

# Incidentmanagement zero-emissiebus



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

## Colofon

© Nederlands Instituut Publieke Veiligheid (NIPV), 2024

Auteurs	T. van Harn, T. Hessels
Met medewerking van	M. Spoelstra
Contactpersoon	T. Hessels
Opdrachtgever	Rijksdienst voor Ondernemend Nederland
Contactpersoon	Suzan Reitsma
Datum	23 juli 2024
Coverfoto	NH Media

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</b>	<b>Systeembeschrijving ZE-bussen</b>	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>Risico's van ZE-busvervoer</b>	<b>9</b>
2.1	Risico's van elektrische bussen	9
2.2	Waterstofbus	11
<b>3</b>	<b>Bestaande kaders incidentbestrijding</b>	<b>14</b>
3.1	Overzicht gevonden kaders	14
3.2	Elektrisch aangedreven bussen	15
3.3	Waterstof aangedreven bussen	21
3.4	De drie belangrijkste partijen	27
<b>4</b>	<b>Handelingsperspectief</b>	<b>28</b>
4.1	Elektrisch aangedreven bussen	28
4.2	Waterstof aangedreven bussen	31
	<b>Referentielijst</b>	<b>34</b>
	<b>Bijlage 1: Gebeurtenissenbomen waterstoftanks</b>	<b>36</b>
	<b>Bijlage 2: Oorzaken en gevolgenbomen elektrisch aangedreven bus</b>	<b>38</b>

# Inleiding

## Aanleiding

Het Nederlandse openbaar vervoer verduurzaamt in hoog tempo. Vanaf 1 januari 2025 mogen er geen nieuwe dieselbussen meer worden ingezet, en vanaf 1 januari 2030 is alleen nog zero-emissie busvervoer toegestaan. Dit houdt in dat door diesel aangedreven bussen worden vervangen door schonere, zogenaamde zero-emissie (ZE) aandrijflijnen, te weten waterstof-elektrisch, batterij- elektrisch en in de toekomst mogelijk ook een directe waterstofaandrijving. Deze aandrijflijnen kennen andere veiligheidsrisico's dan de dieselbussen.

CE Delft heeft zeven kennishiaten in beeld gebracht op het gebied van veiligheid van zero-emissie busvervoer (CROW, 2022a). Een daarvan betreft ZE-busincidentmanagement. Het voorliggende rapport is bedoeld om deze leemte in te vullen.

## Doel

Het doel van dit onderzoek is het ontwikkelen van een handelingsperspectief voor incidentbestrijding c.q. -management met betrekking tot zero-emissie busvervoer. De doelgroep van dit rapport bestaat uit de incidentbestrijders bij veiligheidsregio's, met in het verlengde bergers en de calamiteitenorganisatie van busvervoerders.

## Afbakening

### Incident

Het rapport richt zich in eerste instantie op het scenario brand in één zero-emissiebus (verder: ZE-bus) op de openbare weg. Als er sprake is van meerdere bussen in brand, bijvoorbeeld in een stalling, is er al snel sprake van [grootschalig brandweeroptreden](#) en richt het brandweeroptreden zich daarbij met name op het voorkomen van escalatie naar de omgeving. Om deze reden is gekozen voor een scenario met één bus. Daarnaast biedt dit scenario handvatten voor het type incident 'ongeval' waarbij de zero-emissieonderdelen (batterij, waterstof) van de bus schade oplopen. Bij de incidentbestrijding van een zero-emissie-busongeval is sprake van samenwerking tussen verschillende hulpdiensten en partners, zoals brandweer, bergers en busvervoersmaatschappijen.

### Perspectief

Er wordt gekeken naar een incident vanuit de fasen van incidentbestrijding (Molenaar et al., 2016):

- > Alarmeren en uitruk: de start van een incident, van alarmering tot de aankomst van de brandweer.
- > Herkennen: de fase van aankomst van de brandweer waarin het voertuig moet worden herkend als een zero-emissiebus.

- > Verkennen: de verkenningsfase van het incident.
- > Stabiliseren: de fase waarin de handelingen worden verricht om het incident te stabiliseren. Verdere escalatie van het incident wordt in deze fase voorkomen.
- > Bestrijden: het incident wordt bestreden, bijvoorbeeld door het blussen van een brand.
- > Nazorg: de afhandeling van het incident waarbij het voertuig (veilig) wordt geborgen en werkzaamheden kunnen worden verricht om de weg vrij te geven.

