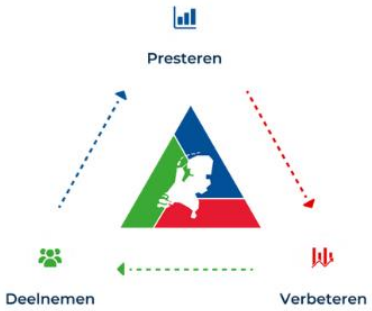
HANDREIKING

Veiligheid Alternatief Aangedreven Vrachtauto's (AAV's) op petrochemische bedrijfsterreinen

Fase 3 - Praktijktest

26 juni 2024



Ontwikkeld in samenwerking met:

NIPV Nederlands Instituut Publieke Veiligheid

A RisC

new behavior large scale change

Inhoudsopgave

Inhoudsopgave 2
Inleiding 4
Leeswijzer 4
1. Incidentscenario's 5
1.1 Worst Credible Incident (WCI) 5
1.2 Schadecriteria 6
1.3 Uitgangspunten per energiedrager 7
1.3.1 Vrachtauto's op LNG 7
1.3.2 H2 – Vrachtauto's met brandstofcellen 7
1.3.3 Vrachtauto's op CNG 8
1.3.4 Batterij-elektrisch aangedreven vrachtauto's 8
2. Risicobenadering 10
2.1 Basisveiligheidsniveau 10
2.2 Methodiek 10
3. Uitwerking scenario's 12
3.1 Scenario's LNG 12
3.1.1 Oorzaakscenario's LNG 12
3.1.2 Gevolgscenario's LNG 13
3.2 Scenario's H2 15
3.2.1 Oorzaakscenario's H2 15
3.2.2 Gevolgscenario's H2 16
3.3 Scenario's CNG 17
3.3.1 Oorzaakscenario's CNG 17
3.3.2 Gevolgscenario's CNG 18
3.4 Scenario's BEV 19
3.4.1 Oorzaakscenario's BEV 19
3.4.2 Gevolgscenario's BEV 20
4. Richtingaanwijzer wet- en regelgeving 21
4.1 Publicatiereeks Gevaarlijke stoffen 21
5. Doelen en maatregelen 22
5.1 Preventieve doelen 22
5.2 Mitigerende doelen 25
6. Maatregelen – toelichting 27
6.1 H2, CNG en LNG 27
6.2 BEV 29
7. Eventueel gelijkwaardige maatregelen 31
8. Implementatie 32
8.1 Algemeen 32

8.2 Praktijktests 32
9. Project deelnemers 34
10. Bijlage A – BowTies 35
10.1 LNG 35
10.2 H2 35
10.3 CNG 36
10.4 BEV 36

Inleiding

Op industrieterreinen en chemische clusters zijn talrijke (petrochemische) bedrijven gevestigd. Op deze terreinen vindt veel transport (van goederen of gevaarlijke stoffen) plaats. De transportsector vergroent, wat betekent dat steeds meer met alternatieve brandstoffen wordt gereden en gevaren. Omdat dit niet ten koste mag gaan van de veiligheid, zijn de specifieke risico's die samengaan met de aanwezigheid van alternatief aangedreven vrachtauto's op petrochemische bedrijfsterreinen[1] onderzocht. Onder alternatieve aangedreven vrachtwagens (AAV's) wordt in dit verband verstaan vrachtauto's die gebruikmaken van aardgas (LNG of CNG) of waterstof[2] als brandstof, of die elektrisch worden aangedreven.

Deze handreiking is het product van fase 3 van het onderzoek naar de veiligheid van AAV's op petrochemische bedrijfsterreinen. Fase 1 bestond uit een literatuurverkenning naar de (inter)nationale regelgeving. In fase 2 van de studie zijn specifieke, ernstige, maar wel realistisch geachte incidentscenario's ontwikkeld die zich kunnen voordoen met AAV's op petrochemische bedrijfslocaties.

Deze handreiking dient als hulpmiddel voor bedrijven om de veiligheidsrisico's van AAVs te kunnen identificeren, analyseren en beheersen door ze te integreren in het veiligheidsbeheerssysteem. In deze handreiking zijn de incidentscenario's uit fase 2 verder uitgewerkt naar analogie met de documenten uit de Publicatiereeks Gevaarlijke stoffen (PGS)[3] en weergegeven in Bow-ties.

Voor de opstelling van deze handreiking zijn praktijktests uitgevoerd bij een aantal bedrijven. De ervaringen en aandachtspunten zoals die vanuit de bedrijven naar voren zijn gekomen zijn ook vermeld in deze handreiking.

Leeswijzer

In hoofdstuk 0 worden de in fase 2 geïdentificeerde incidentscenario's kort beschreven. In de hoofdstukken 2 tot en met 5 worden de scenario's in "PGS-vorm" uitgewerkt. In hoofdstuk 2 wordt de methodiek (risicobenadering) gepresenteerd. In hoofdstuk 0 worden de scenario's in de vorm van bow-ties weergegeven. Hoofdstuk 4 gaat over wetgeving. Hierin worden de resultaten van fase 1 kort samengevat. Hoofdstuk 5 beschrijft mogelijke maatregelen en het doel ervan. In hoofdstuk 0 worden de maatregelen uitgebreider beschreven. Hoofdstuk 7 gaat in op alternatieve gelijkwaardige maatregelen. Hoofdstuk 8 bevat aandachtspunten bij en (eerste) praktijkervaring met de implementatie van maatregelen op enkele (petro)chemische locaties.

---

1 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.

2 In deze studie wordt ervan uitgegaan dat waterstof via brandstofcellen de vrachtwagen van energie voorziet.

3 Publicatiereeks Gevaarlijke Stoffen

1. Incidentscenario's

In fase 2[4] van de studie zijn 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. In dit hoofdstuk worden deze scenario's kort beschreven en wordt ingegaan op de wijze waarop ze tot stand zijn gekomen.

1.1 Worst Credible Incident (WCI)

Incidentscenario's schetsen een beeld van wat er mis kan gaan tijdens activiteiten op een (petrochemische) locatie, en hoe de gevolgen hiervan zich in de tijd ontwikkelen. 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*. Zie ook hoofdstuk 0.

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: 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. Deze laatste zijn 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 ook een basis voor de modellering van de effecten en het bedenken van passende maatregelen.

In deze studie zijn WCI's opgesteld die betrekking hebben op activiteiten op petrochemische locaties met AAV's. De activiteiten waarvoor de scenario's zijn 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;
- vrachtauto's die gecomprimeerd aardgas (CNG) als brandstof gebruiken;
- brandstofcel (fuel cell) elektrisch aangedreven vrachtauto's met waterstof (H2) als brandstof (FCEV); en
- batterij elektrisch aangedreven vrachtauto's (BEV).

In de te identificeren en uit te werken scenario's staat de energiebron van de AAV centraal. De *ongewenste gebeurtenis* betreft de waterstoftanks, de aardgastanks of de batterijen, al naar gelang de aandrijvingsvorm. De *gevolgen* omvatten een direct effect (brand, explosie, fakkel) met mogelijk consequenties voor de (industriële) omgeving vanwege hittestraling, druk, vlamcontact, of blootstelling aan giftige stoffen. 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

[4] Zie https://www.safetydelta.nl/sdn-projecten/project-veiligheidsrisicos-alternatief-aangedreven-voertuigen-op-chemische-clusters-fase-2-scenarios/

scenario's. **De aanname is dat de vrachtauto's geen brandstof innemen op de locatie en dat, in geval van elektrische vrachtauto's, batterijen niet op de locatie worden opgeladen**.

Bij de selectie van de WCI's is gebruikgemaakt van de opgebouwde ervaring met het opzetten en analyseren van ongeval scenario'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 is 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.

