.4 H2 – Vrachtauto's met brandstofcellen	15
3.5 Vrachtauto's op CNG	18
3.6 Batterij-elektrisch aangedreven vrachtauto's	20
3.7 Overzicht	23
<b>4 Maatregelen</b>	<b>25</b>
4.1 Algemeen	25
4.2 H2, CNG en LNG	25
4.3 BEV	27
<b>5 Samenvatting en conclusies</b>	<b>29</b>
<b>Bijlage</b>	<b>32</b>

# Inleiding

Op industrieterreinen en chemische clusters zijn talrijke (petrochemische) bedrijven gevestigd. Op deze terreinen vindt veel transport (van gevaarlijke stoffen) plaats. De transportsector vergroent, wat betekent dat steeds meer met alternatieve brandstoffen wordt gereden en gevaren. Terreinbeheerders, maar ook individuele bedrijven en hun veiligheidsadviseurs, denken na over de veiligheidsrisico's van vrachtauto's die door 'duurzame' brandstoffen worden aangedreven. Dit sluit aan bij de wens om als (petrochemische) industrie bij te dragen aan de verduurzaming van de maatschappij door het aantal door diesel aangedreven vrachtoertuigen te reduceren. Omdat dit niet ten koste mag gaan van de veiligheid, heeft de petrochemische industrie het Nederlands Instituut voor Publieke Veiligheid (NIPV) gevraagd om onderzoek te doen naar de specifieke risico's die samengaan met de aanwezigheid van alternatief aangedreven vrachtauto's op petrochemische bedrijfsterreinen<sup>1</sup>. Onder alternatieve aangedreven vrachtwagens (AAV's) wordt in dit verband verstaan vrachtauto's die gebruikmaken van aardgas (LNG of CNG) of waterstof<sup>2</sup> als brandstof, of die elektrisch worden aangedreven.

Het onderzoek omvat drie fases. In fase 1 van deze studie is op basis van openbare bronnen een literatuurverkenning uitgevoerd naar de (inter)nationale regelgeving met betrekking tot AAV's op petrochemische bedrijfsterreinen. Hieruit bleek dat in Nederland geen regelgeving betreffende het gebruik van alternatief aangedreven voertuigen in BRZO-inrichtingen of andere bedrijfsterreinen. Ook in breder verband (EU, USA) leverde deze verkenning geen resultaten op ten aanzien van regelgeving voor het gebruik van dergelijke voertuigen (waaronder vrachtauto's) op specifieke (petrochemische) locaties. Wel bestaan er (inter)nationale eisen waaraan alternatief aangedreven voertuigen moeten voldoen (voertuigeisen), zijn er regels voor tankstations met alternatieve brandstoffen en bestaan er leidraden voor incidentbestrijding. Ook is in ruime mate wetenschappelijke literatuur aanwezig over gevaren en risico's van alternatieve brandstoffen en alternatief aangedreven voertuigen. Deze gegevens worden dan ook vaak gebruikt bij het verstrekken van vergunningen, voor het vaststellen van veiligheidsmaatregelen of voor de berekening van veiligheidsafstanden.

Dit document gaat over fase 2 van deze studie. Hierin zijn, uitgaande van de bevindingen uit fase 1, specifieke, realistische incidentscenario's ontwikkeld die zich kunnen voordoen met AAV's op petrochemische bedrijfslocaties en waarvan verwacht wordt dat ze significante impact kunnen hebben op de veiligheid op en om de locatie. Het opstellen en beoordelen van incidentscenario's op een locatie is een veel gebruikte en algemeen geaccepteerde manier om een uitspraak te doen over het niveau van veiligheid en om vast te stellen welke maatregelen noodzakelijk zijn om een vereist veiligheidsniveau te behalen. De scenario's in deze studie hebben betrekking op incidenten die zich zouden kunnen voordoen met de brandstoftanks en -installaties of de accu's van de vrachtauto's. Het doel hiervan is inzicht te krijgen in de omvang van de effecten en de gevolgen voor de locatie en directe omgeving.

De hierna nog uit te voeren fase 3 van het onderzoek omvat een praktijktest bij een of enkele bedrijven.

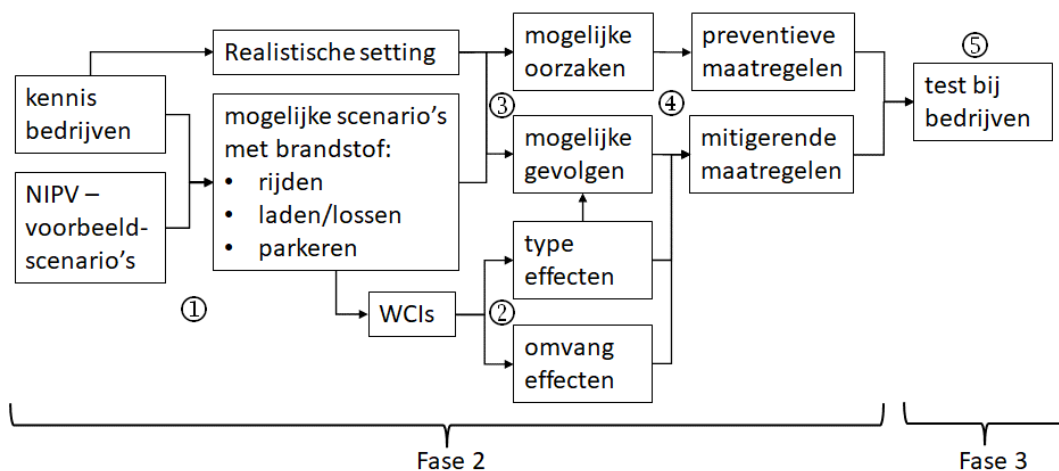
---

<sup>1</sup> Onder petrochemische bedrijfsterreinen worden verstaan locaties, (haven)terminals en industriële clusters waar gewerkt wordt met significante hoeveelheden gevaarlijke stoffen (productie, opslag, transport), waaronder BRZO-bedrijven.  
<sup>2</sup> In deze studie wordt ervan uitgegaan dat waterstof via brandstofcellen de vrachtwagen van energie voorziet.

Dit is versie 1.1. van deze rapportage. Gezien de snelle ontwikkelingen in batterijtechniek, de toepassing hiervan alsook het onderzoek naar mogelijke gevolgen van incidenten, zijn de voorbeeldscenario's voor de elektrisch aangedreven vrachtwagen enigszins aangepast.

# 1 Analysemethodiek

In onderstaand schema is de methodiek weergegeven die is gevolgd bij het uitwerken van de scenario's.



**Figuur 1.1 Methodiek voor het uitwerken van scenario's**

Er kunnen vijf stappen worden onderscheiden (de nummering verwijst naar de getallen in Figuur 1.1):

1. Omdat in principe talloze incidenten denkbaar zijn, is een aantal voorbeeldscenario's door NIPV opgesteld, ontleend aan studies voor externe veiligheid. Deze zijn voorgelegd aan deelnemers<sup>3</sup> aan een workshop, waar ze als startpunt zijn gebuikt om een aantal scenario's (Worst Credible Incidents of WCI's) op te stellen voor drie activiteiten op petrochemische locaties. Ofwel, enkele mogelijk geachte scenario's met ernstige gevolgen zijn opgesteld voor drie activiteiten op een locatie: *rijden*, *laden / lossen* en *parkeren*. Het betreft hierbij incidenten met de LNG-, CNG-, of H<sub>2</sub>-brandstoftank of de batterij.
2. Op basis van deze WCIs is vastgesteld:
  - a) met welke typen effecten en gevolgen men rekening moet houden (hebben we te maken met gassen of vloeistoffen, zijn deze brandbaar (hitte), explosief (druk), of toxisch?) en
  - b) wat de mogelijke omvang hiervan is, dus bijvoorbeeld tot op welke afstand van de incidentlocatie een bepaalde waarde van de hittestraling of concentratie wordt overschreden.

De afstand tot waarop gevolgen voor de omgeving (letsel, schade) of vervoelgeffekten (sneeuwbal- of domino-effecten) kunnen optreden is bepaald. De omvang van deze vervoelgeffekten is niet verder uitgewerkt. Zo is er bijvoorbeeld wel berekend tot op welke afstand aanstralen van een object (zoals een grote opslagtank brandbare stoffen) tot vervoelgeffekten kan leiden, maar is de omvang van deze gevolgen niet verder uitgewerkt.

<sup>3</sup> Bij de workshop waren vertegenwoordigers aanwezig van private en van publieke organisaties voor wie de veiligheid van petrochemische locaties van belang is (zie Bijlage). Dit betreft vertegenwoordigers van de petrochemische industrie, de brandweer, Safety Delta Nederland (SDN), en het NIPV.

Zeker bij grote installaties worden deze in het algemeen al uitgewerkt bij externe veiligheidsstudies.

3. Om de gevolgen van de in stap 1 geïdentificeerde scenario's te kunnen inschatten en later de maatregelen te kunnen uitwerken zijn realistische settings (werkwijzen, omgeving) van de scenario's van belang. Op basis hiervan kunnen ook mogelijke oorzaken worden genoemd. Input geleverd door de deelnemers aan de workshop is hiervoor essentieel gebleken.
4. Deze gegevens hebben de basis gevormd voor de identificatie van mogelijke maatregelen. Deze kunnen gericht zijn op het voorkomen van de ongewenste gebeurtenis (preventief) of op het beperken van de gevolgen (mitigerend, repressief). Zij kunnen van ruimtelijke (afstand), organisatorische of technische aard zijn.
5. Er is een grote verscheidenheid aan petrochemische bedrijven. Dit geldt voor wat betreft hun aard en omvang, maar ook voor de wijze van risicobeheersing. In fase 3 van het onderzoek zal de methodiek dan ook worden getest bij één of enkele bedrijven. Op basis van deze praktijktest zal (a) naar voren komen in hoeverre de methodiek en modellering werken, (b) of de uitkomsten bruikbaar zijn en (c) in welke mate de methodiek eventueel moet worden bijgesteld.

# 2 Incidentscenario's

## 2.1 Inleiding

Met behulp van incidentscenario's kan een beeld worden gevormd van wat er mis kan gaan tijdens activiteiten op een (petrochemische) locatie, alsmede de daarmee gepaard gaande ontwikkeling van de gevolgen in de tijd. Hierdoor zijn scenario's zeer geschikt om te gebruiken als hulpmiddel voor eventueel te ontwikkelen maatregelen of 'lines of defence'. Daarnaast kunnen bedrijven en overheidshulpdiensten van deze scenario's gebruikmaken bij de (regionale) uitwerking van de multidisciplinaire voorbereiding op de industriële incidentbestrijding. Bij de start van een gezamenlijke voorbereidingsactiviteit kan het beeld gedeeld worden, bijvoorbeeld tijdens een informatieve bijeenkomst voorafgaand aan een gezamenlijke oefening.

Door de beeldvormende scenario's te relateren aan specifieke bedrijfsterreinen en veiligheidsmaatregelen, kunnen locaties op het terrein worden benoemd die speciale aandacht vragen in de voorbereiding op incidentbestrijding en ontstaan herkenbare beelden van relevante calamiteiten en van de directe gevolgen en omgevingseffecten die zich op en rond het bedrijventerrein kunnen afspelen.

Een scenario volgt een chronologische lijn van aansluitende gebeurtenissen en ontwikkelingen. Centraal in een incidentscenario staat een ongewenste gebeurtenis. Deze ongewenste gebeurtenis heeft een oorzaak en gevolg voor de omgeving (of meerdere oorzaken en/of gevolgen). Ofwel: elk scenario zal bestaan uit een *oorzaak*, een *ongewenste gebeurtenis* en een *gevolg*.