## Type bus

Dit onderzoek richt zich op zero-emissiebussen die ingezet worden in het openbaar vervoer.

Deze bussen hebben de volgende kenmerken:

- > RDW-categorie<sup>1</sup>: M2 / M3: Motorvoertuig op vier of meer wielen, ontworpen en gebouwd voor het vervoer van personen, met meer dan negen zitplaatsen, inclusief de bestuurdersstoel.
- > Brandstof: batterij-elektrisch, waterstof-elektrisch of waterstof-aangedreven.

De gebruikte onderdelen en het ontwerp kunnen aanzienlijk verschillen tussen diverse merken en modellen ZE-bussen. Dat valt ook terug te zien op de rescue informatie sheets.

Deze verschillen kunnen van invloed zijn op het verloop van branden, de benodigde hoeveelheid bluswater en de hoeveelheid toxische stoffen die vrijkomt.

## Methode

Voor het ontwikkelen van het handelingsperspectief zijn vier stappen gezet, te weten:

1. het uitvoeren van een risicoanalyse
2. het inventariseren van bestaande procedures
3. het uitwerken van een eenduidig landelijk handelingsperspectief
4. een klankbordsessie.

Deze stappen worden hieronder toegelicht.

### Risicoanalyse

Om het handelingsperspectief voor incidentbestrijding goed te kunnen ontwikkelen, zijn de veiligheidsrisico's van zero-emissie bussen in kaart gebracht. Hiertoe is gebruikgemaakt van de eerder uitgevoerde studies van het NIPV naar de risico's van ZE-bussen (CROW, 2022b, 2023; Instituut Fysieke Veiligheid, 2016, 2020).

### Inventarisatie reeds bestaande procedures en analyse

De landelijke les- en leerstof en incidentbestrijdingsplannen van veiligheidsregio's, bergers en busvervoerondernemingen zijn verzameld en bestudeerd.

### Uitwerken van een eenduidig landelijk handelingsperspectief

De kennis uit de risicoanalyse en inventarisatie van beschikbare veiligheidsplannen is gebruikt bij de uitwerking van een eenduidig landelijk handelingsperspectief voor zero-emissie busincidentmanagement voor zowel brandweer, bergers als busvervoerondernemingen. Daarbij is ook ingegaan op de stappen die de betrokken busvervoeronderneming als eerste kan treffen.

<sup>1</sup> <https://www.rdw.nl/particulier/paginas/voertuigcategorien>.

### **Klankbordsessie handelingsperspectief met brandweer en bergingsbedrijven**

Het handelingsperspectief is in 1-op-1 overleggen en tijdens de begeleidingscommissies gepresenteerd aan de betrokken bij ZE-busincidentmanagement (veiligheidsregio's, bergers en busvervoersondernemingen). Op basis van de opgehaalde input is het handelingsperspectief waar nodig bijgesteld.

## **Leeswijzer**

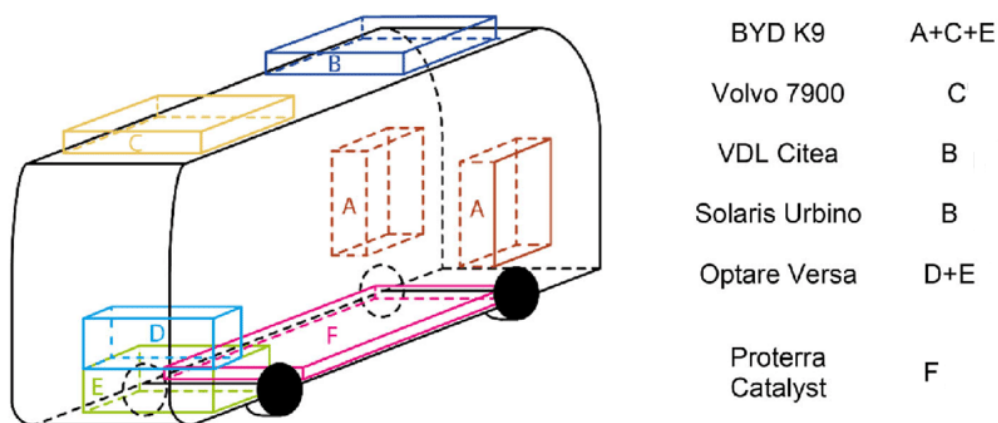
Hoofdstuk 1 geeft een beschrijving van het systeem van zero-emissiebussen. Vervolgens worden in hoofdstuk 2 de risico's van zero-emissiebussen beschreven met betrekking tot incidentbestrijding. Hoofdstuk 3 biedt een overzicht van de reeds beschikbare kaders op het gebied van incidentbestrijding bij ZE-bussen. Deze informatie is verwerkt in het handelingsperspectief dat staat weergegeven in hoofdstuk 4.