1.2 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[5]:

1. **Effecten van brand en hitte:**
   - Afstand vanaf de bron tot de locatie waar het stralingsniveau is afgenomen tot 35 kW/m^2. Tot deze afstand zullen brandbare producten (bijvoorbeeld hout of kunststof) vlamvatten.
   - Afstand vanaf de bron tot de locatie waar het stralingsniveau is afgenomen tot 10 kW/m^2. 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^2. Vanaf dit stralingsniveau is beschermende kleding noodzakelijk voor hulpverleners.[6]
   - Diameter van de vuurbal bij een BLEVE[7]: 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 als de gaswolk ontstoken wordt. Deze afstand geldt in de richting waarin de wind waait.

[5] Zie voor meer achtergrondinformatie Handleiding Risicoberekeningen BEVI, versie 3.3, juli 2015.
[6] Zie: Brandweer Rotterdam (2006). Veilige stralingscontouren bij incidenten - gerelateerd aan warmtebelasting voor hulpverleners.
[7] 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 en 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.

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_{30}.[8] 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 ($LBW_{incidentduur}$). Dit is alleen berekend voor blootstellingsperiodes van hooguit 30 minuten, aangezien ervan wordt uitgegaan dat binnen deze tijd hulpdiensten aanwezig zijn.

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. Alle effectafstanden zijn berekend met het softwarepakket EFFECTS versie 12.[9]

1.3 Uitgangspunten per energiedrager

1.3.1 Vrachtauto's op LNG

LNG staat voor Liquified 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).

1.3.2 H2 – Vrachtauto's met brandstofcellen

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

[8] Zie Interventiewaarden voor de incidentbestrijding.
[9] EFFECTS consequence modelling tool for safety professionals (gexcon.com).

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_2 kunnen bevatten.
- De (werk)druk is 350 bar.
- De tanks beschikken elk over een TPRD (Thermally activated Pressure Relief Device[10]) 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.

1.3.3 Vrachtauto's op CNG

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.

1.3.4 Batterij-elektrisch aangedreven vrachtauto's

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 laadcycli een beschermlaagje (Solid Electrolyte Interphase of SEI) op de anode (minpool) in de batterijcel gevormd. Als dit beschermlaagje 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.[11] 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

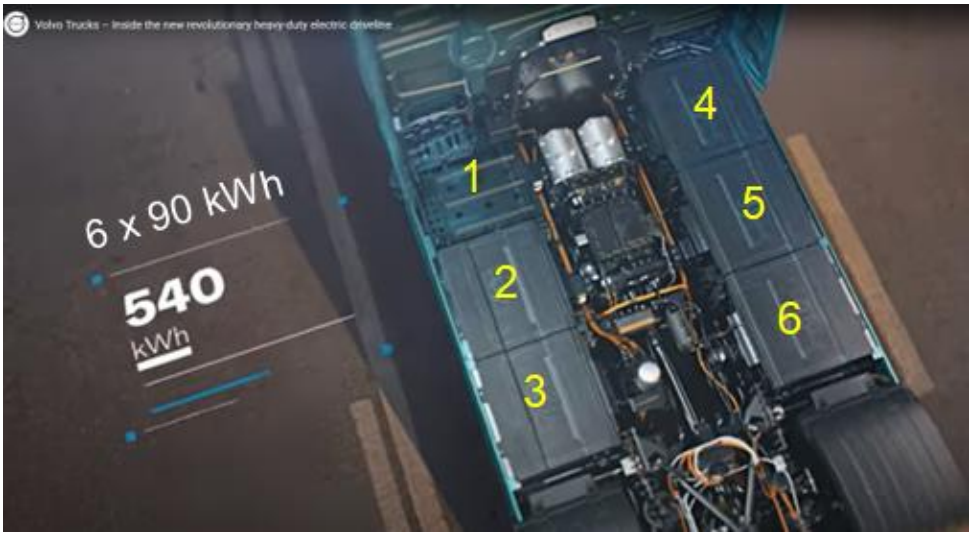
[10] Zie ISO 19882: 'Gaseous hydrogen - Thermally activated pressure relief devices for compressed hydrogen vehicle fuel containers'.
[11] Wu, B. (2021). Lecture by Billy Wu, Imperial College London. Battery fires! What happens when batteries are abused?

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 de elektrolyt tot meer gasvorming leiden.[12]

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.

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);
- Bij brand ontstaat:
    - 55 liter (toxisch) HF/kWh[13]; 50% hiervan verspreid zich; de rest adsorbeert of reageert in de omgeving (gebaseerd op RIVM onderzoek[14])
    - 20,5 mol brandbaar gas/kWh[15]; er wordt aangenomen dat dit allemaal waterstof is.



Figuur 1: Positie batterijpakketten in (Volvo) vrachtwagen[16]

[12] 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.

[13] Larsson, F., Andersson, P., Blomqvist, P. et al. (2017). Toxic fluoride gas emissions from lithium-ion battery fires. *Sci Rep 7*, 10018.

[14] 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.

[15] 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*.

[16] Informatie betreft Volvo. YouTube video op https://www.volvotrucks.nl/nl-nl/trucks/trucks/volvo-fh/volvo-fh-electric.html.

2. Risicobenadering

2.1 Basisveiligheidsniveau

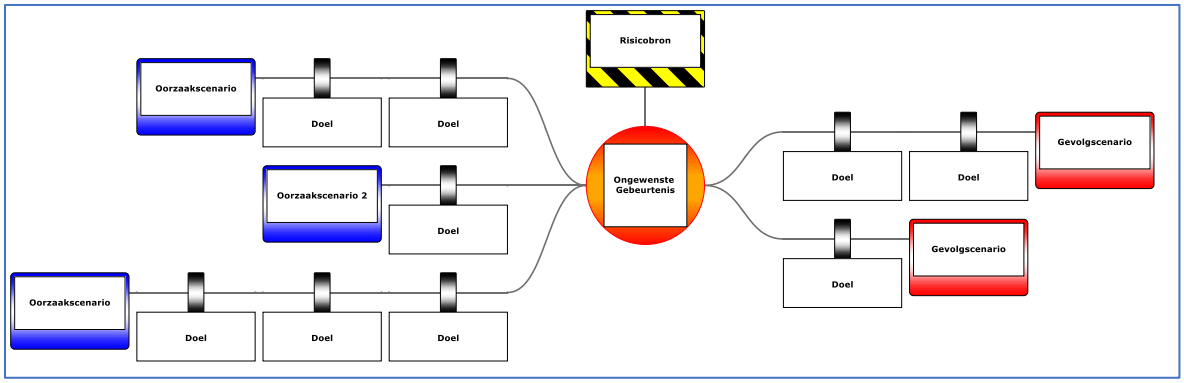
De risicobenadering in deze handreiking beperkt zich tot de specifieke risico's van de verschillende brandstofsoorten van de AAV's. Er wordt van uitgegaan dat binnen de bedrijven een basisveiligheidsniveau aanwezig is, bestaande uit:

- beschermende maatregelen die volgens wet- en regelgeving standaard bij de activiteiten nodig zijn (voorbeeld: chauffeurs beschikken over juiste rijbewijs of certificaat voor het voertuig); en
- beschermende maatregelen die volgens bewezen en geaccepteerde goede praktijken niet weg te denken zijn (voorbeeld: wielblokken tijdens laden/lossen voertuig).

2.2 Methodiek

Deze handreiking heeft de incidentscenario's, zoals vastgesteld in fase 2 en kort beschreven in hoofdstuk 1, gebruikt als uitgangspunt voor de risicobenadering. Deze zijn vervolgens aangevuld tijdens de praktijktest op basis van de kennis en kunde van deskundigen vanuit het bedrijfsleven.

Voor de risicobenadering is, vanuit het oogpunt van herkenbaarheid en consistentie, gekozen om de structuur van Scenario's, doelen en maatregelen vanuit de PGS Nieuwe Stijl[17] toe te passen. Voor de vertaling van de incidentscenario's uit fase 2 naar deze handreiking is dan ook, net als voor een groot aantal PGS'en, gebruik gemaakt van de BowTie methode[18] (zie Figuur 2).