## 2.2 Afbakening

### 2.2.1 Worst Credible Incident of (WCI)

Er kunnen zich op een locatie zeer veel typen incidenten voordoen. Er bestaan (nog) geen voorgeschreven incidentscenario's voor AAV's, zoals dat bijvoorbeeld het geval is voor de kwantitatieve risicoanalyse voor installaties en vervoer van gevaarlijke stoffen. Enerzijds moeten scenario's geloofwaardig zijn, dus men moet zich kunnen voorstellen dat ze kunnen voorkomen of zijn voorgekomen op de locatie. Anderzijds moeten ze ook dekkend zijn voor onwaarschijnlijke maar niet ondenkbare incidenten met zeer ernstige gevolgen. Dit zijn dus de scenario's die tot forse schade-effecten kunnen leiden, maar ondertussen nog wel (door deskundigen) als geloofwaardig worden beschouwd, de zogenaamde 'Worst Credible Incidents' (WCIs). Deze WCI's geven de lezer een beeld van wat voor incident zich kan voltrekken met een AAV en verschaffen tevens een basis voor de modellering van de effecten en het bedenken van passende maatregelen.



In deze studie worden WCI's opgesteld die betrekking hebben op activiteiten op petrochemische locaties met AAV's. De activiteiten waarvoor de scenario's worden opgesteld zijn:

- > rijden over een locatie
- > laden of lossen
- > parkeren.

Het betreft de volgende aandrijvingsvormen:

- > vrachtauto's die vloeibaar gemaakt aardgas (LNG) als brandstof gebruiken
- > fuel cell elektrisch aangedreven vrachtauto's met waterstof als brandstof (FCEV)
- > vrachtauto's die gecombineerd aardgas (CNG) als brandstof gebruiken
- > batterij elektrisch aangedreven vrachtauto's (BEV).

In de te identificeren en uit te werken scenario's staat de energiebron van de AAV centraal. Ofwel de *ongewenste gebeurtenis* betreft waterstoftanks, aardgastanks of de batterijen, al naar gelang de aandrijvingsvorm. De *gevolgen* omvatten een direct effect (brand, explosie, fakkels) met mogelijk consequenties voor de (industriële) omgeving vanwege hittestraling, druk, vlamcontact, of blootstelling aan giftige stoffen. Hiermee kunnen (locatiespecifiek) de gevolgen voor personen en de assets op de site worden bepaald.<sup>4</sup> Als *oorzaak* ('initiating event') worden enkele gebeurtenissen beschreven die het scenario kunnen initiëren. Dit zijn vrij algemene gebeurtenissen, die moeten worden gezien als voorbeeld. Afhankelijk van het type bedrijf kunnen er andere oorzaken zijn voor de beschreven scenario's. Wel wordt ervan uitgegaan dat de vrachtauto's geen brandstof innemen op de locatie en dat, in geval van elektrische vrachtauto's, batterijen niet worden opgeladen.

Bij de selectie van de WCI's is gebruikgemaakt van de opgebouwde ervaring met het opzetten en analyseren van ongevalsscenario's in het werkveld van externe veiligheid. Hierbij wordt uitgegaan van een beperkt aantal scenario's dat representatief wordt geacht voor de incidenten die zich hebben voorgedaan of waarvan men denkt dat ze zich kunnen voordoen, waarbij de gevolgen 'significant' waren of kunnen zijn.

Dit heeft ertoe geleid dat in het algemeen per aandrijfvorm een drietal typen incidenten wordt geanalyseerd. Dit zijn:

1. Volledig en instantaan falen of openscheuren van een houder. Dit kan zich voordoen indien een tank of batterijpakket aan zeer grote krachten wordt blootgesteld, bijvoorbeeld bij een hevige botsing of als deze aan veel hitte wordt blootgesteld. Ook een serieuze constructiefout of ernstig achterstallig onderhoud kan hiervan de oorzaak zijn.
2. Een zodanig grote beschadiging dat de gevaarlijke inhoud in 10 minuten uit de tank of uit het batterijpakket komt. Dit representeert een flinke impact met bijvoorbeeld een zware machine of het afbreken van een grote leiding.
3. Een gat met een opening van 10 mm in een tank. Denk hierbij het afbreken van een kleine aansluiting (bijvoorbeeld appendage) of een gat ten gevolge van aantasting door corrosie. In geval van elektrisch aangedreven vrachtauto's zou een langzame vorming van gassen en het langzaam vrijkomen hiervan de oorzaak kunnen zijn

---

<sup>4</sup> Het bepalen van locatiespecifieke gevolgen voor personen of assets vormt geen onderdeel van deze fase van het onderzoek. Dit geldt ook voor de bepaling van specifieke interacties tussen de lading van de AAV met de brandstoftank of batterij.

## 2.2.2 Schadecriteria

Om de afstand vast te stellen tot waarop er letsel en materiële schade kunnen optreden als gevolg van de verschillende scenario's is gebruikgemaakt van schadecriteria afkomstig uit het werkveld van de externe veiligheid. Het betreft de volgende criteria<sup>5</sup>:

### 1. Effecten van brand en hitte:

- > Afstand vanaf de bron tot de locatie waar het stralingsniveau is afgenomen tot 35 kW/m<sup>2</sup>. Tot deze afstand zullen brandbare producten (bijvoorbeeld hout of kunststof) vlam vatten.
- > Afstand vanaf de bron tot de locatie waar het stralingsniveau is afgenomen tot 10 kW/m<sup>2</sup>. Personen die zich binnen deze afstand van de bron bevinden, zullen zodanige brandwonden oplopen dat ze komen te overlijden.
- > Afstand vanaf de bron tot de locatie waar het stralingsniveau is afgenomen tot 3 kW /m<sup>2</sup>. Vanaf dit stralingsniveau is beschermende kleding noodzakelijk voor hulpverleners.<sup>6</sup>
- > Diameter van de vuurbal bij een BLEVE<sup>7</sup>: Binnen deze vuurbal zullen brandbare stoffen ontbranden en zullen personen overlijden.
- > Lengte van de vlam bij een fakkelbrand. Binnen de vlam van een fakkel zullen brandbare stoffen ontbranden en zullen personen overlijden.
- > De afstand vanaf de incidentlocatie tot waarop een brandbare gaswolk aanwezig kan zijn, ook wel de afstand tot de Lower Explosion Limit (LEL) genoemd. Tot op deze afstand kan brand ontstaan indien de gaswolk ontstoken wordt. Deze afstand geldt in de richting waarin de wind waait.

### 2. Effecten van explosiedruk:

- > Afstand vanaf het explosiecentrum tot waar de overdruk tot 300 mbar is afgenomen. Tot op deze afstand kan zware schade aan constructies en gebouwen worden toegebracht. Er wordt aangenomen dat personen die zich in dergelijke bouwwerken bevinden, komen te overlijden. Het explosiecentrum is het hart van de explosieve wolk, wanneer deze haar maximale omvang heeft bereikt. Dit is niet de locatie van het ongeval, aangezien de gaswolk zich met de wind mee zal verplaatsen. De afstand van het hart van de explosieve wolk tot de incidentlocatie zal ook worden weergegeven. Verder is er aangenomen dat 12,5 % van de explosieve wolk zal zijn ingesloten (en dus drukeffecten kan veroorzaken) en dat de ontsteking zo krachtig is dat deze een detonatie zal veroorzaken.

### 3. Effecten van blootstelling aan toxische gassen:

- > Afstand tot waarbij na 30 minuten inademen van de toxische stof een levensbedreigende situatie kan ontstaan, de LBW<sub>30</sub>.<sup>8</sup> Ook deze afstand geldt in de richting waarin de wind waait.
- > De afstand tot waarop een levensbedreigende situatie kan ontstaan na inademen van de toxische stof gedurende de tijd dat een incident duurt (LBW<sub>incidentduur</sub>). Dit is alleen berekend voor blootstellingsperiodes van hooguit 30 minuten, aangezien er van wordt uitgegaan dat binnen deze tijd hulpdiensten aanwezig zijn.

<sup>5</sup> Zie voor meer achtergrondinformatie [Handleiding Risicoberekeningen BEVI, versie 3.3, juli 2015](#).

<sup>6</sup> Zie: Brandweer Rotterdam (2006). Veilige stralingscontouren bij incidenten - gerelateerd aan warmtebelasting voor hulpverleners.

<sup>7</sup> BLEVE staat voor Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion. Dit is een explosie die optreedt indien de inhoud van een tank met een onder druk tot vloeistof verdicht gas plotseling vrijkomt doordat de tank ineens openscheurt. Als de inhoud brandbaar is, zal deze in het algemeen ontsteken, met een vuurbal tot gevolg. Omdat de schadelijke gevolgen van de druk van een BLEVE aanzienlijk minder ver reiken dan van een vuurbal, worden drukeffecten in het algemeen niet vermeld.

<sup>8</sup> Zie [Interventiewaarden voor de incidentbestrijding](#).

Bij de berekeningen van de effecten vanuit een gat in de brandstoftank is ervan uitgegaan dat het gat zich op 1 m hoogte boven grondniveau bevindt. Voor het aan de effecten blootgestelde object (de 'ontvanger') is aangenomen dat dit zich op 1,5 m boven grondniveau bevindt.

Voor de atmosferische condities is uitgegaan van een veel voorkomende situatie overdag in Nederland, te weten een windsnelheid van 5 m/s en atmosferische stabiliteitsklasse D, aangegeven als Pasquillklasse D5. Verder is ervan uitgegaan dat de verspreiding plaatsvindt in een gebied met obstakels zoals (hoge) gebouwen en industriële installaties, aangegeven met een ruwheidslengte van 1 m.

# 3 Identificatie en uitwerking van de scenario's

## 3.1 Inleiding

Het opstellen en evalueren van de scenario's heeft plaatsgevonden in de vorm van een workshop met vertegenwoordigers van de industrie en de overheid. Als uitgangspunt heeft NIPV per installatie voor elk van de drie activiteiten (rijden, laden / lossen, parkeren) een basisscenario uitgewerkt, gebaseerd op de scenariotypes uit het vorige hoofdstuk (instantaan falen, uitstroming in 10 min, gat van 10 mm). Deze dienden als startpunt in de workshop, waarbij per activiteit en aandrijfvorm het WCI werd vastgesteld voor een industriële locatie. Alle effectafstanden zijn berekend met het softwarepakket EFFECTS versie 12.<sup>9</sup>

Om de berekende effectafstanden in perspectief te plaatsen zijn eerst enkele effectafstanden berekend voor een 'traditionele' vrachtauto, dat wil zeggen voor de situatie waarin de dieseltank van een vrachtauto zou leeglopen, de vloeistof zou ontsteken en een plasbrand zou ontstaan.

De scenario's zijn als volgt uitgewerkt:

1. Het systeem wordt beschreven: de vrachtauto, de tank / batterij (inhoud/volume), en, voor elk van de activiteiten, de wijze waarop deze faalt als gevolg waarvan 'forse' schadelijke effecten kunnen optreden in de situaties van rijden, parkeren en laden / lossen.
2. Het mogelijke incident wordt beschreven en wat voor schade dit aan de 'energiebron' veroorzaakt.
3. De fysische effecten (zoals overdruk, hitte, verspreiding van brandbare of toxische gassen) worden beschreven, alsook de gevolgen daarvan voor de omgeving.
4. Waar mogelijk worden de effecten en gevolgen gekwantificeerd, wat wil zeggen dat er zal worden aangegeven tot op welke afstand bepaalde gevolgen (brandwonden, blootstellingniveau's van toxische gassen, schade aan gebouwen) te verwachten zijn.