# 1 Systeembeschrijving ZE-bussen

Het grootste verschil tussen ZE-bussen en conventionele bussen<sup>2</sup> is de manier waarop de energie is opgeslagen die wordt gebruikt voor de aandrijving. Waar bij conventionele bussen de energie opgeslagen zit in bijvoorbeeld diesel, bevindt de energie in ZE-bussen zich in waterstoftanks en/of batterijpakketten (CROW, 2022b).

Voor het verkrijgen van technische informatie over ZE-bussen is gebruikgemaakt van het Crash Recovery Systeem (CRS), dat ook wordt gebruikt door diverse brandweerkorpsen in Nederland. Deze applicatie bevat rescue sheets die de belangrijkste veiligheidsonderdelen weergeven die horen bij de ZE-bussen die op de Nederlandse wegen rijden. De sheets zijn geanalyseerd om de plaatsing van batterijpakketten, waterstoftanks en de waterstofinstallatie in kaart te brengen.

De batterijpakketten van een elektrische bus bevinden zich op één plaats of zijn verdeeld over meerdere plaatsen in de bus, afhankelijk van het merk en model (Bisschop, Willstrand, & Rosengren, 2020). Afbeelding 1.1 geeft mogelijke locaties van de batterijpakketten in de bus weer. Om ervoor te zorgen dat een bus over voldoende energie beschikt gedurende diensttijd, wordt deze veelal buiten de dienstregeling opgeladen op het depot. Minder frequent worden batterijpakketten onderweg opgeladen via laadpunten (opportunity charging), veelal via een pantograaf.



**Afbeelding 1.1 Mogelijke plaatsen van batterijpakketten in elektrische bussen (Bisschop et al., 2020)**

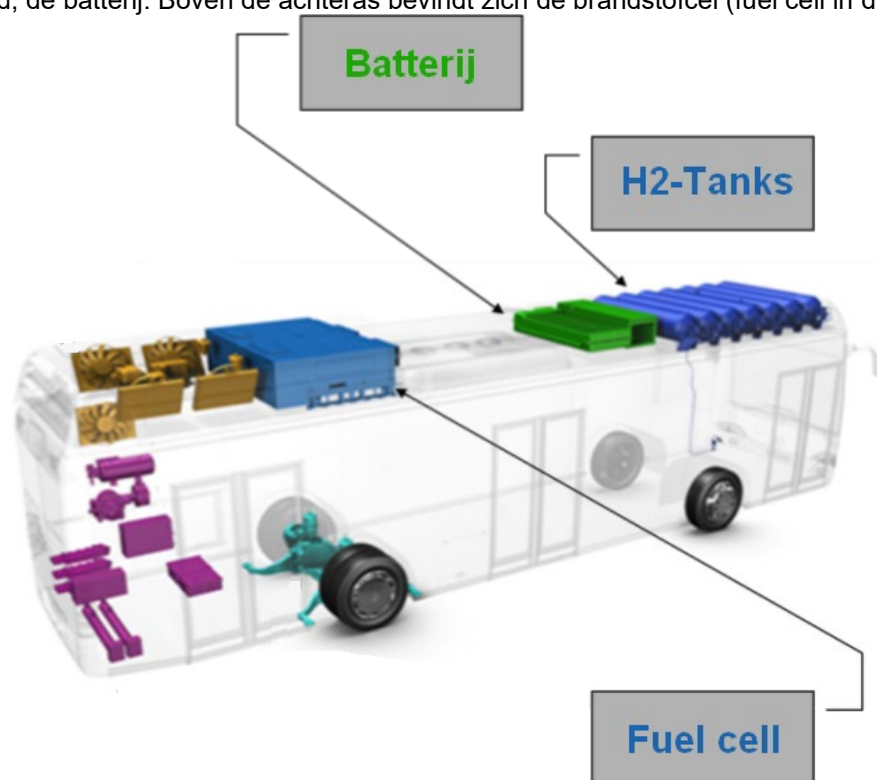
Waterstoftanks op waterstofbussen komen voor in verschillende maten en volumes. De druk in de tanks is maximaal 350 bar (Brandweer Nederland, 2019a). Uit de CRS rescue sheets