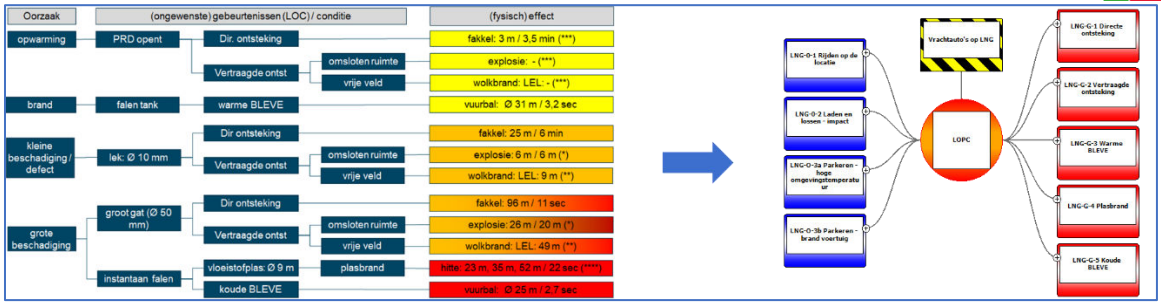


Figuur 2: Schematische weergave BowTie

Hiertoe is allereerst per aandrijfvorm de ongewenste gebeurtenis benoemd (het Top Event). Voor LNG, H2 en CNG is de ongewenste gebeurtenis een LOPC (Loss of Primary Containment), ofwel het vrijkomen van de brandstof. Voor BEV is de ongewenste gebeurtenis een Thermal Runaway Reaction in het batterijpakket, ofwel ongecontroleerde toename in temperatuur als gevolg van een grotere warmteproductie dan warmteafvoer.

Hierna zijn de gebeurtenissenbomen uit fase 2 vertaald naar oorzaken (Threats) en gevolgen (Consequences) in de BowTie (zie Figuur 3).

[17] https://publicatiereeksgevaarlijkestoffen.nl/nieuws/pgsen-nieuwe-stijl-vastgesteld-hoe-in-de-praktijk-toe-te-passen-en-digitalisering/
[18] Zie voor meer informatie de PGS Handreiking Generieke Risicobenadering. https://publicatiereeksgevaarlijkestoffen.nl/handreikingen/handreiking-generieke-risicobenadering/



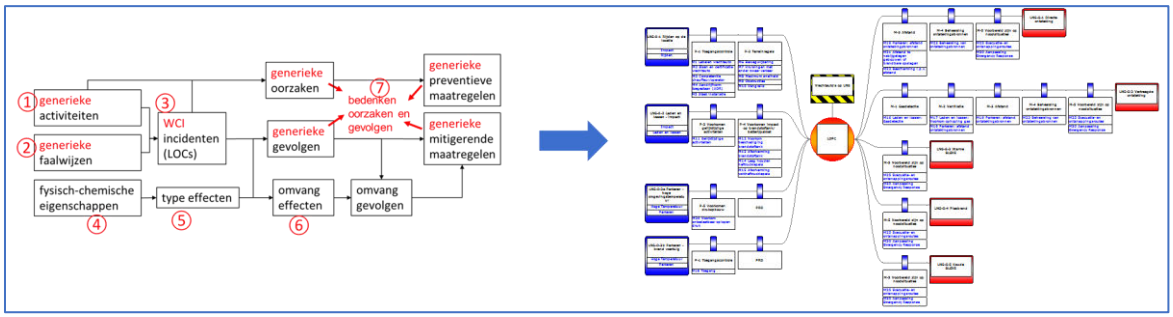
Figuur 3: Gebeurtenissenboom naar BowTie

Vervolgens zijn per scenario doelen (barrières) bepaald om ervoor te zorgen dat:

- de kans op de ongewenste gebeurtenis zo veel mogelijk wordt beperkt; en
- de nadelige gevolgen van de ongewenste gebeurtenis worden voorkomen of zo veel mogelijk worden beperkt.

Soms kunnen meerdere scenario's met hetzelfde doel worden gedekt.

En als laatste zijn de generieke maatregelen zoals vastgesteld in fase 2 gekoppeld aan de relevante doelen (zie Figuur 4). Een maatregel kan gelden voor meerdere doelen.



Figuur 4: Generieke BowTies op basis van AAV Fase 2

3. Uitwerking scenario's

De scenario's zijn per aandrijfvorm op basis van de BowTies (zie Bijlage A) onverdeeld in oorzaak- en gevolgscenario's, waarbij bij de oorzaakscenario's het volgende is aangegeven:

- directe oorzaak categorie op basis van de PGS 6[19]; en
- activiteit waarbij het scenario optreedt; rijden, laden en lossen of parkeren.

Per scenario is vervolgens aangewezen welke doelen (zie Hoofdstuk 5) van toepassing zijn.

3.1 Scenario's LNG

3.1.1 Oorzaakscenario's LNG

LNG O-1	**Rijden op locatie**	P-1
	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.	P-2
	> directe oorzaak categorie - Impact > activiteit - Rijden	

LNG O-2	**Laden en lossen – impact**	P-3
	Tijdens laden en lossen wordt een groot gat in de tank 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. Als gevolg hiervan kan LNG-tank openscheuren, waardoor de gehele inhoud ineens vrijkomt en er een (koude) BLEVE ontstaat.	P-4
	> directe oorzaak categorie - Impact > activiteit - Laden en lossen	

LNG O-3a	**Parkeren – hoge omgevingstemperatuur**	P-5
	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.	
	> directe oorzaak categorie - Parkeren	

[19] https://publicatiereeksgevaarlijkestoffen.nl/nieuws/geactualiseerde-pgs-6-gepubliceerd/

> activiteit	- Hoge temperatuur	

LNG O-3b	**Parkeren – brand voertuig** Vandalen hebben zich toegang weten te verschaffen tot het terrein en de vrachtauto (de banden) in brand gestoken. Hierdoor wordt de LNG-tank zodanig aangestraald dat een (warme) BLEVE optreedt.	P-1
	> directe oorzaak categorie - Parkeren > activiteit - Hoge temperatuur	

3.1.2 Gevolgscenario's LNG

LNG G-1	**Directe ontsteking** Groot gat, waarbij 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 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. 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 (fakkel, explosie, wolkbrand), echter met minder grote effectafstanden.	M-3 M-4 M-5

LNG G-2	**Vertraagde ontsteking** Groot gat, waarbij 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 het scenario voor een flinke impact, zoals bijvoorbeeld met de lepels van een heftruck. 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. Er is van 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. 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 (fakkel, explosie, wolkbrand), echter met minder grote effectafstanden.	M-1 M-2 M-3 M-4 M-5

LNG G-3	**Warme BLEVE**	M-5
	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 druk-opbouw alsook verzwakking plotseling falen. Dit resulteert dan in een warme BLEVE. Bij een faaldruk van 20 bar (en een temperatuur van -107 °C) zal dan een vuurbal ontstaan van 31 m doorsnede. Brokstukken van de tank kunnen tot 55 m worden weggeworpen. Er zal onder deze omstandigheden geen vloeistofplas ontstaan, maar alles zal meteen verdampen.	

LNG G-4	**Koude BLEVE**	M-5
	Instantaan falen waarbij het vrijgekomen LNG deels meteen verdampt en deels uitregent en een vloeistofplas vormt. Impact van een botsing zal voor directe ontsteking zorgenzorgen, 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.	