In hoofdstuk 4 worden mogelijke maatregelen geïdentificeerd ten aanzien risicobeheersing en incidentbestrijding.

---

<sup>9</sup> [EFFECTS consequence modelling tool for safety professionals \(gexcon.com\)](http://www.gexcon.com).

## 3.2 Dieselvrachtauto

Het instantaan openbarsten van een dieseltank van 500 liter, bijvoorbeeld door een hevige aanrijding, zou tot een plasbrand kunnen leiden met de volgende effecten:

Vloeistofplas met straal van:	6 m
Afstand tot stralingsniveau 35 kW /m <sup>2</sup> :	10 m (vanaf centrum plas)
Afstand tot stralingsniveau 10 kW /m <sup>2</sup> :	18 m (vanaf centrum plas)
Afstand tot stralingsniveau 3 kW /m <sup>2</sup> :	26 m (vanaf centrum plas).

## 3.3 Vrachtauto's op LNG

### Uitgangspunten

LNG staat voor Liquefied Natural Gas. Dit is aardgas (methaan) dat vloeibaar is gemaakt door het af te koelen tot beneden het kookpunt (-163 °C bij omgevingsdruk). Hierdoor kan er 600 keer zoveel methaan worden meegenomen als in de vorm van gas bij omgevingsdruk.

Bij de berekeningen zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- > De vrachtauto heeft 2 brandstoftanks van 528 liter; deze zijn voor 90 % gevuld en elke tank bevat 185 kg LNG. Eén tank raakt betrokken bij een incident.
- > Werkdruk en -temperatuur: 4,4 bar en -140 °C.
- > Openingsdruk van het veiligheidsventiel (PRV): 16 bar (de temperatuur is dan -113 °C). De PRV sluit weer bij 10 bar.
- > Leidingaansluitingen en appendages hebben een doorsnede van 10 mm.
- > Warme BLEVE: tank faalt bij 20 bar (-107 °C).

### Scenario's

#### *Rijden op de locatie*

Tijdens het rijden over de locatie vindt er een ernstige aanrijding plaats, bijvoorbeeld doordat de vrachtauto wordt aangereden door een trein of een ander zwaar voertuig. Als gevolg hiervan kan het gebeuren dat de LNG-tank openscheurt, waardoor de gehele inhoud ineens vrijkomt en er een (*koude*) BLEVE ontstaat. Het is ook mogelijk dat er een *groot gat* in de tank wordt gereden, bijvoorbeeld doordat de chauffeur tegen een betonnen markering of paal rijdt, of doordat de vrachtauto kantelt waardoor zeer snel alle LNG vrijkomt. Deze twee scenario's worden hieronder weergegeven in de gebeurtenissenboom (Figuur 3.1). De fysische effecten zijn in deze figuur weergegeven in rode kaders.

#### *Laden en lossen*

Ook tijdens laden en lossen is het mogelijk dat er een *groot gat* in de tank wordt gereden, als bijvoorbeeld een heftruck met uitstekende lepels tegen de tank botst. Verder is het mogelijk dat een voertuig tegen een van appendages of aansluitingen stoot, waardoor deze afbreekt en er een *gat van 10 mm* ontstaat, waaruit door de druk in de tank het aardgas met kracht naar buiten wordt gespoten. Ook dit scenario is uitgewerkt in Figuur 3.1. De fysische effecten zijn weergegeven in oranje kaders.

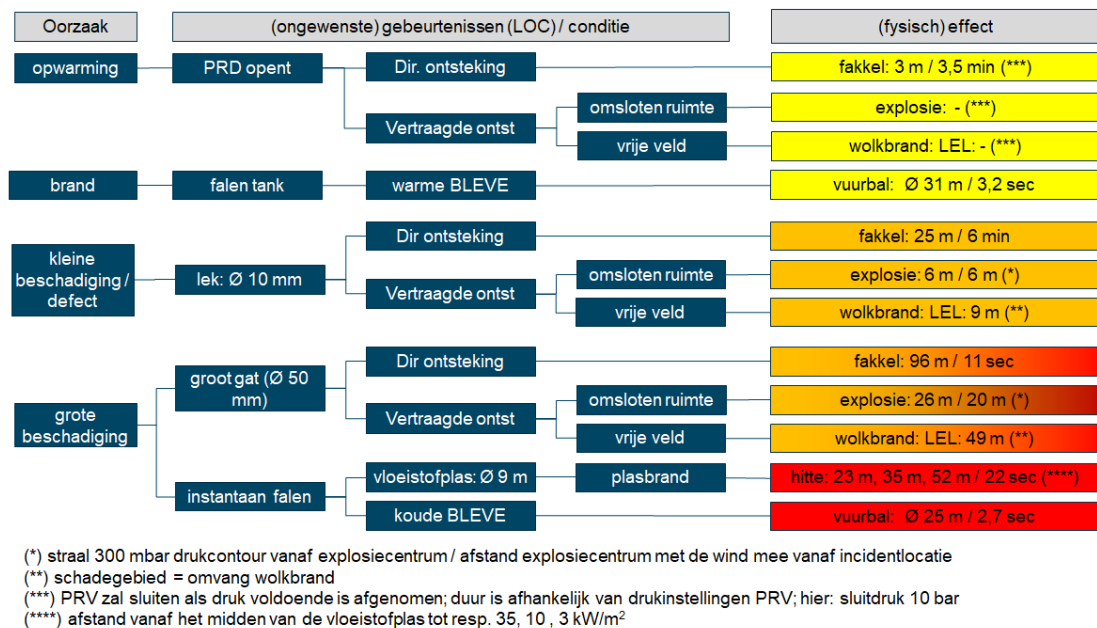
#### *Parkeren*

Een vrachtauto staat gedurende langere tijd (bijvoorbeeld gedurende een weekend) op de parkeerplaats. Door de hoge omgevingstemperatuur loopt de druk in de tank zo ver op dat de PRV opengaat en methaan wordt afgeblazen. Ook is het mogelijk dat vandalen zich toegang hebben weten te verschaffen tot het terrein en de vrachtauto (de banden) in brand

hebben gestoken. Hierdoor wordt de LNG-tank zodanig aangestraald dat een (*warme*) BLEVE optreedt. Deze scenario's zijn ook hieronder uitgewerkt (Figuur 3.1). De fysische effecten zijn in deze figuur weergegeven in gele kaders.

### Gebeurtenissenboom

In Figuur 3.1 staat de gebeurtenissenboom afgebeeld voor de incidenten met LNG. Bij de effecten is de effectafstand vanaf de incidentlocatie weergegeven (zie de criteria in paragraaf 2.2.2) en (gescheiden door een schuine streep) de tijdsduur, met uitzondering van de explosie. Voor de explosie geldt de weergegeven effectafstand vanaf het centrum van de explosieve wolk. Achter de schuine streep is in dit geval de afstand van centrum van de explosieve wolk tot de incidentlocatie weergegeven op het moment van de explosie. Voor hittestraling zijn de afstanden weergegeven voor respectievelijk 35, 10 en 3 kW/m<sup>2</sup>.



**Figuur 3.1 Gebeurtenissenboom voor incidenten met een 528 liter LNG-tank**

#### *Instantaan falen*

Bij een zeer ernstige aanrijding zoals met een trein, kan de tank direct volledig open scheuren. Het vrijgekomen LNG zal deels meteen verdampen en deels uitregenen en een vloeistofplas vormen. De impact van botsing zal voor directe ontsteking zorgen, waardoor de gasfractie een koude BLEVE met vuurbal veroorzaakt en de vloeistofplas een plasbrand. Het incident zal ruim 20 seconden duren. Tot op 25 m kunnen secundaire branden ontstaan. Brokstukken van de tank kunnen tot ruim 30 m worden weggeworpen.

#### *Groot gat*

Zoals eerder vermeld, wordt het '10-minuten-scenario' bij externe veiligheidsberekeningen in het algemeen als representatief gezien voor een groot gat. Uit Figuur 3.1 blijkt een lek van 10 mm al voldoende is om een 528 liter tank in circa 6 minuten te doen leegstromen. Daarom is voor het grote lek een gat met een doorsnede van 50 mm genomen. Deze waarde representeert ons inziens beter het scenario voor een flinke impact, zoals bijvoorbeeld met de lepels van een heftruck. Een directe ontsteking zal tot een fakkel leiden van circa 96 m lengte. Deze fakkel duurt slechts 11 seconden, maar kan in die tijd wel secundaire branden veroorzaken. Bij vertraagde ontsteking kan een wolkbrand tot op 49 m

(met de windrichting mee) letale slachtoffers en secundaire branden veroorzaken. Indien zich methaan ophoopt in afgesloten ruimtes, kan ontsteking tot explosieschade leiden. In Figuur 3.1 is ervan uitgegaan dat een achtste van het vrijgekomen methaan een deflagratie zal veroorzaken als het ontstoken raakt op het moment dat de explosieve wolk haar maximale omvang heeft. Het centrum van de wolk bevindt zich dan (dit is na 10 sec) op 20 m van de incidentlocatie (met de wind mee) en zal in een straal van 26 m voor zeer ernstige schade aan constructies zorgen.

#### *Kleine beschadiging*

Afbreken van bijvoorbeeld een appendage of leiding van de tank zal een gat van 10 mm doorsnede veroorzaken. Dit zal dezelfde typen effecten opleveren als een gat van 50 mm (fakkels, explosie, wolkbrand), echter met minder grote effectafstanden, zoals is weergegeven in Figuur 3.1.

#### *Openen PRV*

Hoewel een LNG-tank zeer goed is geïsoleerd, zal de temperatuur en dus ook de druk toch langzaam oplopen bij omgevingstemperatuur. Als de druk is opgelopen tot 16 bar (dit komt overeen met een temperatuur van  $-113\text{ °C}$  in de tank), zal de PRV opengaan. Er is aangenomen dat de PRV zich op 3 m hoogte boven aan de vrachtauto bevindt en via een 4 m lange leiding van 10 mm doorsnede is verbonden met de tank. De uitstroombuiging heeft ook een doorsnede van 10 mm en is verticaal naar boven gericht. Als de druk door het afblazen voldoende is afgenomen, zal de PRV weer sluiten. De tijdsduur van het afblazen zal afhangen van de ingestelde sluitdruk van de PRV. Als daarna de temperatuur weer oploopt zal bij 16 bar de PRV weer opengaan enzovoort. Hier is aangenomen dat de PRV weer sluit bij een druk van 10 bar. Dit zal het geval zijn na 3,5 min afblazen. Directe ontsteking zal een fakkel veroorzaken van circa 3 m. Door de wind zal de fakkel een hoek van  $24^\circ$  maken ten opzichte van de verticale ( $0^\circ$ ) positie. Er zal in die tijd 9 kg methaan worden afgeblazen. Wanneer dit buiten gebeurt bij Pasquillklasse D5 zal dit geen brandbare of explosieve wolken opleveren. Wanneer het vrijgekomen methaan zich echter in een afgesloten ruimte met lucht kan mengen, kan er een explosieve wolk ontstaan. Deze 9 kg methaan heeft bij omgevingscondities een volume van  $13\text{ m}^3$ . Met een LEL van 5 vol% betekent dit dat in ruimtes met een inhoud tot  $260\text{ m}^3$  een explosief mengsel kan worden gevormd.