<sup>2</sup> Bussen aangedreven door fossiele brandstoffen (diesel, aardgas etc.).



blijkt dat waterstoftanks aan de voorkant op het dak van de bus liggen. De grootte van de tanks en hun exacte positionering verschillen per merk en model.

Waterstofbussen tanken bij een waterstoftankstation op een druk van 350 bar. Tijdens het rijden zet een brandstofcel waterstof om in elektrische energie, die wordt opgeslagen in een batterijpakket. Deze energie wordt gebruikt voor het aandrijven van de elektromotor(-en). Het laden van de batterij vindt dus plaats tijdens het rijden, en niet op het depot. Door de continue aanvoer van energie vanuit de brandstofcel volstaat voor een waterstofbus in vergelijking met een batterij-elektrische bus een lagere batterijcapaciteit, en dus een kleiner batterijpakket (CROW, 2022b; CROW 2023). Uit de CRS rescue sheets blijkt dat de locatie van de brandstofcel en het batterijpakket per merk en model kan verschillen. Afbeelding 1.2 geeft een voorbeeld van waar de onderdelen van een waterstofbus zich kunnen bevinden. De waterstoftanks bevinden zich aan de voorkant van de bus. Daarachter ligt, in dit voorbeeld, de batterij. Boven de achteras bevindt zich de brandstofcel (fuel cell in dit figuur).



Afbeelding 1.2 Onderdelen waterstofbus (Fuelcellbuses.eu, n.d.)



## 2 Risico's van ZE-busvervoer

In ZE-bussen zit de energie opgeslagen in waterstoftanks en/of batterijpakketten. Dit zijn tevens twee onderdelen die veiligheidsrisico's met zich meebrengen die anders zijn dan de risico's van conventionele bussen (CROW, 2022b), zie paragraaf 2.1 en 2.2.

Het aantal branden met ZE-bussen in Nederland is (nog) gering en de brandoorzaak is vaak onbekend. Wel is bekend dat de verspreiding van een beginnende tot een volledige brand in een elektrische bus zeer snel verloopt (in ongeveer 2-3 minuten) (Reitmeier, 2022). Een onderzoek (CROW, 2022b) uit de periode van 2015 t/m 2019, waarin plug-in hybride en non-plug-in hybride elektrische bussen werden onderzocht, concludeerde dat de kans op brand in een elektrische bus laag is en dat ontsteking van een elektrisch voertuig na een ongeval zeldzaam is.

Buiten de energievoorziening en -opslag om bevatten ZE-bussen vergelijkbare hoeveelheden brandbaar materiaal als conventionele bussen. Het brandgedrag van deze materialen zal ook niet (veel) afwijken (CROW, 2022b). In de hierop volgende paragrafen wordt nader ingegaan op de specifieke risico's van elektrisch aangedreven- en waterstof aangedreven bussen.

### 2.1 Risico's van elektrische bussen

Het batterijpakket van een elektrische bus maakt gebruik van lithium-ion batterijtechnologie. Het grootste veiligheidsrisico van een lithium-ion batterijpakket is een thermal runaway (CROW, 2022b). Dit is een ongewenst chemisch proces waarbij de temperatuur van een batterijcel flink stijgt. Dit kan veroorzaakt worden door een thermische, elektrische of mechanische storing in de batterijcel, die ontstaat door een impact van bijvoorbeeld een ongeluk of een fout tijdens het laadproces. Door een thermal runaway worden naburige cellen ook oververhit, waardoor ook deze in thermal runaway raken. De thermal runaway kan zich op deze manier uitbreiden door het gehele batterijpakket. Tijdens een thermal runaway komt een brandbaar en toxisch gasmengsel vrij (NIPV, 2023b).