3.2 Scenario's H2

3.2.1 Oorzaakscenario's H2

H2 O-1	**Rijden op locatie**	P-1
	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. 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.	P-2
	> directe oorzaak categorie - Impact > activiteit - Rijden	

H2 O-2	**Laden en lossen – impact**	P-3
	Tijdens 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. Er zal 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.	P-4
	> directe oorzaak categorie - Impact > activiteit - Laden en lossen	

LNG O-3b	**Parkeren – brand voertuig**	P-1
	Vandalen hebben zich toegang weten te verschaffen tot het terrein en de vrachtauto (de banden) in brand gestoken. Hierdoor wordt de waterstof-cilinder aangestraald, waardoor de druk en temperatuur zullen oplopen. Indien een van de setpoints wordt bereikt (110 °C of 418 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.	
	> directe oorzaak categorie - Parkeren > activiteit - Hoge temperatuur	

3.2.2 Gevolgscenario's H2

H2 G-1	**Directe ontsteking** 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.	M-3 M-4 M-5

H2 G-2	**Vertraagde ontsteking** 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. Bij vertraagde ontsteking kan een wolk-brand 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. Er is uitgegaan van 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.	M-1 M-2 M-3 M-4 M-5

H2 G-3	**Fakkel / vuurbal (TPRD)l** 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.	M-1 M-2 M-3 M-4 M-5

3.3 Scenario's CNG

3.3.1 Oorzaakscenario's CNG

CNG O-1	**Rijden op locatie**	P-1
	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. 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.	P-2
	> directe oorzaak categorie - Impact > activiteit - Rijden	

CNG O-2	**Laden en lossen – impact**	P-3
	Tijdens 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. Er zal 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.	P-4
	> directe oorzaak categorie - Impact > activiteit - Laden en lossen	

LNG O-3b	**Parkeren – brand voertuig**	P-1
	Een vrachtauto staat geparkeerd en vandalen 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. Als 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.	
	> directe oorzaak categorie - Parkeren > activiteit - Hoge temperatuur	

3.3.2 Gevolgscenario's CNG

CNG G-1	**Directe ontsteking** 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.	M-3 M-4 M-5

CNG G-2	**Vertraagde ontsteking** 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. ij vertraagde ontsteking kan een wolk-brand 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. Er is uitgegaan van 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.	M-1 M-2 M-3 M-4 M-5

H2 G-3	**Fakkel / vuurbal (PRD)** 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.	M-1 M-2 M-3 M-4 M-5

3.4 Scenario's BEV

3.4.1 Oorzaakscenario's BEV

BEV O-1	**Rijden op locatie**	P-1
	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 m3 HF (= 9 x 33 kWh x 55 liter/kWh /1000 liter/m3). Dit is 14,2 kg HF. ➢ 140 m3 brandbaar gas (= 9 x 33 kWh x 20.5 mol/kWh x 0.023 m3/mol). In geval van waterstof is dit 12,2 kg.	P-2
	> directe oorzaak categorie - Impact > activiteit - Rijden	

BEV O-2	**Laden en lossen – impact**	P-3
	Tijdens laden en lossen stoot 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 m3 HF (= 2 x 33 kWh x 55 liter/kWh /1000 liter/m3). Dit is 3,2 kg HF. ➢ 31,1 m3 brandbaar gas (= 2 x 33 kWh x 20.5 mol/kWh x 0.023 m3/mol). In geval van waterstof is dit 2,7 kg.	P-4
	> directe oorzaak categorie - Impact > activiteit - Laden en lossen	

BEV O-3	**Parkeren - beschadigd/ verouderd batterijpakket**	P-1
	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: ➢ 3,6 m^3 HF (= 2 x 33 kWh x 55 liter/kWh /1000 liter/m^3). Dit is 3,2 kg HF. ➢ 31,1 m^3 brandbaar gas (= 2 x 33 kWh x 20.5 mol/kWh x 0.023 m^3/mol). In geval van waterstof is dit 2,7 kg.	P-6
	> directe oorzaak categorie - Parkeren > activiteit - Corrosie	

BEV O-4	**Parkeren - opladen**	P-7

Een vrachtauto staat geparkeerd en wordt opgeladen, waarbij door een fout tijdens het laadproce en/of een beschadiging in een cel een thermal runaway reactie ontstaat.
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:

- 3,6 m^3 HF (= 2 x 33 kWh x 55 liter/kWh /1000 liter/m^3). Dit is 3,2 kg HF.
- 31,1 m^3 brandbaar gas (= 2 x 33 kWh x 20.5 mol/kWh x 0.023 m^3/mol). In geval van waterstof is dit 2,7 kg.

> directe oorzaak categorie - Parkeren
> activiteit - Corrosie

3.4.2 Gevolgscenario's BEV

BEV G-1	**Vrijkomen toxisch gas**	M-5

De toxische effecten kunnen veel verder reiken als de effecten van vrijgekomen brandbaar gas.
Bij een zware aanrijding ligt de LBW op 300 m. Bij het incident waarbij HF slechts langzaam vrijkomt (lekken als gevolg van veroudering op het parkeerterrein) is de LBW nog 4 m.

BEV G-2	**Vrijkomen brandbaar gas - (vertraagde) ontsteking**	M-5

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 20 m (met de windrichting mee) letale slachtoffers en secundaire branden veroorzaken. Bij ophoping afgesloten ruimtes kan ontsteking tot explosieschade leiden.
Er is uitgegaan van dat een achtste van het vrijgekomen gas 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 7 sec) op 10 m van de incidentlocatie (met de wind mee) en zal in een straal van 10 m voor zeer ernstige schade aan constructies zorgen.

BEV G-3	**Accu-autobrand**	M3 M-5

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.

4. Richtingaanwijzer wet- en regelgeving

In fase 1[20] 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 bestaat over 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.

4.1 Publicatiereeks Gevaarlijke stoffen

Als onderdeel van de Publicatiereeks gevaarlijke stoffen[21] zijn diverse PGS-richtlijnen gepubliceerd voor AAV's:

- PGS 25 CNG - Aardgas-afleverinstallaties voor motorvoertuigen
- PGS 26 CNG en LNG - Richtlijn voor het veilig bedrijfsmatig stallen, onderhouden en repareren van motorvoertuigen
- PGS 33-1 Afleverinstallaties van vloeibaar aardgas (LNG) voor voertuigen en werktuigen
- PGS 33-2 Afleverinstallaties van vloeibaar aardgas (LNG) voor vaartuigen en drijvende werktuigen
- PGS 35 Waterstofinstallaties voor het afleveren van waterstof aan voertuigen en werktuigen
- PGS 36 Waterstof - Richtlijn voor het veilig bedrijfsmatig stallen, onderhouden en repareren van motorvoertuigen
- PGS 38 Multi-energie stations

Met name de PGS-richtlijnen waar het stallen van voertuigen onder het toepassingsgebied van de richtlijn vallen, bevatten relevante informatie die gebuikt kan worden als input voor het bepalen van maatregelen voor parkeren van AAV's. De PGS 38 geeft daarnaast aanvullende informatie over het laden van elektrische voertuigen in relatie tot andere brandstoffen.

[20] Zie: https://www.safetydelta.nl/sdn-projecten/afgerond-project-veiligheidsrisicos-alternatief-aangedreven-voertuigen-op-chemische-clusters-fase-1/

[21] Zie: https://publicatiereeksgevaarlijkestoffen.nl/publicaties/

5. Doelen en maatregelen

Voor de doelen is onderscheid gemaakt tussen preventieve doelen, doelen behorende bij een oorzaakscenario, en mitigerende doelen, doelen behorende bij een gevolgscenario. Omdat een doel van toepassing kan zijn op meerdere aandrijfvormen is er per doel aangegeven voor welke aandrijfvormen het doel van toepassing is.

Ook is per doel aangegeven wat voor type het (generieke doel) is, technisch of organisatorisch.

Bij elk doel staat met welke maatregelen aan het doel kan worden voldaan. In hoofdstuk 0 worden de maatregelen verder toegelicht.