#### *Brand*

Indien de LNG-tank door brand wordt aangestraald en de PRV niet in staat is om voldoende gas uit te laten stromen om de opgebouwde druk te weerstaan, kan de tank door drukopbouw alsook verzwakking plotseling falen. Dit resulteert dan in een *warme BLEVE*. Bij een faaldruk van 20 bar (en een temperatuur van  $-107\text{ °C}$ ) zal dan een vuurbal ontstaan van 31 m doorsnede. Brokstukken van de tank kunnen tot 55 m worden weggegooid. Er zal onder deze omstandigheden geen vloeistofplas ontstaan, maar alles zal meteen verdampen.

## 3.4 H<sub>2</sub> – Vrachtauto's met brandstofcellen

### **Uitgangspunten**

Vrachtauto's die voor de aandrijving gebruikmaken van brandstofcellen (FCEVs) zijn eigenlijk elektrisch aangedreven voertuigen. De energie wordt echter niet opgeslagen in batterijen, maar in de vorm van waterstof (andere brandstoffen zijn ook mogelijk) dat in een brandstofcel (fuel cell) wordt omgezet in elektriciteit. In het algemeen beschikken dergelijke

voertuigen echter ook over een batterijpakket. De hierin opgeslagen energie kan tijdelijk worden aangesproken als extra vermogen noodzakelijk is voor het aandrijven.

De risico's verbonden aan de batterijen worden elders beschreven. Hier wordt ingegaan op de risico's van waterstof. De volgende uitgangspunten zijn gehanteerd bij de berekeningen:

- > Het voertuig beschikt over twee 322 liter tanks (drukcilinders), die elk 8 kg H<sub>2</sub> kunnen bevatten.
- > De (werk)druk is 350 bar.
- > De tanks beschikken elk over een TPRD (Thermally activated Pressure Relief Device<sup>10</sup>) die opengaat bij 110°C of 418 bar, waarna de cilinder helemaal drukloos wordt. De TPRD bevindt zich op 4 m hoogte en zal naar boven afblazen. Via een 9 mm leiding is hij verbonden met de tank. De TPRD is verplicht.
- > De diameter van de TPRD-opening is 6 mm.
- > Aansluiting aan de tank (leidingen, appendages) hebben een doorsnede van 10 mm.

## Scenario's

### *Rijden op de locatie*

Tijdens het rijden over de locatie vindt er een ernstige aanrijding plaats, bijvoorbeeld doordat de vrachtauto wordt aangereden door een trein of een ander zwaar voertuig. Hierdoor wordt een cilinder losgetrokken van de rest van de installatie. Het is onwaarschijnlijk dat de cilinder zal falen, aangezien deze aan zeer zware testeisen (onder meer vallen van hoogte, impact-tests) moet voldoen.<sup>11</sup> Door het afbreken zal er een gat van 10 mm ontstaan waardoor waterstof met grote kracht naar buiten wordt geblazen. Directe ontsteking zal tot een *fakkel* leiden. Indien het gas niet direct ontsteekt, kan een brandbare wolk ontstaan die – bij (vertraagde) ontsteking – een *wolkbrand* zal veroorzaken, of, in geval van opsluiting van (een deel van) het gas, een *explosie*. Deze twee scenario's worden hieronder weergegeven in een gebeurtenissenboom (Figuur 3.2). De fysische effecten zijn hierin weergegeven in rode kaders.

### *Laden en lossen*

Tijdens het laden en lossen stoot een voertuig een leiding lek waardoor deze afbreekt en er een *gat van 10 mm* ontstaat. Hierdoor valt de druk in de leidingen weg en zal door de aanwezige veiligheidssystemen de gastoevoer onmiddellijk worden afgesloten. Indien echter de leiding (of een appendage) afbreekt aan de cilinder, kan de gastoevoer niet meer worden afgesloten en zal dezelfde situatie ontstaan als omschreven in de vorige paragraaf. Het scenario, en dus de gevolgen, voor 'laden en lossen', weergegeven in de oranje kaders in de gebeurtenissenboom, is derhalve gelijk aan het scenario voor 'rijden op de locatie'.

### *Parkeren*

Een vrachtauto staat geparkeerd en vandalen hebben zich toegang weten te verschaffen tot het terrein en de vrachtauto (de banden) in brand gestoken. Hierdoor wordt de waterstofcilinder aangestraald, waardoor de druk en temperatuur zullen oplopen. Indien een van de setpoints wordt bereikt (110 °C of 418 bar) zal de *TPRD opengaan* (uitstroombiameter: 6 mm) en zal waterstof ontsnappen, ontsteken en een *fakkel* vormen. Indien de *TPRD faalt*, of de hitte straalt slechts een selectief deel van de cilinder aan (waardoor de TPRD niet wordt geactiveerd), kan de cilinder zodanig worden verzwakt dat deze plotseling openbreekt.

<sup>10</sup> Zie ISO 19882: 'Gaseous hydrogen - Thermally activated pressure relief devices for compressed hydrogen vehicle fuel containers'.

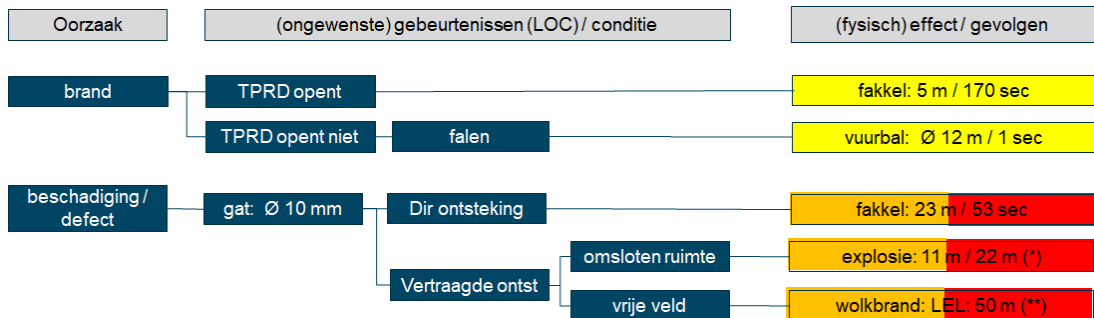
<sup>11</sup> Zie bijvoorbeeld ISO 21266-1: 'Road vehicles — Compressed gaseous hydrogen (CGH2) and hydrogen/natural gas blends fuel systems — Part 1: Safety requirements' en ISO 19881: 'Gaseous hydrogen — Land vehicle fuel containers'.



In dit geval zal een vuurbal het gevolg zijn. In de gebeurtenissenboom (Figuur 3.2) zijn de fysische effecten zijn weergegeven in gele kaders.

### Gebeurtenissenboom

In Figuur 3.2 is de gebeurtenissenboom weergegeven voor de incidenten met waterstof. Bij de effecten is de effectafstand vanaf de incidentlocatie weergegeven (zie de criteria in paragraaf 2.2.2) en (gescheiden door een schuine streep) de tijdsduur, met uitzondering van de explosie. Voor de explosie geldt de weergegeven effectafstand vanaf het centrum van de explosieve wolk. Achter de schuine streep is in dit geval de afstand van centrum van de explosieve wolk tot de incidentlocatie weergegeven, op het moment van de explosie.



(\*) straal 300 mbar drukcontour vanaf explosiecentrum / afstand explosiecentrum met de wind mee vanaf incidentlocatie  
 (\*\*) schadegebied = omvang wolkbrand. H2 heeft lagere dichtheid dan lucht: max. afstand LEL op 8 m hoogte; op 1,5 m hoogte ligt LEL op 30 m

**Figuur 3.2 Gebeurtenissenboom voor incidenten met een 322 liter waterstoftank**

#### Beschadiging / defect

Afbreken van bijvoorbeeld een appendage of leiding van de tank zal een gat van 10 mm doorsnede veroorzaken. Ook een zware aanrijding zal deze schade veroorzaken. De cilinder zal in 53 seconden leegstromen. Een directe ontsteking zal tot een fakkel leiden van 23 m lengte en kan secundaire branden veroorzaken. Bij vertraagde ontsteking kan een wolkbrand tot op 30 m (met de windrichting mee) letale slachtoffers veroorzaken en tot op 50 m secundaire branden. Indien zich waterstof ophoopt in afgesloten ruimtes, kan ontsteking tot explosieschade leiden. In Figuur 3.2 is ervan uitgegaan dat een achtste van het vrijgekomen methaan een deflagratie zal veroorzaken als het ontstoken raakt op het moment dat de explosieve wolk haar maximale omvang heeft. Het centrum van de wolk bevindt zich dan (dit is na 9 sec) op 22 m van de incidentlocatie (met de wind mee) en zal in een straal van 11 m voor zeer ernstige schade aan constructies zorgen.

#### Brand

Indien een waterstofcilinder door brand wordt aangestraald en de TPRD opengaat, zal een fakkel ontstaan van 5 m. Deze zal aanhouden (maar wel in lengte afnemen) tot alle waterstofgas uit de tank is verdwenen (170 sec). Indien de TPRD niet opengaat, zal de tank bij 418 bar (de temperatuur is dan 60 °C) falen. Dit resulteert dan in een vuurbal van 12 m doorsnede.

## N.B.

Er vinden momenteel ook ontwikkelingen plaats waarbij waterstof direct als brandstof wordt gebruikt in verbrandingsmotoren.<sup>12</sup> Er wordt hierbij melding gemaakt van tanks (cilinders) waarin 20 kg waterstof wordt opgeslagen bij een druk van 700 bar. Berekeningen met EFFECTS v. 12 tonen aan dat hierdoor de *effectafstanden* zoals hierboven beschreven en weergegeven in Figuur 3.2 met ongeveer een derde zullen toenemen.

## 3.5 Vrachtauto's op CNG

### Uitgangspunten:

CNG staat voor Compressed Natural Gas. Dit is aardgas (methaan) dat onder hoge druk in cilinders wordt opgeslagen. Vrachtauto's die CNG als brandstof gebruiken, beschikken in het algemeen over meerdere cilinders. Bij de berekeningen zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- > Het voertuig beschikt over twee pakketten met ieder 4 tanks (dus 8 drukcilinders in totaal).
- > Elke tank heeft een (water)inhoud van 118 liter en bevat 28 kg puur methaan.
- > De (werk)druk is 200 bar.
- > Elk cilinderpakket beschikt over een TPRD die opengaat bij 110°C of 350 bar, waarna een cilinderpakket helemaal drukloos wordt.
- > De TPRD bevindt zich op 4 m hoogte en zal naar boven afblazen. Via een 9 mm leiding is hij verbonden met het cilinderpakket. De TPRD is verplicht.
- > De diameter van de TPRD-opening is 6 mm.
- > Aansluitingen aan de tank (leidingen, appendages) hebben een doorsnede van 10 mm.

### Scenario's

#### *Rijden op de locatie*

Tijdens het rijden over de locatie vindt er een ernstige aanrijding plaats, bijvoorbeeld doordat de vrachtauto wordt aangereden door een trein of een ander zwaar voertuig. Hierdoor wordt een cilinder losgetrokken van de rest van de installatie. Het is onwaarschijnlijk dat de cilinder zal falen, aangezien deze aan zeer zware testeisen (onder meer vallen van hoogte, impact-tests) moet voldoen.<sup>13</sup> Door het afbreken zal er een gat van 10 mm ontstaan waardoor methaan met grote kracht naar buiten wordt geblazen. Directe ontsteking zal tot een *fakkel* leiden. Indien het gas niet direct ontsteekt, kan een brandbare wolk ontstaan die – bij (vertraagde) ontsteking – een *wolkbrand* zal veroorzaken, of, in geval van opsluiting van (een deel van) het gas, een *explosie*. Deze twee scenario's worden weergegeven in Figuur 3.3. De fysische effecten zijn weergegeven in rode kaders.