Een thermal runaway kan leiden tot een drietal effecten (NIPV, 2023b):

- > batterijbrand
- > toxische wolk
- > dampwolkexplosie

Een van de gassen die bij een brand met een ZE-voertuig in hogere mate vrijkomt, is waterstoffluoride (HF). Hiervan is bekend dat het een hoog bindvermogen<sup>3</sup> heeft, waardoor de concentratie snel af zal afnemen in de tijd (NIPV, 2023b; Rosmuller, van der Graaf, & Hessels, 2021). Gebeurtenissen die kunnen plaatsvinden als gevolg van een thermal runaway zijn lancerende cellen en brandoverslag naar andere objecten (NIPV, 2023b).

---

<sup>3</sup> De capaciteit van een stof om zich te binden aan andere materialen en stoffen.

Er bestaat de nodige onzekerheid over zowel het volume als percentage brandbaar en toxisch gas dat vrijkomt bij een lithium-ion batterijbrand (Baird, Archibald, Marr, & Ezekoye, 2020). Uit het onderzoek (DNV-GL, 2019) blijkt dat dit tussen de 300 en 6000 liter/kWh is. Een gasmengsel van een thermal runaway ontsteekt in de meeste gevallen direct, maar kan in bepaalde gevallen ook vertraagd ontsteken waardoor een explosie wordt veroorzaakt.

Een thermal runaway houdt zichzelf in stand tot alle energie uit de batterij is en kan het best bestreden worden door koeling: hiervoor zijn grote hoeveelheden bluswater nodig (NIPV, 2023b). Omdat een batterijpakket goed is afgeschermd tegen weersinvloeden van buiten, maakt dit de brandbestrijding lastig (NIPV, 2023a).

Manieren waarop de oplaadvoorziening brand kan veroorzaken, zijn het gebruik van een ondeugdelijke laadkabel of een ongeval waarbij een voertuig tegen een laadpaal aanrijdt (CROW, 2022b). In bijlage 2 worden oorzaken weergegeven die kunnen leiden tot een elektrische busbrand (Reinders, 2022).

Hallen en overkappingen bevorderen branduitbreiding en bemoeilijken het koelen van de batterijen (Reitmeier, 2022). Zoals vermeld, breidt een brand in een elektrische bus zich zeer snel uit (binnen 2-3 minuten), wat resulteert in enorme hoeveelheden rookgas en warmte die moeilijk af te voeren zijn uit de stalling (CROW, 2022b).

Bij brand komt energie<sup>4</sup> vrij. Bij brandende personenauto's met een batterij komt 10-15 % minder energie vrij dan dezelfde soort voertuigen met een dieseltank. Omdat de totale vuurbelasting van elektrische bussen waarschijnlijk niet veel zal verschillen van dieselbussen, is de verwachting dat de hoeveelheid energie die bij een brand per seconde vrijkomt van een elektrische bus daarom eenzelfde ordegrrootte lager is dan die van een conventionele bus (CROW, 2022b). De brandduur van een elektrische bus daarentegen is wel langer vanwege het brandende batterijpakket.

Het belangrijkste verschil in brandverloop tussen conventionele bussen en elektrische bussen is de kans op herontsteking van het batterijpakket en de noodzaak tot het gebruik van grote hoeveelheden bluswater om een thermal runaway te stoppen of voorkomen (Instituut Fysieke Veiligheid, 2016; NIPV, 2023b). Daarnaast kan een batterijbrand ook ontstaan gedurende het laden, en dus tijdens het stallen van een elektrische bus (CROW, 2022b, 2023).

#### **Voorbeeld van een incident met een elektrische bus**

Op zaterdagochtend 12 december 2020 om 02:25 uur meldt een Connexxion-chauffeur dat er een elektrische bus in brand staat aan de Jan van Krimpenweg in Haarlem (Brandweer Kennemerland, 2020). De brand is uitgebroken aan de achterkant, naast een tent voor onderhoud en andere bussen. De chauffeur probeert de overige bussen weg te rijden.

Bij aankomst van de brandweer staan inmiddels vier bussen in brand. Het incident wordt opgeschaald naar een zeer grote brand. Door het verplaatsen van de omliggende bussen en het bluswerk van de brandweer blijft de schade beperkt tot de vier bussen.

In totaal zijn vier eenheden en een ladderwagen met torenstraal ingezet om de brand te bestrijden. In eerste instantie traden de brandweerlieden offensief op; vervolgens gingen ze over op een

<sup>4</sup> Heat Release Rate (kW/m<sup>2</sup>).

defensieve aanpak door een stoplijn te creëren. Daarna richtten ze zich op het verder koelen van de batterijen en het blussen van de brand. De watervoorziening werd verzorgd door waterwagens, die gevuld werden door een pomp.