5.1 Preventieve doelen

P-1	**Toegangscontrole** Alvorens toegelaten te worden op een locatie is het belangrijk te kunnen vaststellen dat vrachtauto en chauffeur voldoen aan de eisen. Maatregelen: M1 Correcte labeling (ISO17840-4) vrachtauto. M2 Vrachtauto is ontworpen en gebouwd volgens alle voor deze brandstof gangbare regels en dat, waar vereist, onderdelen van de installatie zijn gecertificeerd. M3 Chauffeur / operator heeft kennis van de gevaren / risico's. M4 Vervoerde goederen mogen door een op H2, CNG of LNG rijdende vrachtauto worden vervoerd (ADR). M4.01 De goederen mogen door een BEV worden vervoerd. M5 Installatietanks zijn niet beschadigd, eventuele beschadigingen zijn vakkundig hersteld. M18 Voorkom ongewenste toegang in verband met vandalisme. > type doel - Organisatorisch > van toepassing op alle aandrijfvormen	*Scenario's* LNG 0-1 LNG O-3b H2 O-1 H2 O-3 CNG O-1 CNG O-3 BEV O-1 BEV O-3

P-2	**Terreinregels** Regels voor Alternatief Aangedreven Voertuigen op het terrein en waar chauffeurs zich aan moeten houden ter voorkoming van een incident. Maatregelen: M6 Duidelijke bewegwijzering waardoor het voor chauffeurs helder is waar ze wel waar ze niet mogen rijden. M7 Minimaliseren van kruisingen met ander (zwaar) verkeer of treinen, onder meer door het toepassen van verkeerscirculatie. M8 Hanteren van een maximum snelheid.	*Scenario's* LNG 0-1 LNG O-3b H2 O-1 H2 O-3 CNG O-1 CNG O-3 BEV O-1 BEV O-3 BEV O-4

M9 Minimaliseren van (uitstekende) obstructies op en nabij de route zoals paaltjes, muurtjes, (te openen) putdeksels, zachte bermen, boomstronken et cetera.

M10 Aanbrengen van vangrails daar waar een vrachtauto van de weg kan raken of naar beneden vallen.

M31 Alleen laden op daarvoor aangewezen locaties na goedkeuring (o.a. controle BMS en conditie batterijpakket).

M32 Alleen laden van een lege vrachtwagen of afgekoppelde trailer/oplegger (geen gevaarlijke stoffen in vrachtwagen).

> type doel - Organisatorisch
> van toepassing op alle aandrijfvormen

P-3

Voorkomen gelijktijdige activiteiten

Andere activiteiten rond een vrachtwagen verhogen de kans op een incident. Door deze niet (of beperkt) toe te staan wordt het risico verlaagd.

Scenario's
LNG 0-2
H2 O-2
CNG O-2
BEV O-2

M11 Geen andere activiteiten plaatsvinden nabij de laad- en loslocatie, bijvoorbeeld onderhoudswerkzaamheden, laden en lossen van andere voertuigen.

> type doel - Organisatorisch
> van toepassing op alle aandrijfvormen

P-4

Voorkomen impact op brandstoftank / batterijpakket

Het falen van een brandstoftank of batterijpakket door een externe impact is een belangrijk risico van AAV. Impact kan voorkomen worden door bescherming van brandstoftank / batterijpakket of door maatregelen bij de veroorzaker (zoals een heftruck) van de impact.

Scenario's
LNG 0-2
H2 O-2
CNG O-2
BEV O-2

M12 Voorkom dat een voor het laden en lossen gebruikt voertuig of middel de brandstoftank kan raken.

M13 Bijvoorbeeld: plaats een afscherming voor de brandstoftank/ batterijpakket.

M14 Bijvoorbeeld: instructies om de heftrucklepels laag te houden.

M15 Bijvoorbeeld: eis dat rijdende heftrucks afgeschermde lepels moeten hebben.

> type doel - Organisatorisch
> van toepassing op alle aandrijfvormen

P-5

Voorkomen drukopbouw

In een LNG-vrachtwagen vindt, wanneer deze niet rijdt, altijd drukopbouw plaats door boil-of-gas. Voorkomen moet worden dat dit resulteert tot een dermate hoge druk in de brandstof houder dat afgeblazen wordt op het terrein.

Scenario's
LNG 0-3a

M20 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).

> type doel - Organisatorisch
> van toepassing op LNG

P-5 **Integriteit batterijpakket**

Scenario's
BEV 0-3

Interne fouten in een batterijpakket kunnen leiden tot een interne kortsluiting gevolgd door een thermal runaway. De staat van het batterijpakket moet dus zeker gesteld worden.

M27 Zorg voor een goed werkend BMS ter voorkoming van een thermal runaway.

M28 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.

> type doel - Organisatorisch
> van toepassing op BEV

5.2 Mitigerende doelen

M-1	**Gasdetectie** Zeker stellen dat een eventuele gaslekkage gedetecteerd wordt. M16 Laden en lossen: Om ophoping van gassen (en een explosie) te voorkomen kan gasdetectie worden aangebracht. > type doel - Technisch > van toepassing op LNG, H2 en CNG	*Scenario's* LNG G-2 H2 G-2 CNG G-2 CNG G-3
M-2	**Ventilatie** Voorkomen van ophoping van gas bij een lekkage. M17 Laden en lossen: Om ophoping van gassen (en een explosie) te voorkomen kunnen de activiteiten worden zoveel mogelijk in de open lucht worden uitgevoerd. M19 Parkeren: Parkeer buiten en op voldoende afstand van ontstekingsbronnen (bijvoorbeeld fakkels), zodat eventueel afgeblazen gas vrij weg kan. > type doel - Technisch > van toepassing op LNG, H2 en CNG	*Scenario's* LNG G-2 H2 G-2 H2 G-3 CNG G-2 CNG G-3
M-3	**Afstand** Voorkomen van escalatie van een incident door het creëren van afstand. M19 Parkeren: Parkeer buiten en op voldoende afstand van ontstekingsbronnen (bijvoorbeeld fakkels), zodat eventueel afgeblazen gas vrij weg kan. M33 Afstand tussen laden BEV en andere installatiedelen 15 m > type doel - Technisch > van toepassing op LNG, H2 en CNG	*Scenario's* LNG G-1 LNG G-2 H2 G-1 H2 G-2 H2 G-3 CNG G-1 CNG G-2 CNG G-3 BEV-G-3
M-4	**Beheersing ontstekingsbronnen** Beheersen van ontstekingsbronnen, zowel stationaire als tijdelijke, op locaties waar een (verhoogd) risico op vrijkomen van gas bestaat. M23 Beheersing van ontstekingsbronnen (via ATEX-regulering) binnen de afstand tot waarop een brandbare wolk aanwezig zou kunnen zijn. > type doel - Organisatorisch > van toepassing op LNG, H2 en CNG	*Scenario's* LNG G-1 LNG G-2 H2 G-1 H2 G-2 H2 G-3 CNG G-1 CNG G-2 CNG G-3

M-5	**Voorbereid zijn op noodsituaties** Zeker stellen dat er adequaat gereageerd kan worden tijdens noodsituaties met een AAV. M24 Wees voorbereid op herhaaldelijk oplaaien van brand en dus lange “blustijden”. Zorg voor veel water en de mogelijkheid voor langdurig blussen (afstemmen met brandweer). M25 Zorg voor evacuatie- en ontsnappingsroutes, ook voor hulpdiensten. M29 Zorg evt. voor koeling van omgeving (sprinkler). M30 Aanpassing van Noodplannen: alarmering, noodafsluiters (ESD), ontruiming, brandbestrijding. M34 Noodstop voor laadpunten BEV > type doel - Organisatorisch > van toepassing op alle aandrijfvormen	*Scenario’s* LNG G-1 LNG G-2 LNG G-3 LNG G-4 LNG G-5 H2 G-1 H2 G-2 H2 G-3 CNG G-1 CNG G-2 CNG G-3 BEV G-1 BEV G-2 BEV G-3

6. Maatregelen – toelichting

In dit hoofdstuk wordt dieper ingegaan op de verschillende maatregelen zoals die in hoofdstuk 0 en 5 zijn benoemd.