#### *Laden en lossen*

Tijdens het laden en lossen stoot een voertuig een leiding lek waardoor deze afbreekt en er een *gat van 10 mm* ontstaat. Hierdoor valt de druk in de leidingen weg en zal door de aanwezige veiligheidssystemen de gastoevoer onmiddellijk worden afgesloten. Indien echter de leiding (of een appendage) afbreekt aan de cilinder, kan de gastoevoer niet meer worden afgesloten en zal dezelfde situatie ontstaan als omschreven in de vorige paragraaf. Het scenario, en dus de gevolgen, voor 'laden en lossen' staan weergegeven in de oranje kaders

<sup>12</sup> <https://www.daf.nl/nl-nl/trucks/alternatieve-brandstoffen-en-aandrijflijnen/waterstof> of <https://www.at-aandrijftechniek.nl/nieuws/cummins-introduceert-concept-truck-met-waterstof-verbrandingsmotor/79121/>.

<sup>13</sup> Zie bijvoorbeeld: ISO 11439: 'Gas cylinders — High pressure cylinders for the on-board storage of natural gas as a fuel for automotive vehicles'.

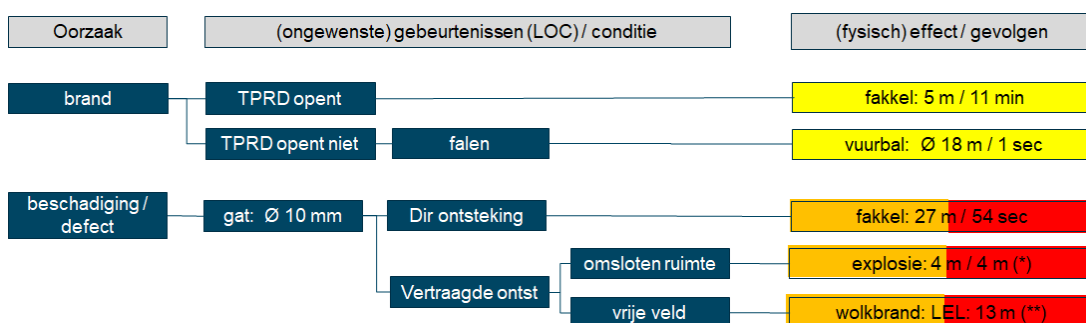
in de gebeurtenissenboom en zijn derhalve gelijk aan die van het scenario 'rijden op de locatie'.

### Parkeren

Een vrachtauto staat geparkeerd en vanden hebben zich toegang weten te verschaffen tot het terrein en de vrachtauto (de banden) in brand gestoken. Hierdoor worden CNG-cilinders aangestraald, waardoor de druk en temperatuur zullen oplopen. Indien een van de setpoints wordt bereikt (110 °C of 350 bar) zal de *TPRD opengaan* (uitstroomdiameter: 6 mm) en zal waterstof ontsnappen, ontsteken en een *fakkel* vormen. Indien de *TPRD faalt*, of de hitte straalt slechts een selectief deel van de cilinder aan (waardoor de TPRD niet wordt geactiveerd), kan de cilinder zodanig worden verzwakt dat deze plotseling openbreekt. In dit geval zal een vuurbal het gevolg zijn. In de gebeurtenissenboom (Figuur 3.3) zijn de fysische effecten zijn weergegeven in gele kaders.

### Gebeurtenissenboom

In Figuur 3.3 is de gebeurtenissenboom weergegeven voor de incidenten met CNG. Bij de effecten is de effectafstand vanaf de incidentlocatie weergegeven (zie de criteria in paragraaf 2.2.2) en (gescheiden door een schuine streep) de tijdsduur, met uitzondering van de explosie. Voor de explosie geldt de weergegeven effectafstand vanaf het centrum van de explosieve wolk. Achter de schuine streep is in dit geval de afstand van centrum van de explosieve wolk tot de incidentlocatie weergegeven, op het moment van de explosie.



(\*) straal 300 mbar drukcontour vanaf explosiecentrum / afstand explosiecentrum met de wind mee vanaf incidentlocatie

(\*\*) schadegebied = omvang wolkbrand.

**Figuur 3.3 Gebeurtenissenboom voor incidenten met een pakket van 118 liter CNG-cilinders**

### Beschadiging / defect

Afbreken van bijvoorbeeld een appendage of leiding van de tank zal een gat van 10 mm doorsnede veroorzaken. Ook een zware aanrijding zal deze schade veroorzaken. De cilinder zal in 54 seconden leegstromen. Een directe ontsteking zal tot een fakkel leiden van 27 m lengte en kan secundaire branden veroorzaken. Bij vertraagde ontsteking kan een wolkbrand tot op 13 m (met de windrichting mee) letale slachtoffers en secundaire branden veroorzaken. Indien zich methaan ophoopt in afgesloten ruimtes, kan ontsteking tot explosieschade leiden. In Figuur 3.3 is ervan uitgegaan dat een achtste van het vrijgekomen methaan een deflagratie zal veroorzaken als het ontstoken raakt op het moment dat de explosieve wolk haar maximale omvang heeft. Het centrum van de wolk bevindt zich dan (dit is na 9 sec) op 4 m van de incidentlocatie (met de wind mee) en zal in een straal van 4 m voor zeer ernstige schade aan constructies zorgen.

## Brand

Indien een methaan drukcilinder door brand wordt aangestraald en de TPRD opengaat, zal een fakkel ontstaan van 5 m. Deze zal aanhouden (maar wel in lengte afnemen) tot alle methaan uit het cilinderpakket is verdwenen dat met de TPRD is verbonden (4 cilinders). Dit duurt circa 11 minuten. Indien de TPRD niet open gaat, zullen de cilinders bij 350 bar (de temperatuur is dan circa 100 °C) falen. Dit resulteert dan in een (kortstondige) vuurbal van 18 m doorsnede.

## 3.6 Batterij-elektrisch aangedreven vrachtauto's

### Uitgangspunten

Tijdens het gebruik van Lithium-ion batterijen vinden voortdurend elektrochemische reacties plaats, waardoor energie vrijkomt (ontladen) of wordt opgenomen (laden). Het is van belang dat de batterijcel tijdens deze elektrochemische reacties stabiel blijft. Daartoe wordt onder andere tijdens de eerste laadcyclus een bescherm laagje (Solid Electrolyte Interphase of SEI) op de anode (minpool) in de batterijcel gevormd. Indien dit bescherm laagje beschadigd raakt, kunnen ongewenste chemische reacties het gewone proces verdringen. Beschadiging kan optreden door elektrisch, mechanisch of thermisch misbruik. Voorbeelden hiervan zijn overladen, doorboring en oververhitting. Daarnaast kunnen menselijke fouten tijdens installatie en onderhoud tot beschadiging leiden, alsook veroudering of fabricagefouten. De kans op falen van een batterijpakket is verder ook afhankelijk van de kwaliteit van de batterijcellen, het type, het aantal batterijcellen in een pakket en van het batterijmanagementsysteem (BMS).

Vanaf zo'n 60 °C genereren exotherme reacties toxische en brandbare gassen. Hierdoor raakt het inwendige van de batterij (nog verder) beschadigd en warmt de batterijcel op.<sup>14</sup> Zodra een temperatuur van rond de 200 °C wordt bereikt, afhankelijk van het subtype, gaan de exotherme reacties en hitteontwikkeling zich zodanig versterken dat de situatie catastrofaal wordt. Vanaf dit kantelpunt is er sprake van een *thermal runaway*. In essentie houdt het ongewenste proces vanaf dat moment zichzelf in stand en nemen de ongewenste reacties (met hittevorming en drukopbouw door de gevormde gassen) gestaag toe. De verhitte batterijcel breekt als gevolg hiervan open, waardoor de gevormde brandbare en toxische gassen vrijkomen. Het openbreken van batterijcellen maakt een ploffend geluid en het vrijkomen van de gassen een sissend geluid. De snelheid waarmee de gassen vrijkomen, is vergelijkbaar met het ontsnappen van gas uit een druktank. In aanvulling hierop zal verdamping van het elektrolyt tot meer gasvorming leiden.<sup>15</sup>

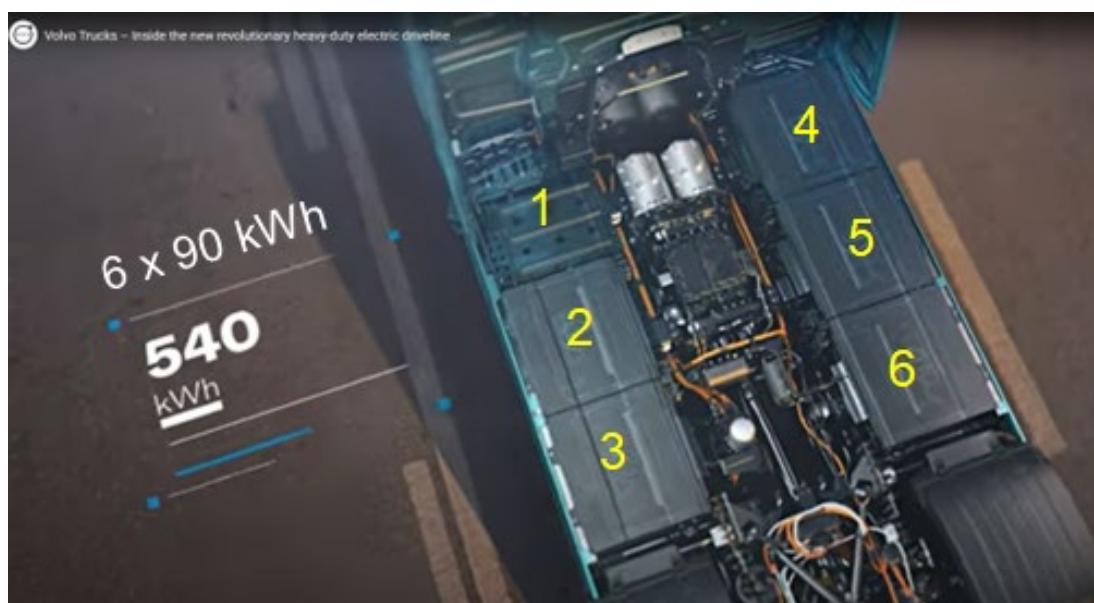
Door thermische propagatie (aanstraling van naburige batterijcellen zal het proces zich uitbreiden naar andere batterijcellen en daaropvolgend batterijmodules, waardoor deze opeenvolgend ook in thermal runaway raken. Dit proces kan lange tijd (vele uren) duren. Zodra meerdere batterijmodules in thermal runaway zijn en een brand veroorzaken, blijkt de brand in de praktijk doorgaans nauwelijks meer te blussen.

<sup>14</sup> Wu, B. (2021). Lecture by Billy Wu, Imperial College London. [Battery fires! What happens when batteries are abused?](#)

<sup>15</sup> Jin, Y., Zhao, Z., Miao, S., Wang, Q., Sun, L., & Lu, H. (2021). Explosion hazards study of grid-scale lithium-ion battery energy storage station. *Journal of Energy Storage*, 42(August), 102987. <https://doi.org/10.1016/j.est.2021.102987>.