Brandonderzoek wijst uit dat de brand is begonnen in het 24V-systeem aan de achterzijde van de eerste bus, veroorzaakt door een technische storing. Omdat de bussen dicht op elkaar stonden (ongeveer 0,80 meter), sloeg de brand door hittestraling en direct vlamcontact over naar drie andere bussen. De hoogspanningsbatterijen (HV) waren niet direct betrokken, maar droegen indirect bij aan de brand, omdat zij het 24V-systeem van stroom voorzagen. Oorzaken zoals opladen, opzettelijk handelen of weersomstandigheden zijn uitgesloten.

## 2.2 Waterstofbus

De specifieke risico's van een waterstofbus zijn gelegen in het batterijpakket, de waterstof en de waterstofinstallatie. De risico's met betrekking tot het batterijpakket zijn hetzelfde als die van een elektrische bus. Echter, het batterijpakket van een waterstofbus is kleiner, wat resulteert in een lagere energie-inhoud en brandvermogen (CROW, 2023).

Er zijn onvoldoende incidentgegevens beschikbaar om iets te kunnen zeggen over de kans op een incident met een waterstofbus, omdat het aantal waterstofbussen in Nederland fors kleiner is dan het aantal elektrische bussen (Zelfde bron als die hierboven) (CROW, 2023b). Gebeurtenissen die andersoortige risico's veroorzaken met een waterstofbus, vergeleken met een conventionele bus, zijn een waterstoflekkage, aanstraling van de waterstoftanks door een externe brand en een batterijbrand<sup>5</sup> (CROW, 2022b).

De manieren waarop waterstof kan vrijkomen bij bussen is hetzelfde als bij auto's. Het principe van de aandrijving is vergelijkbaar (ANWB, n.d.). Voor bussen zijn er echter andere mogelijkheden waarop een botsing kan plaatsvinden. Uit de analyse van de CRS-kaarten (zie hoofdstuk 1) is gebleken dat de waterstoftanks van ZE-bussen in Nederland zich aan de voorkant bovenop de bus bevinden. Wij achten het mogelijk dat wanneer een bus onverhoopt onder een te laag viaduct doorrijdt, de waterstoftanks impact kunnen ondervinden waardoor de waterstofinstallatie beschadigd wordt.

### Voorbeeld van een incident met een waterstofbus

Op 1 februari 2024 omstreeks 19:15 uur reed een bus met vijf waterstofcilinders onder een te laag viaduct door in het Drentse Wijster (Meternieuws.nl, 2024). De bus reed ongeveer 45 km/h en kwam deels vast te zitten onder het viaduct. Hierdoor werd de klep van het 600-volt-batterijpakket opengebogen. Het batterijpakket raakte niet in thermal runaway en andere delen van de bus kwamen niet onder stroom te staan. De stroom naar de elektromotor werd door zekeringen onderbroken.

Bij twee van de vijf waterstofcilinders functioneerden de veiligheidskleppen correct, waardoor er geen waterstof kon ontsnappen. Bij de overige drie cilinders waren de veiligheidskleppen

<sup>5</sup> Kleinschaliger dan bij een elektrische bus.

verschoven, waardoor de 8 kg waterstof die nog in deze cilinders aanwezig was, kon ontsnappen. De resterende waterstof in de installatie werd afgeblazen. Er heeft geen ontbranding van het waterstofgas plaatsgevonden.

Er zijn drie oorzaken die ten grondslag kunnen liggen aan het vrijkomen van waterstof bij een personenauto (Spoelstra, 2021):

- > Brand
- > Botsing
- > Lekkage

De gebeurtenissenbomen in bijlage 1 laten zien dat het vrijkomen van waterstof kan leiden tot een explosie of een fakkel (Spoelstra, 2021).

### 2.2.1 Explosie

Er kunnen meerdere oorzaken ten grondslag liggen aan een explosie. Bij onvoldoende ventilatie kan een brandbaar mengsel van lucht en waterstof ontstaan. Dit mengsel kan vervolgens door een ontstekingsbron tot een explosie leiden.