Als een generieke maatregel geldt dat de toelating op een locatie van alternatief aangedreven voertuigen plaats vindt middels een MOC-proces (management of change), zodat de specifieke risico's van dergelijke voertuigen en de bijbehorende maatregelen beoordeeld kunnen worden.

6.1 H2, 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_2 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 als de vrachtauto zich binnen of vlak bij gebouwen of brandbare (hoge) opslagen bevindt. Mocht de TPRD weigeren, dan kan een cilinder uiteenbarsten met als gevolg een vuurbal die secundaire branden kan veroorzaken.

Als 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 op een gegeven moment het veiligheidsventiel open kan gaan, met dezelfde gevolgen als een lek (fakkel, 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 als 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_2, CNG of LNG.

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

- M1 - vrachtauto op LNG rijdt (door correcte labeling (ISO17840-4)).
- M2 - vrachtauto is ontworpen en gebouwd volgens alle voor deze brandstof gangbare regels en dat, waar vereist, onderdelen van de installatie zijn gecertificeerd.[22]
- M3 - chauffeur / operator kennis heeft van de gevaren / risico's.
- M4 - vervoerde goederen door een op H_2, CNG of LNG rijdende vrachtauto mogen worden vervoerd (ADR).[23]
- M5 - installatietanks niet zijn beschadigd of dat eventuele beschadigingen vakkundig zijn hersteld.

[22] Zie bijvoorbeeld deel 1 van deze studie Veiligheid alternatief aangedreven voertuigen op petrochemische locaties – een literatuurverkenning (fase 1).

[23] 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.

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

- M6 - duidelijke bewegwijzering waardoor het voor chauffeurs helder is waar ze wel waar ze niet mogen rijden.
- M7 - het minimaliseren van kruisingen met ander (zwaar) verkeer of treinen, onder meer door het toepassen van verkeerscirculatie.
- M8 - het hanteren van een maximum snelheid.
- M9 - het minimaliseren van (uitstekende) obstructies op en nabij de route zoals paaltjes, muurtjes, (te openen) putdeksels, zachte bermen, boomstronken et cetera.
- M10 - 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.

- M11 - zorg dat er geen andere activiteiten plaatsvinden nabij de laad- en loslocatie, bijvoorbeeld onderhoudswerkzaamheden, laden en lossen van andere voertuigen.
- M12 - 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 afgeschermde lepels moeten hebben.
- M16 en M17 - om ophoping van gassen (en een explosie) te voorkomen kan gasdetectie worden aangebracht of kunnen de activiteiten zoveel mogelijk in de open lucht worden uitgevoerd. Met dit laatste kan ook branduitbreiding door een (verticale) fakkel of ophoping van hete rookgassen worden voorkomen, evenals verstikking of verbranding van personen.

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

- M20 - 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).
- M19 - parkeer buiten en op voldoende afstand van ontstekingsbronnen (flares bijvoorbeeld), zodat eventueel afgeblazen gas vrij weg kan.
- M18 - voorkom ongewenste toegang in verband met vandalisme.

Gevolgbeperkende maatregelen

De gevolgen van incidenten met H_2-, CNG- of LNG-vrachtauto's kunnen als volgt worden beperkt:

- M10 - 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.
- M16 - 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.[24]

6.2 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 leiden tot instantaan falen 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).

Maatregelen ter voorkoming van een thermal runaway

- M27 - een goed werkend BMS is de belangrijkste preventieve voorziening ter voorkoming van een thermal runaway.
- M28 - op basis van het BMS (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 van de batterijen;
    - aantal ladings- en ontladingscycli;
    - onderhoudsgeschiedenis; en
    - een log van beschadigingen en reparaties.

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

- M1 - de vrachtauto is correcte gelabeld (ISO17840-4)).
- M2 - ontwerp en bouw zijn volgens standaarden uitgevoerd met waar mogelijk gecertificeerde onderdelen.
- M3 - de chauffeur / operator heeft kennis heeft van de gevaren en risico's.
- M4 - de goederen mogen door een BEV worden vervoerd.
- M6 - er zijn duidelijke bewegwijzering, verkeerscirculatie en een maximum snelheid.
- M9 - er zijn geen obstructies die het batterijpakket kunnen beschadigen.
- M10 - voorkom dat een vrachtauto van de weg kan raken of naar beneden kan vallen.
- M11 - bij laden en lossen: minimaliseer andere activiteiten die batterijen kunnen beschadigen.
- M13 - plaats bescherming voor de batterijen zodat deze tijdens laden en lossen niet beschadigd kunnen worden.
- M18 - voorkom ongewenste toegang tot geparkeerde voertuigen in verband met vandalisme en diefstal.

[24] Zie bijvoorbeeld: Incident management LNG fuel tanks van Brandweer Nederland.

Opladen van een BEV

Uit de praktijkproef bleek dat diverse bedrijven de mogelijkheid (willen gaan) bieden voor het opladen van een elektrisch aangedreven vrachtwagen. Het opladen is een risico verhogend scenario, zie BEV O-4, waarvoor de volgende aanvullende maatregelen van belang zijn:

- M31 - alleen laden op daarvoor aangewezen locaties na goedkeuring (o.a. controle BMS en conditie batterijpakket).
- M32 - alleen laden lege vrachtwagen of afgekoppelde trailer/oplegger (geen gevaarlijke stoffen in vrachtwagen).
- M33 - Afstand tussen laden BEV en andere installatiedelen 15 m

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 oplaaien. 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 (M24 en M29). Het is van belang dat de eigenaar / operator hiervan op de hoogte is en dat dit met de brandweer wordt afgestemd (M30). Daarnaast is het van belang dat er een noodstop is aangebracht bij de laadplaats voor BEV (M34).

7. Eventueel gelijkwaardige maatregelen

Deze handreiking bevat aanbevolen maatregelen voor het beheersen van de aanvullende en specifieke risico's van AAV's. In de praktijk kan het voorkomen dat een bedrijf andere maatregelen heeft genomen of wil nemen. Dit bijvoorbeeld omdat de specifieke situatie hier om vraagt of omdat deze maatregelen beter passen bij het bedrijf.

Het is van belang dat deze alternatieve maatregelen minimaal een zelfde mate van risicobeheersing hebben. Voor het beoordelen van alternatieve maatregelen kan gebruik gemaakt worden van de Handreiking Beoordeling gelijkwaardigheid PGS-maatregelen.[25]

[25] Zie: https://publicatiereeksgevaarlijkestoffen.nl/handreikingen/handreiking-beoordeling-gelijkwaardigheid-pgsmaatregelen/

8. Implementatie

In dit hoofdstuk zijn aandachtspunten en ervaringen weergegeven zoals deze door bedrijfsfunctionarissen naar voren zijn gebracht tijdens de uitvoering van de studie en de praktijktests.

8.1 Algemeen

Al tijdens fase 2 was een breed gedragen constatering dat toelating van AAV's op (petrochemische) bedrijfsterreinen effect zal hebben op het veiligheidsbeheerssysteem (VBS) en wel in het bijzonder de volgende elementen hieruit:

- Noodplannen: 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.