Bij de berekeningen zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- > Er zijn 6 batterijpakketten aanwezig, elk met een energie-inhoud van 90 kWh: 3 links tussen wielen en 3 rechts tussen wielen (zie Figuur 3-4);
- > Bij brand ontstaat:
  - 55 liter (toxisch) HF/kWh<sup>16</sup>; 50% hiervan verspreid zich; de rest adsorbeert of reageert in de omgeving (gebaseerd op RIVM onderzoek<sup>17</sup>)
  - 20,5 mol brandbaar gas/kWh<sup>18</sup>; er wordt aangenomen dat dit allemaal waterstof is.



**Figuur 3-4 Positie batterijpakketten in (Volvo) vrachtwagen<sup>19</sup>**

N.B. De LBW-waardes voor 1 minuut en 30 minuten blootstelling aan HF zijn berekend op basis van de RIVM-waardes<sup>20</sup> voor 1 uur en 10 minuten blootstelling, gebruik makend van de formule:

$$C^n t = \text{constant}$$

Hier is  $C$  de concentratie van de stof en  $t$  de blootstellingstijd. Dit leidt voor HF tot:

parameter	waarde
n	1,26
LBW <sub>1 uur</sub> (RIVM)	36 mg/m <sup>3</sup>
LBW <sub>30 minuten</sub>	63 mg/m <sup>3</sup>
LBW <sub>10 minuten</sub> (RIVM)	150 mg/m <sup>3</sup>
LBW <sub>1 minuut</sub>	938 mg/m <sup>3</sup>

<sup>16</sup> Larsson, F., Andersson, P., Blomqvist, P. et al. (2017). [Toxic fluoride gas emissions from lithium-ion battery fires. Sci Rep 7, 10018.](#)

<sup>17</sup> Uit onderzoek van RIVM (<https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/2021-0019.pdf>) blijkt dat na 10 tot 20 minuten meer dan de helft van het fluorwaterstof uit de rook is verdwenen, doordat het zich bindt aan andere stoffen en rookdeeltjes. Hierdoor zal de effectafstand afnemen.

<sup>18</sup> Berekend op basis van fig 6 (LCO/NMC) in: Andrey W. Golubkov et al. (2014). [Thermal-runaway experiments on consumer Li-ion batteries with metal-oxide and olivin-type cathodes. RSC Advances, 7.](#)

<sup>19</sup> Informatie betreft Volvo. YouTube video op <https://www.volvotrucks.nl/nl-nl/trucks/trucks/volvo-fh/volvo-fh-electric.html>.

<sup>20</sup> [fluorwaterstof | Risico's van stoffen \(rivm.nl\)](#)

## Scenario's

### *Rijden op de locatie:*

Tijdens het rijden over de locatie vindt er een ernstige aanrijding plaats, bijvoorbeeld doordat de vrachtauto wordt aangereden door een trein of een ander zwaar voertuig. Hierdoor worden alle batterijpakketten zo zwaar beschadigd dat ze volledig in brand vliegen en binnen 1 minuut alle gassen uitstoten. Dit houdt in dat in 1 minuut vrijkomen:

- > 16,3 m<sup>3</sup> HF (= 3 x 90 kWh x 55 liter/kWh /1000 liter/m<sup>3</sup>). Dit is 14,9 kg HF. De helft hiervan verspreidt zich (7,5 kg).
- > 128 m<sup>3</sup> brandbaar gas (= 3 x 90 kWh x 20.5 mol/kWh x 0.023 m<sup>3</sup>/mol). In geval van waterstof is dit 11,2 kg.

Dit scenario is hieronder weergegeven in de gebeurtenissenboom (Figuur 3.4). De fysische effecten zijn hierin weergegeven in rode kaders.

### *Laden en lossen:*

Tijdens het laden en lossen beschadigt een voertuig aan één zijde van de vrachtauto twee batterijpakketten die daardoor in een thermal runaway terechtkomen. Een cascade-effect leidt ertoe dat alle gassen uit deze 2 pakketten in circa 10 minuten vrijkomen. Dit houdt in dat in 10 minuten vrijkomen:

- > 3,6 m<sup>3</sup> HF (= 2 x 90 kWh x 55 liter/kWh /1000 liter/m<sup>3</sup>). Dit is 9.9 kg HF. De helft hiervan verspreidt zich (5 kg).
- > 84,9 m<sup>3</sup> brandbaar gas (= 2 x 90 kWh x 20.5 mol/kWh x 0.023 m<sup>3</sup>/mol). In geval van waterstof is dit 7,5 kg.

Dit scenario is hieronder weergegeven in de gebeurtenissenboom (Figuur 3.4). De fysische effecten zijn hierin weergegeven in oranje kaders.

### *Parkeren:*

Een vrachtauto staat geparkeerd en een van de batterijpakketten is door veroudering en langzame aantasting door bijvoorbeeld (zout) water niet meer in optimale staat. Hierdoor treden in sommige cellen ongewenste reacties op waardoor de temperatuur gaat oplopen en er langzaam maar zeker gasvorming begint op te treden. Ook aangrenzende cellen en vervolgens het aangrenzende pakket worden dan warm en komen in dezelfde toestand terecht. Dit leidt er toe dat voortdurend kleine hoeveelheden gas ontsnappen. Na 1 uur zijn dan twee naast elkaar gelegen pakketten 'leeg' en is alle gas ontsnapt.

Dit houdt in dat in 1 uur vrijkomen:

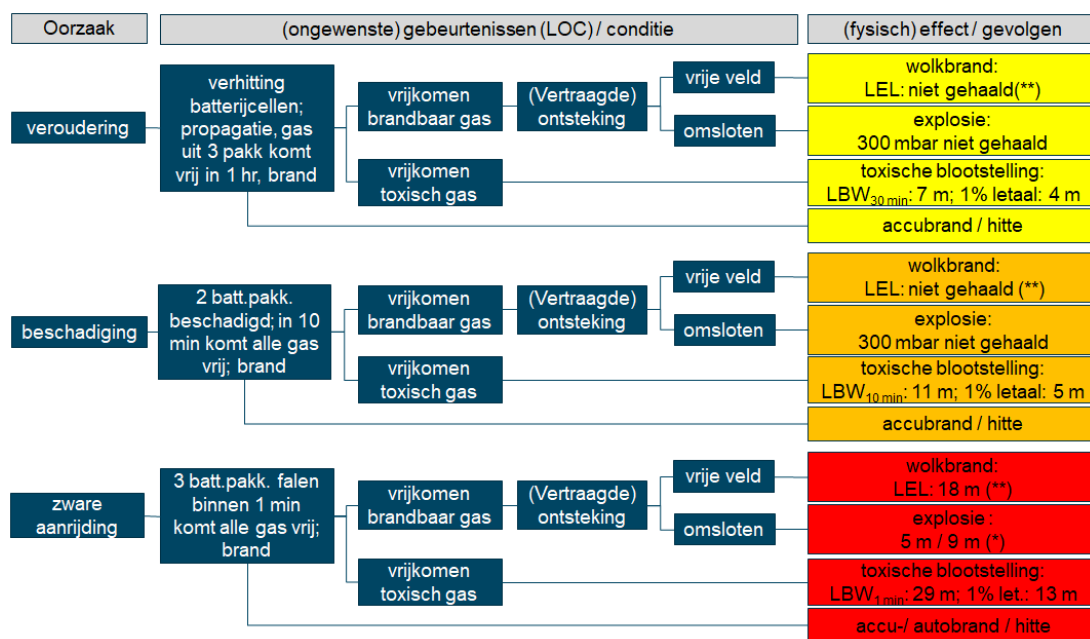
- > 16,3 m<sup>3</sup> HF (= 3 x 90 kWh x 55 liter/kWh /1000 liter/m<sup>3</sup>). Dit is 14,9 kg HF. De helft hiervan verspreidt zich (7,5 kg).
- > 128 m<sup>3</sup> brandbaar gas (= 3 x 90 kWh x 20.5 mol/kWh x 0.023 m<sup>3</sup>/mol). In geval van waterstof is dit 11,2 kg.

In Figuur 3.4 zijn de fysische effecten weergegeven in gele kaders.

## Gebeurtenissenboom

In Figuur 3.4 is de gebeurtenissenboom weergegeven voor de incidenten met batterijpakketten van een BEV. Bij de effecten is de effectafstand vanaf de incidentlocatie weergegeven (zie de criteria in paragraaf 2.2.2). Voor de explosie geldt de weergegeven effectafstand vanaf het centrum van de explosieve wolk. Achter de schuine streep is de afstand van centrum van de explosieve wolk tot de incidentlocatie weergegeven, op het moment van de explosie.





(\*) straal 300 mbar drukcontour vanaf explosiecentrum / afstand explosiecentrum met de wind mee vanaf incidentlocatie  
 (\*\*) schadegebied = omvang wolkbrand.

**Figuur 3.5 Gebeurtenissenboom voor incidenten met batterijpakketten van BEV**

Alleen bij een zware aanrijding waarbij grote hoeveelheden gassen in korte tijd vrijkomen, zal er een brandbare wolk ontstaan die schade kan aanrichten bij ontsteking. Bij vertraagde ontsteking kan een wolkbrand tot op 18 m (met de windrichting mee) letale slachtoffers en secundaire branden veroorzaken. Bij ophoping in afgesloten ruimtes kan ontsteking tot explosieschade leiden. In Figuur 3.4 is ervan uitgegaan dat een achtste van het vrijgekomen gas een deflagratie zal veroorzaken als het wordt ontstoken op het moment dat de explosieve wolk haar maximale omvang heeft. Het centrum van de wolk bevindt zich dan (dit is na 7 sec) op 9 m van de incidentlocatie (met de wind mee) en zal in een straal van 5 m voor zeer ernstige schade aan constructies zorgen. De toxische effecten kunnen verder reiken. Er vanuit gaande dat de blootstellingsduur wordt begrensd door de duur van het ongeval (met een maximum van 30 minuten) ligt bij een zware aanrijding de LBW op 30 m.<sup>21</sup> Bij het incident waarbij HF slechts langzaam vrijkomt (lekken als gevolg van veroudering op het parkeerterrein) is de LBW nog 7 m.

### 3.7 Overzicht

In Tabel 3.1 zijn de effecten van de verschillende WCI's samengevat. Hieruit blijkt dat de (directe) effecten van incidenten met AAVs verder kunnen reiken dan met traditionele dieselvrachtauto's en er bovendien behalve met brandgevaar rekening moet worden gehouden met toxische blootstelling.

<sup>21</sup> Deze waarde geldt voor D5 en een blootstellingstijd van 1 min. Bij ongunstigere atmosferische condities kunnen de effecten verder reiken. Bij F1,5 bijvoorbeeld ligt de LBW op zo'n 180 m. Indien de wolk een niet geventileerde ruimte binnendringt en daar blijft "hangen" kan langdurigere blootstelling van personen plaatsvinden. Uitgaande van 30 minuten blootstelling geldt dan een afstand van 170 m voor D5 en 650 m voor F1,5.

**Tabel 3.1** Overzicht van de grootste effectafstanden van de verschillende WCI's

	Rijden	Laden / lossen	Parkeren
Diesel (referentie)	Openscheuren tank → <b>letaal letsel / plasbrand tot 18 m</b>		
LNG	Aanrijding: openscheuren tank of groot gat → <b>schade / fakkelbrand tot 96 m</b>	Afbreken leiding of groot gat → <b>schade / fakkelbrand tot 96 m</b>	Opwarmen: brand door vandalen: warme BLEVE → <b>schade / vuurbal tot 31 m</b>
FCEV (H <sub>2</sub> )	Aanrijding: cilinder breekt los: afbreken leiding → <b>schade / wolkbrand tot 50 m</b>	Afbreken leiding → <b>schade / wolkbrand tot 50 m</b>	Brand door vandalen: TPRD opent niet: falen – vuurbal → <b>schade / vuurbal tot 12 m</b>
CNG	Aanrijding: cilinder breekt los: afbreken leiding → <b>schade / fakkelbrand tot 27 m</b>	Afbreken leiding → <b>schade / fakkelbrand tot 27 m</b>	Brand door vandalen: TPRD opent niet: falen – vuurbal → <b>schade / vuurbal tot 18 m</b>
BEV	Aanrijding tegen accu: instantane brand → <b>schade / wolkbrand tot 18 m</b> → <b>gezondheidseffecten LBW: 30 m</b>	Beschadiging accu: thermal runaway → <b>schade / accubrand</b> → <b>gezondheidseffecten LBW: 11 m</b>	Slechte conditie accu: oververhitting accu - propagatie hitte – thermal runaway → <b>schade / accubrand</b> → <b>gezondheidseffecten LBW: 7 m</b>



# 4 Maatregelen

## 4.1 Algemeen

Een breed gedragen constatering tijdens de workshop was dat toelating van AAV's op (petrochemische) bedrijfsterreinen effect zal hebben op het veiligheidsbeheerssysteem (VBS). Het betreft met name de volgende elementen uit het VBS:

- > emergency response: alarmering, noodafsluiters (ESD), ontruiming, brandbestrijding
- > werkvergunningen, classified areas, verkeersregels, rij-instructies (bijvoorbeeld heftrucks)
- > eisen aan het voertuig (ADR, R110, maximum druk tank, toestand batterij: wel / niet opladen elektrische voertuigen, beschadiging)
- > mogelijk conflicten met (nu verplichte) activiteiten onder een afdak / binnen
- > parkeerlocatie (binnen / buiten, toegang), maximale parkeertijd.

De mate waarin het VBS moet worden aangepast zal afhangen van de ervaring die bedrijven hebben met (beheerssystemen of regelgeving ten aanzien van risico's van) de gevaarlijke stoffen die bij AAV's kunnen vrijkomen dan wel met hiermee vergelijkbare stoffen.<sup>22</sup>

## 4.2 H<sub>2</sub>, CNG en LNG

De incidenten die zich kunnen voordoen met door aardgas of waterstof aangedreven vrachtauto's vertonen veel overeenkomsten. In alle gevallen is de brandstof opgeslagen in druktanks. Als gas ontsnapt als gevolg van een lek door beschadiging of een defect kan bij directe ontsteking een fakkel ontstaan. Mocht het gas niet direct ontsteken, dan kan zich in de omgeving een brandbare wolk vormen die bij (vertraagde) ontsteking een wolkbrand kan veroorzaken of zelfs een explosie als het brandbare gas zich heeft kunnen ophopen in een (meer of minder afgesloten) ruimte. Bij H<sub>2</sub> en CNG kan in geval van brand de TPRD opengaan, met een (omhoog gerichte, maar mogelijk enigszins door de wind afgebogen) fakkel tot gevolg. Dit is vooral van belang indien de vrachtauto zich binnen of vlak bij gebouwen of brandbare (hoge) opslagen bevindt. Mocht de TPRD weigeren, dan kan een cilinder uiteen barsten met als gevolg een vuurbal die secundaire branden kan veroorzaken.

Indien het tot vloeistof gekoelde LNG plotseling vrijkomt door falen van de tank, kan een BLEVE ontstaan door het instantaan verdampen van een deel van de vloeistof en ontsteken van de wolk. De vloeistof die op de grond terechtkomt, kan bij ontsteking een plasbrand veroorzaken. Ook zal de tank waarin zich het LNG bevindt langzaam opwarmen, waardoor

<sup>22</sup> In fase 3 van de studie zullen maatregelen worden gekoppeld aan de [zeven punten](#) (hoofdstukken) uit het veiligheidsbeheerssysteem. Deze zeven punten zijn:

1. Organisatie en personeel
2. Identificatie en beoordeling van de gevaren van zware ongevallen
3. Controle op de exploitatie
4. Management of change
5. Planning voor noodsituaties
6. Toezicht op de prestaties
7. Periodieke beoordeling van het VBS.

op een gegeven moment het veiligheidsventiel open kan gaan, met dezelfde gevolgen als een lek (fakkels, wolkbrand of explosie).

Maatregelen om de risico's te beheersen kunnen gericht zijn op het voorkomen van de ongewenste gebeurtenis (preventieve maatregelen) en op het beperken van de schadelijke gevolgen indien een incident heeft plaatsgevonden (mitigerend).

Voor de incidentscenario's die betrekking hebben op waterstof en aardgas kunnen de volgende maatregelen worden getroffen:

### **Maatregelen ter voorkoming van het ongewenst vrijkomen van H<sub>2</sub>, CNG of LNG.**

Alvorens toegelaten te worden op een locatie is het belangrijk te kunnen vaststellen dat de:

- > vrachtauto op LNG rijdt (door correcte labeling (ISO17840-4)).
- > vrachtauto is ontworpen en gebouwd volgens alle voor deze brandstof gangbare regels en dat, waar vereist, onderdelen van de installatie zijn gecertificeerd.<sup>23</sup>
- > chauffeur / operator kennis heeft van de gevaren / risico's.
- > vervoerde goederen door een op H<sub>2</sub>, CNG of LNG rijdende vrachtauto mogen worden vervoerd (ADR).<sup>24</sup>
- > installatietanks niet zijn beschadigd of dat eventuele beschadigingen vakkundig zijn hersteld.

Eenmaal *rijdend op de locatie* moet beschadiging van de tank zoveel mogelijk worden voorkomen door:

- > duidelijke bewegwijzering waardoor het voor chauffeurs helder is waar ze wel waar ze niet mogen rijden.
- > het minimaliseren van kruisingen met ander (zwaar) verkeer of treinen, onder meer door het toepassen van verkeerscirculatie.
- > het hanteren van een maximum snelheid.
- > het minimaliseren van (uitstekende) obstructies op en nabij de route zoals paaltjes, muurtjes, (te openen) putdeksels, zachte bermen, boomstronken et cetera.
- > het aanbrengen van vangrails daar waar een vrachtauto van de weg kan raken of naar beneden kan vallen.

Voor *laden en lossen* zijn de omgeving en de gehanteerde hulpmiddelen van belang.

- > Zorg dat er geen andere activiteiten plaatsvinden nabij de laad- en loslocatie, bijvoorbeeld onderhoudswerkzaamheden, laden en lossen van andere voertuigen.
- > Voorkom dat een voor het laden en lossen gebruikt voertuig of middel de brandstoftank kan raken. Dit kan door bijvoorbeeld een afscherming voor de tank te plaatsen, instructies om de heftruckslepels laag te houden, of te eisen dat rijdende heftrucks afgeschermdde lepels moeten hebben.
- > Om ophoping van gassen (en een explosie) te voorkomen kan gasdetectie worden aangebracht of kunnen de activiteiten worden zoveel mogelijk in de open lucht worden uitgevoerd. Met dit laatste kan ook branduitbreiding door een (verticale) fakkel of

<sup>23</sup> Zie bijvoorbeeld deel 1 van deze studie Veiligheid alternatief aangedreven voertuigen op petrochemische locaties – een literatuurverkenning (fase 1).

<sup>24</sup> Informatie van EvoFenedex: In versie 2023 van het ADR worden voor het eerst elektrisch aangedreven AT-voertuigen toegestaan. Mogelijk gaat dit in de editie 2025 ook voor FL-voertuigen (tankwagens voor brandbare vloeistoffen) toegestaan worden en mogelijk ook voor door waterstof aangedreven tankwagens. Die moeten dan wel aan de keuringsvoorschriften voldoen die in het ADR worden opgenomen. Het vervoer van gevaarlijke stoffen in colli door alternatief aangedreven voertuigen was altijd al mogelijk, uitgezonderd ontplofbare stoffen die met een EXII/III voertuig vervoerd moeten worden.

ophoping van hete rookgassen worden voorkomen, evenals verstikking of verbranding van personen.

Ten aanzien van *parkeren* is het volgende van belang:

- > Zorg ervoor dat gedurende de tijd dat een LNG-vrachtauto op de parkeerplaats staat de druk niet zo hoog wordt dat het veiligheidsventiel (PRV) opengaat door de toegestane tijd en druk te limiteren (bijvoorbeeld x uur en een maximale druk van y bar).
- > Parkeer buiten en op voldoende afstand van ontstekingsbronnen (flares bijvoorbeeld), zodat eventueel afgeblazen gas vrij weg kan.
- > Voorkom ongewenste toegang in verband met vandalisme.

### **Gevolgbeperkende maatregelen**

De gevolgen van incidenten met H<sub>2</sub>-, CNG- of LNG-vrachtauto's kunnen als volgt worden beperkt:

- > Voor elk van de activiteiten geldt dat afstand houden tot de bron zinvol is. Beheersing van ontstekingsbronnen (via ATEX-regulering) binnen de afstand tot waarop een brandbare wolk aanwezig zou kunnen zijn is een effectieve maatregel om een wolkbrand of explosie voorkomen. Een fakkel ten gevolge van penetratie zal zeer waarschijnlijk in de richting van het penetrerende voorwerp wijzen. In geval dit bijvoorbeeld een heftruck is, zou hierop een bescherming aangebracht kunnen worden. Voor een verticale fakkel geldt: afstand houden tot nabijgelegen gebouwen of brandbare opslagen.
- > Indien laden en lossen binnen plaatsvinden, kan gasdetectie worden aangebracht nabij (vlak boven) de installatie. Dit is alleen zinvol bij kleine lekken (kleiner dan de hier uitgewerkte scenario's) als er voldoende tijd is voor alarmering, evacuatie en ventilatie / ontluchting, alsook voor een analyse van de oorzaak (checken van lekken, een beschadiging van de installatie).

Alle in het vorige hoofdstuk uitgewerkte incidenten met waterstof en aardgas duren hooguit enkele minuten. Dit betekent dat de hulpverlening zich met name zal richten op het bestrijden van secundaire effecten (branden) en de verzorging van eventuele slachtoffers. Maatregelen die de directe gevolgen van deze incidenten kunnen beperken, moeten dan ook op voorhand aanwezig zijn.<sup>25</sup>

## **4.3 BEV**

Bij elektrisch aangedreven vrachtauto's is een thermal runaway van het batterijpakket het dominante (extra) risico in vergelijking met dieselvrachtauto's. Zoals vermeld, is een thermal runaway een gevolg van oververhitting van het batterijpakket. Bij een zwaar ongeval kan dit tot instantaan falen leiden met brand, steekvlammen en een zeer grote gasuitstoot tot gevolg. Een externe brand kan dit proces in werking zetten, maar het zijn de interne processen die het meest risicovol zijn. Een thermal runaway speelt zich af in het binnenste van de batterijpakketten en wordt in het algemeen pas zichtbaar als vuur en/of rook uit de batterij komt of komen. Alleen met data die de toestand van de batterijen of batterijpakketten weergeven is het mogelijk om dit proces te volgen en te beheersen. Deze data worden gemeten en opgeslagen in het Battery Management System (BMS).

<sup>25</sup> Zie bijvoorbeeld: [Incident management LNG fuel tanks](#).

### **Maatregelen ter voorkoming van een thermal runaway**

- > Een goed werkend BMS is de belangrijkste preventieve voorziening ter voorkoming van een thermal runaway.
- > Op basis hiervan (of in aanvulling hierop) kan een operator van een chemische locatie ook eisen stellen aan toestand van een batterijpakket alvorens dit op de locatie toe te laten. Denk hierbij aan
  - leeftijd
  - aantal ladings- en ontladingscycli
  - onderhoudsgeschiedenis
  - log van beschadigingen en reparaties.