8.2 Praktijktests

Bij een aantal bedrijven zijn praktijktests uitgevoerd. Dat wil zeggen bij een aantal bedrijven werd nagegaan in hoeverre de in fase 2 beschreven (en mogelijk verwante) scenario's zich zouden kunnen voordoen op specifieke locaties en op welke wijze deze zouden kunnen worden beheerst en welke bedrijfseenheden / functionarissen hierbij een rol zouden moeten spelen. Dit gaf de volgende leerpunten:

<u>Algemeen:</u>

> Gebruik een plattegrond / luchtfoto van de bedrijfslocatie om te bepalen waar AAVs op deze locatie eventueel gaan rijden, laden/lossen of parkeren. Gebruik daarbij de BowTie scenario's om specifieke AAV risico's te identificeren en om maatregelen te implementeren ter voorkoming of om gevolgen te beperken.
> Zorg voor goede herkenning van AAVs op site, ook op afstand en van verschillende kanten.
> Betrek alle relevante bedrijfsafdelingen bij de implementatie van maatregelen: HSE, Verkeerscommissie, Process safety (extra scenario's in HAZOPs), on site of externe brandweer.
> Denk ook aan risico's die verband houden met de combinatie brandstof – (brandbare) lading.
> Bedenk dat bij parkeren niet zozeer vandalisme het grootste risico vormt, maar meer een externe brand.
> Overweeg alleen eigen chauffeurs over de site laten rijden om risico's te verkleinen.

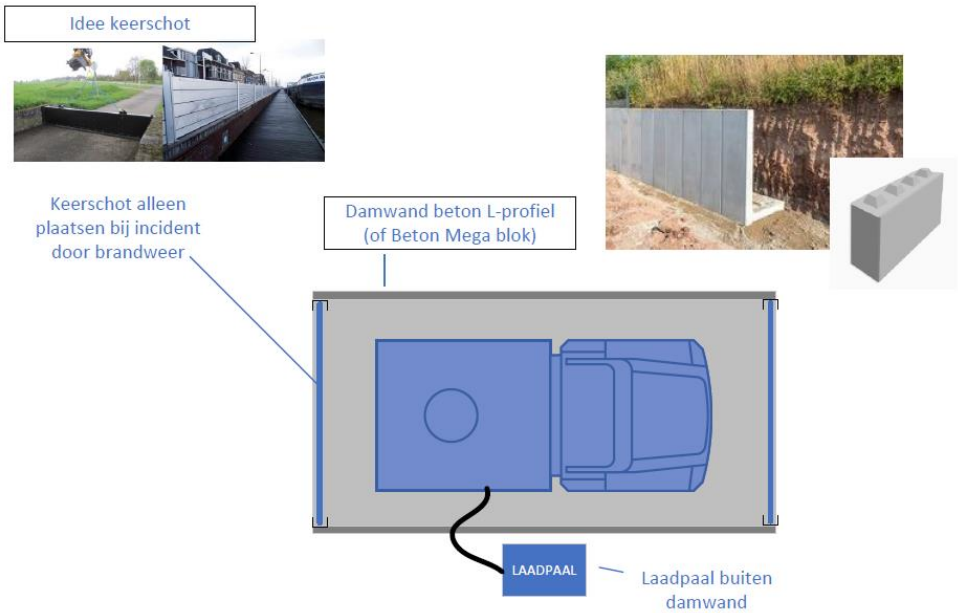
<u>CNG, LNG, H2</u>

> De afblaasrichting van het veiligheidsventiel is van belang. Bedenk dat naar boven afblazen onder installaties mogelijk onwenselijk is. Neem hiertoe contact op met de leverancier.
> Laat AAVs op LNG niet lang wachten in de zon. Zorg voor toegang tot het bedrijfsterrein dat de druk niet te hoog is. Overweeg in de schaduw (onder afdak) te parkeren of te lossen/laden.

<u>BEV (en FCEV):</u>

> Hou rekening met ATEX zones.

> Overweeg: opladen is toch het meest risicovol (toevoegen van energie) en is het brandrisico wel groot genoeg om deze scenario's mee te nemen als er niet wordt opgeladen? Kies dan voor:
  - sta opladen toe onder toezicht;
  - tref een voorziening op of nabij de locatie waarbij alleen mag worden geladen zonder (brandbare) lading; of
  - sta opladen op locatie niet toe.
> Constatering: andere brandoorzaken dan opladen (beschadiging, aanrijding heftruck….) kunnen relatief makkelijk worden weggenomen.
> Met betrekking tot EOS-containers: bedenk dat transport hiervan onder de ADR-regulering valt.
> Kijk of het mogelijk is om informatie over de veiligheidstoestand van het batterijpakket uit het BMS extern uit te lezen, zodat operators, chauffeurs etc. tijdig maatregelen kunnen treffen.
> Overweeg: tijdens een thermal runaway is de verlaadplaats lang bezet.
> Overweeg: voor brandbestrijding is veel water nodig; voldoende bluswater is niet altijd voorradig. Ook zal er veel vervuild bluswater zijn, dat moet worden afgevoerd.
> Kies bijvoorbeeld om een lage dompelbak (80 cm) te monteren voor water rondom batterijen rondom vrachtauto (zie hieronder), of een verdiepte oplaadlocatie die met water kan worden gevuld.



Figuur 5: voorbeeld lage dompelbak voor laden trekker

> Bedenk dat er ook elektrische fietsen scooters e.d. op de locatie aanwezig zijn, hieraan moet ook aandacht worden besteed.

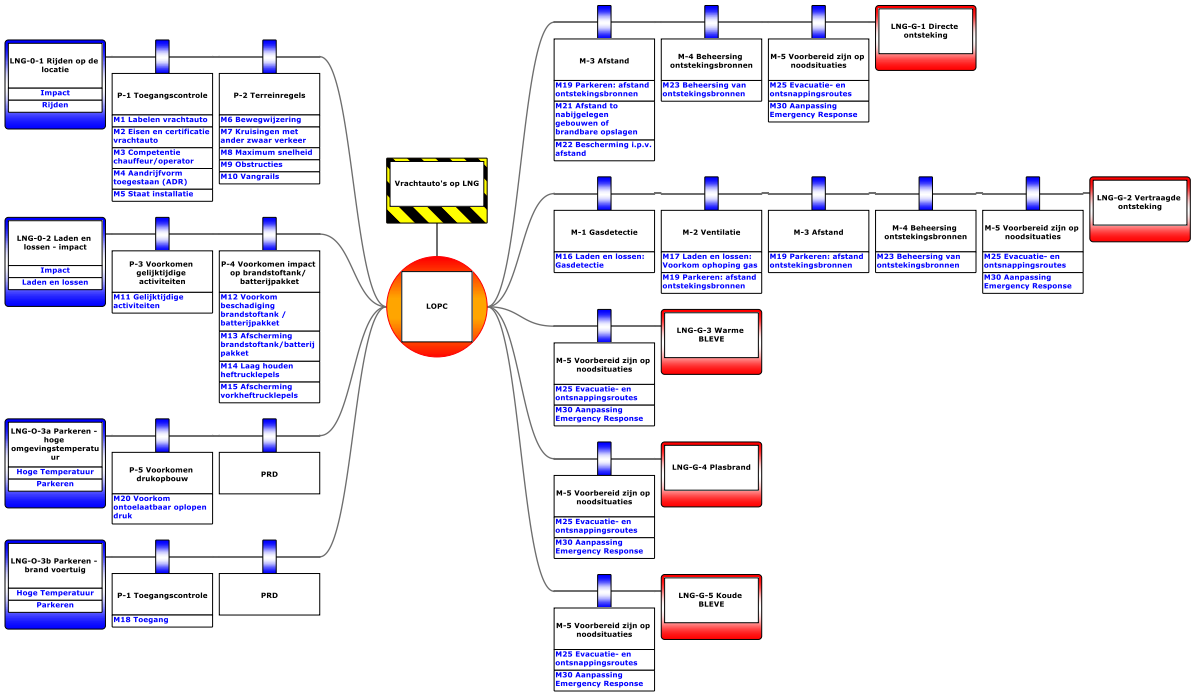
9. Project deelnemers

De praktijkproef AAV Fase 3 werd uitgevoerd in opdracht van het Safety Delta Nederland Kenniscentrum, met medewerking van:

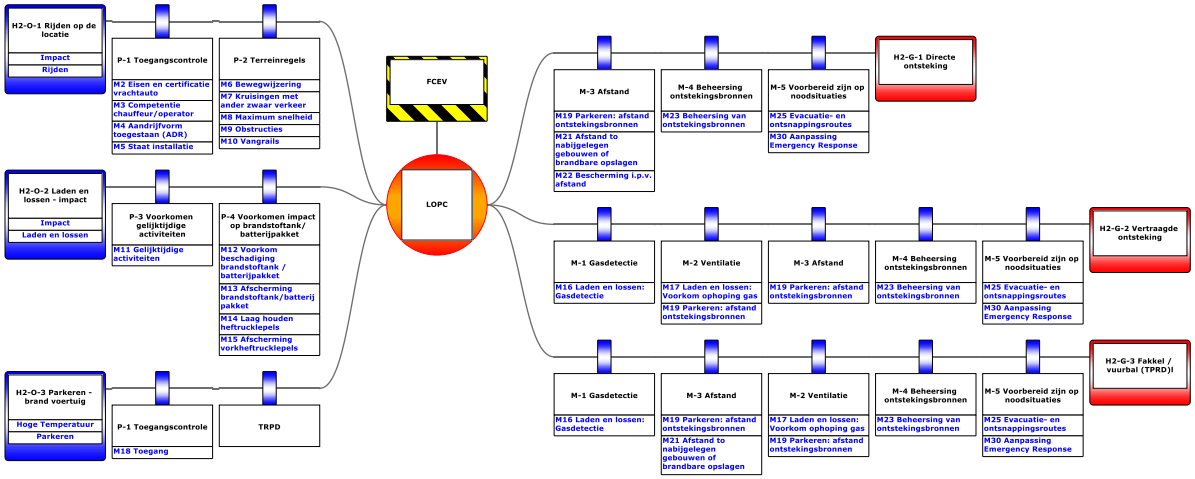
Jan Pieter den Uil	Shell Pernis
Leen Bijl	Shell Nederland
Arno van der Heijden	Shell Moerdijk
Erwin Tijssen	Lyondellbasell
Henk Nusmann	Nobian
Armand Slangen	SABIC (Chemelot)
Henk Bril	SABIC (Chemelot)
Esta de Goede	Sitech (Chemelot)
Rob Smeets	Brandweer Chemelot
Hennie Holtman	VOTOB
Evelien Bos-Steur	Dow Benelux B.V. Terneuzen
René Buyck	Dow Benelux B.V. Terneuzen
Peter Bareman	VNCI
Johan Reinders	NIPV
Alwin van Aggelen	A-RISC
Robert Schenk	New Behavior

10. Bijlage A – BowTies

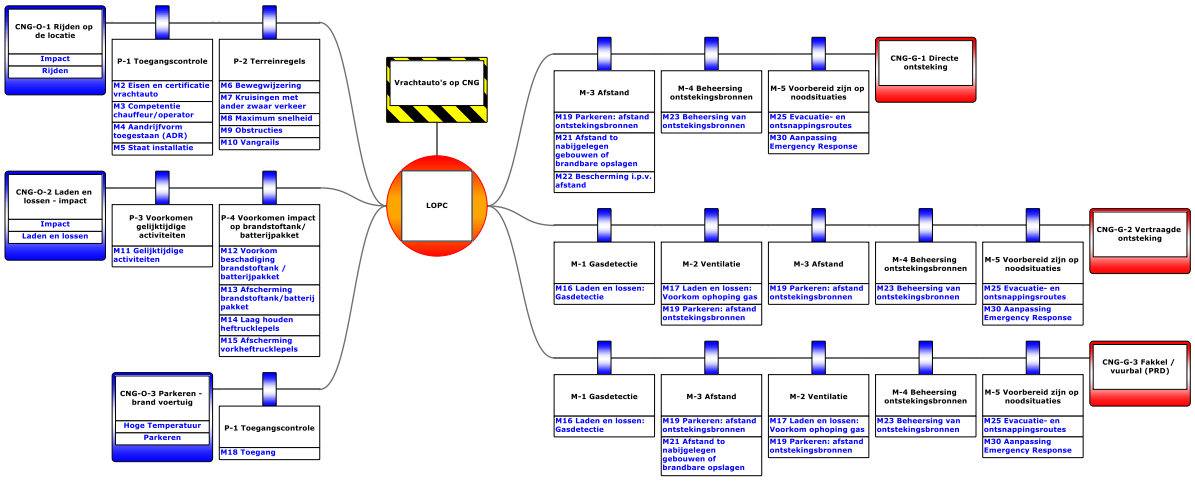
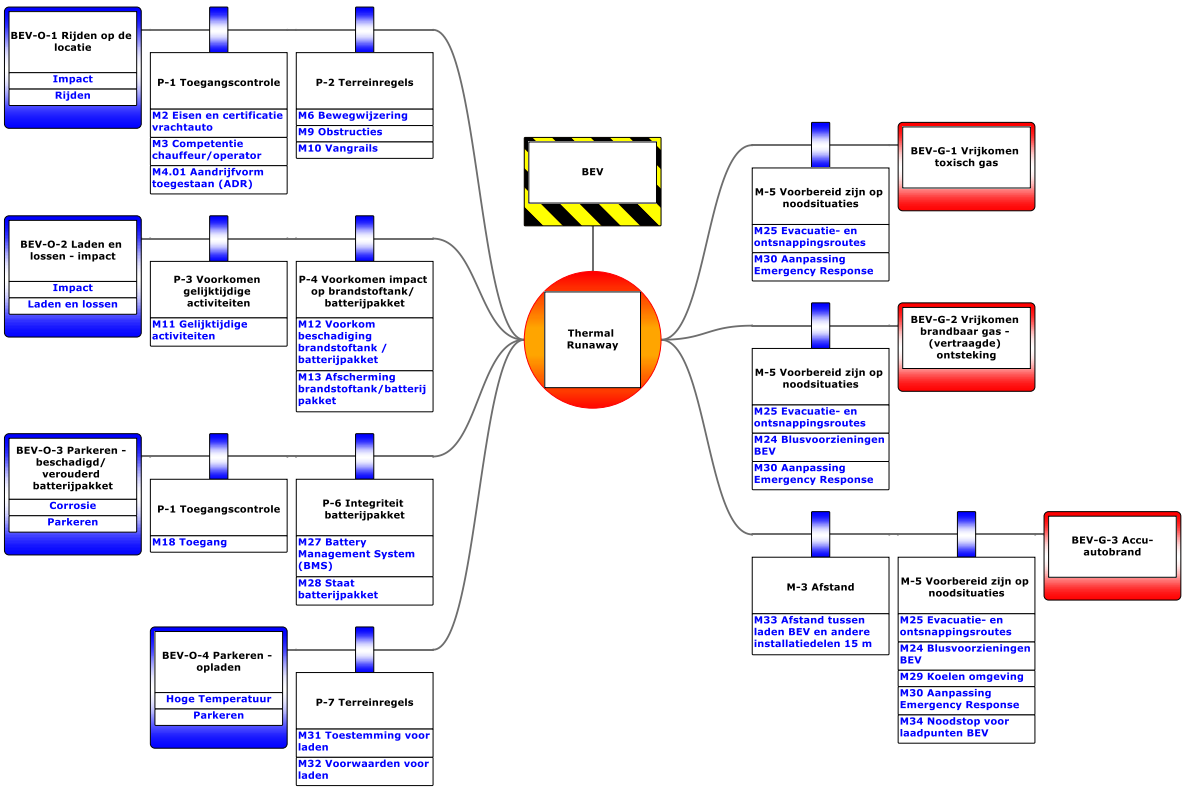
10.1 LNG



10.2 H2



10.3 CNG



10.4 BEV