Verder zijn veel van de in de vorige paragraaf genoemde (organisatorische) maatregelen ook hier van belang:

- > De vrachtauto is correcte gelabeld (ISO17840-4)).
- > Ontwerp en bouw zijn volgens standaarden uitgevoerd met waar mogelijk gecertificeerde onderdelen.
- > De chauffeur / operator heeft kennis heeft van de gevaren en risico's.
- > De goederen mogen door een BEV worden vervoerd.
- > Er zijn duidelijke bewegwijzering, verkeerscirculatie en een maximum snelheid.
- > Er zijn geen obstructies die het batterijpakket kunnen beschadigen.
- > Voorkom dat een vrachtauto van de weg kan raken of naar beneden kan vallen.
- > Bij laden en lossen: minimaliseer andere activiteiten die batterijen kunnen beschadigen.
- > Plaats bescherming voor de batterijen zodat deze tijdens laden en lossen niet beschadigd kunnen worden.
- > Voorkom ongewenste toegang tot geparkeerde voertuigen in verband met vandalisme en diefstal.

### **Maatregelen om de gevolgen van een thermal runaway te beperken**

Kenmerk van een thermal runaway is dat de reactie zich binnen in het batterijpakket uitbreidt van batterijcel naar batterijcel en van module naar module. Daarom kan het lijken alsof een batterijbrand geblust is, terwijl binnenin de hitte- en gasgenererende reacties doorgaan. Na enige tijd kan dan de brand weer opvlammen. Dit betekent dat gedurende zeer lange tijd bluswater aanwezig moet zijn om een batterijbrand volledig onder controle te krijgen. Bovendien zijn relatief grote hoeveelheden water noodzakelijk, omdat de batterijen goed zijn afgeschermd tegen (regen)water en beschadiging, waardoor koeling vrij inefficiënt is. Het is van belang dat de eigenaar / operator hiervan op de hoogte is en dat dit met de brandweer wordt afgestemd.

# 5 Samenvatting en conclusies

Deze studie vormt deel 2 van een onderzoek naar de specifieke risico's op petrochemische locaties<sup>26</sup> die kunnen ontstaan indien op deze locaties traditionele, door diesel aangedreven, vrachtauto's worden vervangen door vrachtauto's die door duurzamere alternatieven van energie worden voorzien. Door (onder meer) in toenemende mate gebruik te maken van alternatief aangedreven vrachtauto's wenst de Nederlandse petrochemische industrie bij te dragen aan de verduurzaming van de maatschappij. In deze studie worden onder alternatief aangedreven vrachtauto's verstaan vrachtauto's die als brandstof gebruikmaken van aardgas (LNG of CNG) of waterstof (door middel van brandstofcellen), of die elektrisch worden aangedreven. Deze vervanging mag echter niet ten koste gaan van de veiligheid op en rond de locaties. Daarom heeft de petrochemische industrie het NIPV gevraagd om onderzoek te doen naar de risico's die samenhangen met de aanwezigheid van deze alternatief aangedreven vrachtauto's op petrochemische bedrijfsterreinen.

Het onderzoek omvat 3 fasen. Uit fase 1 van deze studie (een literatuurverkenning) bleek dat noch in Nederland noch elders binnen de EU of in de Verenigde Staten regelgeving bestaat ten aanzien van het gebruik van alternatief aangedreven voertuigen (waaronder vrachtauto's) op specifieke (petrochemische) locaties.

In fase 2 van dit onderzoek zijn scenario's opgesteld om een beeld te vormen van de reikwijdte van mogelijke incidenten met vrachtauto's die voor hun aandrijving gebruikmaken van bovengenoemde alternatieve aandrijvingsvormen. Voor drie (gangbare) activiteiten op (petrochemische) bedrijfslocaties, te weten rijden, laden / lossen en parkeren, is per aandrijfvorm (LNG, CNG, H<sub>2</sub>, batterij-elektrisch) een zogenaamd Worst Credible Incidentscenario (WCI) uitgewerkt, dat wil zeggen een scenario dat tot forse schade-effecten kan leiden, maar ondertussen nog wel (door deskundigen) als geloofwaardig wordt beschouwd. Hierbij is gebruikgemaakt van de ervaringen, methodieken en criteria die worden gehanteerd bij het uitvoeren van kwantitatieve risicoberekeningen voor externe veiligheid van bedrijven waar grote hoeveelheden gevaarlijke stoffen aanwezig kunnen zijn. Dit leverde inzicht op in de fenomenen (overdruk van explosies, hitte van brand, blootstelling aan toxische stoffen) en de reikwijdte hiervan.

In Tabel 5.1 op de volgende pagina zijn de resultaten samengevat. Deze zijn berekend met het softwareprogramma EFFECTS versie 12. Ter vergelijking is het effect van een plasbrand na het leeglopen van een dieseltank weergegeven.

Elke cel in de tabel bevat een incidentscenario met daarbij de afstand tot waarop de directe (ongewenste) effecten kunnen reiken. Wat hiervan de verdere gevolgen zijn, is afhankelijk van de omgeving waarin het incident zich afspeelt. Dit zal per locatie verschillen. Ook de oorzaak van het incident is voor een belangrijk deel afhankelijk van lokale omstandigheden en zal dus per locatie moeten worden bepaald. In fase 3 van dit onderzoek zullen hiertoe enkele pilotstudies worden uitgevoerd.

---

<sup>26</sup> Onder petrochemische locaties worden verstaan locaties, (haven)terminals en industriële clusters waar gewerkt wordt met significante hoeveelheden gevaarlijke stoffen (productie, opslag, transport), waaronder BRZO- bedrijven.

**Tabel 5.1** Overzicht van de grootste effectafstanden van de verschillende WCI's

	Rijden	Laden / lossen	Parkeren
Diesel (referentie)	Openscheuren tank → <b>letaal letsel / plasbrand tot 18 m</b>		
LNG	Aanrijding: openscheuren tank of groot gat → <b>schade / fakkelbrand tot 96 m</b>	Afbreken leiding of groot gat → <b>schade / fakkelbrand tot 96 m</b>	Opwarmen: brand door vandalen: warme BLEVE → <b>schade / vuurbal tot 31 m</b>
FCEV (H <sub>2</sub> )	Aanrijding: cilinder breekt los: afbreken leiding → <b>schade / wolkbrand tot 50 m</b>	Afbreken leiding → <b>schade / wolkbrand tot 50 m</b>	Brand door vandalen: TPRD opent niet: falen – vuurbal → <b>schade / vuurbal tot 12 m</b>
CNG	Aanrijding: cilinder breekt los: afbreken leiding → <b>schade / fakkelbrand tot 27 m</b>	Afbreken leiding → <b>schade / fakkelbrand tot 27 m</b>	Brand door vandalen: TPRD opent niet: falen – vuurbal → <b>schade / vuurbal tot 18 m</b>
BEV	Aanrijding tegen accu: instantane brand → <b>schade / wolkbrand tot 18 m</b> → <b>gezondheidseffecten LBW: 30 m</b>	Beschadiging accu: thermal runaway → <b>schade / accubrand</b> → <b>gezondheidseffecten LBW: 11 m</b>	Slechte conditie accu: oververhitting accu - propagatie hitte – thermal runaway → <b>schade / accubrand</b> → <b>gezondheidseffecten LBW: 7 m</b>

Maatregelen om de risico's te beheersen kunnen gericht zijn op het voorkomen van de ongewenste gebeurtenis (preventieve maatregelen) en op het beperken van de schadelijke gevolgen indien een incident heeft plaatsgevonden (mitigerende maatregelen).

Maatregelen die kunnen worden genomen (of omstandigheden waarvan men zich moet vergewissen) zijn:

**1. Voor alle alternatieve aandrijfvormen (waterstof, aardgas, elektrisch):**

- > De vrachtauto is correct gelabeld.
- > Ontwerp en bouw van vrachtauto zijn volgens standaarden uitgevoerd met waar mogelijk gecertificeerde onderdelen.
- > De tanks / batterijpakketten zijn niet beschadigd.
- > De chauffeur / operator heeft kennis van de gevaren en risico's.
- > De goederen mogen door van deze aandrijflijn voorziene vrachtauto's worden vervoerd.
- > Er zijn duidelijke bewegwijzering, verkeerscirculatie en een maximum snelheid.
- > Er zijn geen obstructies die de tank of batterij kunnen beschadigen.
- > Voorkom dat een vrachtauto van de weg kan raken.
- > Minimaliseer bij laden en lossen andere activiteiten die tanks of batterijen kunnen beschadigen.

- > Plaats bescherming voor de batterijen of tanks, zodat deze tijdens laden en lossen niet beschadigd kunnen worden.
- > Zorg voor evacuatie- en ontsnappingsroutes, ook voor hulpdiensten.
- > Voorkom ongewenste toegang tot geparkeerde voertuigen in verband met vandalisme diefstal.

## **2. Specifiek voor waterstof en aardgas:**

- > Voorkom ophoping van gassen, bijvoorbeeld door (vroegtijdige) gasdetectie of werk in de open lucht. Dit laatste voorkomt ook branduitbreiding of verstikking.
- > Voorkom dat de druk in een LNG-tank (op een parkeerplaats) zover kan oplopen dat het veiligheidsventiel (PRV) opengaat.
- > Parkeer buiten en op voldoende afstand van ontstekingsbronnen.
- > Houd voldoende afstand tot de bron (AAV) of breng bescherming aan tussen bron en blootgesteld voorwerp.

## **3. Specifiek voor elektrische vrachtauto's (batterijen):**

- > Zorg voor een goed werkend BMS ter voorkoming van een thermal runaway.
- > Stel specifieke eisen aan de toestand van een batterijpakket alvorens dit op de locatie toe te laten, bijvoorbeeld ten aanzien van leeftijd, aantal ladings- en ontladingscycli, onderhoudsgeschiedenis en log van beschadigingen en reparaties.
- > Zorg voor veel water en de mogelijkheid voor langdurig blussen (afstemmen met brandweer).

Een algemene constatering tijdens de workshop was dat toelating van AAV's op (petrochemische) bedrijfsterreinen effect zal hebben op het veiligheidsbeheerssysteem (VBS). De mate waarin het VBS moet worden aangepast zal afhangen van de ervaring die bedrijven hebben met (beheerssystemen of regelgeving ten aanzien van risico's van) de gevaarlijke stoffen die bij AAV's kunnen vrijkomen, dan wel met hiermee vergelijkbare stoffen. Aan de koppeling van maatregelen met het VBS zal in fase 3 van de studie aandacht worden besteed.

# Bijlage

De deelnemers aan de workshop van 13 oktober 2022:

- > Esta de Goede (Sitech)
- > Bert Salden (Sitech)
- > Henk Brill (Sabic)
- > Roger Slegt (ExxonMobil)
- > Evert Jonker (Shell)
- > Dario Pinna (Shell)
- > Orson Slaats (Shell)
- > Michiel Willems (Schenk)
- > Vincent de Koning (Vopak)
- > Arthur Groot (Covestro)
- > Peter Bareman (VNCI)
- > Sophie Lang (VR Zuid-Limburg)
- > Erik Oudewater (Brandweer Rotterdamse Haven)
- > Dennis Cornelissen (AGS, brandweer, VR Zuid-Limburg)
- > Ron Ruijten (OVD Chemelot Industriecomplex, brandweer)
- > Arjan van Dijk (SDN)
- > Johan Reinders (NIPV)
- > Nils Rosmuller (NIPV)
- > Henk Brans (NIPV)