Beschadigingen aan de tank waardoor dusdanige grote hoeveelheden gas vrijkomen en er een mengsel ontstaat dat een explosie veroorzaakt, zijn door de weerstand van waterstoftanks tegen impact echter niet te verwachten (CROW, 2023).

### 2.2.2 Fakkel

Een veiligheidsmaatregel om te voorkomen dat een waterstoftank explodeert is het aanbrengen van een TPRD<sup>6</sup>. De TPRD op waterstoftanks van bussen opent bij een temperatuur van 110 graden Celsius en een druk in de tank van circa 420 bar (CROW, 2022b). Hoe lang het exact duurt tot de TPRD opent, hangt af van de intensiteit van de hittestraling en de manier waarop de tanks worden aangestraald, maar dit is veelal na 6-12 minuten aanstraling. Wanneer de TPRD opent, ontstaat er een fakkelbrand die alleen zichtbaar is met een warmtebeeldcamera. De waterstoffakkel die vrijkomt bij het afblazen na het openen van de TPRD is zeer heet (tot 2.000 °C), maar heeft een lage warmtestraling haaks op de fakkel (Brandweer Nederland, 2019b). De fakkel wordt zichtbaarder naarmate deze meer vervuild raakt. De waterstoffakkel gaat gepaard met een zeer hard geluid (Brandweer Nederland, 2019b; CROW, 2022b)

Na het openen van de TPRD duurt het afblazen van waterstof uit de tank circa tien minuten. De waterstoftank stroomt daarbij leeg tot de druk in de tank gelijk is aan de druk buiten de tank. Er blijft dus altijd een resthoeveelheid waterstof achter in de tank (Brandweer Nederland, 2019b; CROW, 2022a, 2022b; Veiligheidsregio Noord- en Oost-Gelderland, 2022).

Tanks blazen afzonderlijk af; wanneer een tank heeft afgeblazen, kunnen andere tanks daarom nog vol waterstof zitten en op een ander moment ook afblazen (Veiligheidsregio Noord- en Oost-Gelderland, 2022). De kans op het falen van een TPRD is klein, maar niet uitgesloten. Meer hierover is te vinden in paragraaf 5.5.2 van het onderzoek [Waterstofauto's in parkeergarages](#) (Spoelstra, 2021).

---

<sup>6</sup> Thermal Pressure Relief Device.

De lengte van de fakkel is afhankelijk van de grootte van de opening in de TPRD en de druk in de tank. Naarmate de tank leger raakt wordt de lengte van de fakkel korter omdat de druk in de tank afneemt (Brandweer Nederland, 2019a; CROW, 2023)

Wanneer een lek gedetecteerd wordt door een van de sensoren in een waterstofvoertuig, wordt de toevoer van waterstof vanuit de tank afgesloten, zodat alleen de inhoud van het leidingsysteem vrijkomt. Dit leidt naar verwachting niet tot een ontvlambare wolk, omdat het leidingsysteem weinig waterstof bevat dat bij vrijkomen bovendien meteen verdund wordt (Spoelstra, 2021).

# 3 Bestaande kaders incidentbestrijding

Dit hoofdstuk verschaft informatie op het gebied van incidentbestrijding die van belang is voor het opstellen van een specifiek handelingsperspectief voor ZE-bussen. Deze informatie is afkomstig uit de in paragraaf 3.1 weergegeven bestaande kaders en wordt in paragrafen 3.2 en 3.3 gerubriceerd naar de incidentfases: alarmeren, herkennen, verkennen, stabiliseren, bestrijden en nazorg.

## 3.1 Overzicht gevonden kaders

De volgende documenten zijn voor de analyse van de kaders op het gebied van incidentbestrijding geraadpleegd. Schuingedrukte tekst geeft daarbij de titel van het document weer, met daaronder een korte toelichting op dit document:

- > *Aandachtskaart Bestrijding incidenten voertuigbrand met H2* (Brandweer Nederland, 2019b).  
Deze aandachtskaart geeft een handelingsperspectief voor het optreden bij incidenten met een waterstofvoertuig.
- > *Aandachtskaart Bestrijding incidenten H2 brandstoftanks* (Brandweer Nederland, 2019a).  
Deze aandachtskaart geeft een handelingsperspectief voor het optreden bij incidenten met waterstofbrandstoftanks.
- > *Aandachtskaart waterstof (drukhouder, gasvormig)* (Brandweer Nederland, 2019c).  
Deze aandachtskaart geeft een handelingsperspectief voor het optreden bij incidenten met waterstofdrukhouders.
- > *Aandachtskaart bestrijding incident e-voertuig (hybride of elektrisch voertuig)* (Brandweeracademie, 2020).  
Deze aandachtskaart geeft een handelingsperspectief voor het optreden bij incidenten met hybride of elektrische voertuigen.
- > *Aandachtskaart Lithium-ion energiedragers* (Brandweer Nederland, 2021).  
Deze aandachtskaart geeft een handelingsperspectief voor het optreden bij incidenten met lithium-ion batterijen.
- > *Veiligheidsaspecten van het laadproces van elektrische bussen in de openbare ruimte in de IJssel-Vecht concessie* (Instituut Fysieke Veiligheid, 2020).  
Onderzoeksrapport naar het borgen van de veiligheid van reizigers tijdens een calamiteit tijdens het laadproces en het richting geven aan een calamiteitenbestrijdingsprotocol.
- > *Integraal veiligheidsplan elektrische bussen: landelijke kaders en toepassing* (Reinders, 2022).  
De doelstelling van dit onderzoek is het ontwikkelen van integrale veiligheidskaders. Uit dit document zijn geen handelingsperspectieven voor incidentbestrijding naar voren gekomen.

- > *Inventarisatie veiligheidsaspecten zero-emissiebussen* (CROW, 2022a).  
Studie van CE-Delft naar de veiligheidsaspecten van zero-emissiebussen in Nederland. Dit rapport bespreekt enkele rapportages die ook in dit onderzoek worden besproken; daarom is overlappende informatie weggelaten.
- > *Naslagwerk (H)OvD en AGS aandachtkaart elektrisch aangedreven voertuigen* (Brandweer Nederland, 2023a).  
Conceptversie van de aandachtkaart voor optreden (hoofd)officieren van dienst en adviseur gevaarlijke stoffen bij incidenten met elektrisch aangedreven voertuigen.
- > *Naslagwerk (H)OvD en AGS aandachtkaart waterstof aangedreven voertuigen* (Brandweer Nederland, 2023b).  
Conceptversie van de aandachtkaart voor optreden (hoofd)officieren van dienst en adviseurs gevaarlijke stoffen bij incidenten met waterstof aangedreven voertuigen.
- > *Rapport Brandonderzoek Waterstofbus Doetinchem* (Veiligheidsregio Noord- en Oost-Gelderland, 2022).  
Onderzoeksrapport naar een brand in een waterstofbus in een remise in Doetinchem.
- > *Presentatie brand elektrische bus Roeselare* (Nachtergaele, 2022).  
Presentatie over het incidentverloop van een brand in een elektrische bus in Roeselare, België.
- > *Rescue sheet Autobus Volvo 7900 Electric* (Volvo Buses, 2022).  
Rescue sheet met informatie over elektrische Volvo bus 7900 electric.


## 3.2 Elektrisch aangedreven bussen

Relevante informatie die is verkregen uit de bestudeerde kaders staat weergegeven in tabel 3.1 hieronder. Links staat de incidentfase, de middelste kolom specificeert de bron en de rechtse kolom omschrijft de gevonden informatie.

**Tabel 3.1 Informatie en aanpak incidentbestrijding elektrische bussen**

Incidentfase	Kader	Informatie en aanpak incidentbestrijding elektrische bussen
Alarmering	Veiligheidsaspecten (...) IJssel-vecht concessie	Brandweer: <ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Bovenwinds aanrijden.</li> </ul> Buschauffeur/-vervoersbedrijf: <ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Stel het veiligheidsprotocol in werking.</li> <li>&gt; Trek de pantograaf in.</li> <li>&gt; Stuur een bedrijfsdeskundige ter plaatse.</li> </ul>
	Rescue sheet Autobus Volvo 7900 Electric	Buschauffeur/-vervoersbedrijf: <ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Het brandalarm op het dashboard duidt mogelijk op een beginnende batterijbrand.</li> <li>&gt; Druk op de noodknop.</li> <li>&gt; Verwijder de oplaadkabel.</li> <li>&gt; Als de bus wordt opgeladen via een oplaadrails, druk dan op de noodstopknop op de pantograaf-laadpaal.</li> </ul>
Herkennen	Aandachtskaart bestrijding incident e-voertuig (hybride)	> Een elektrisch voertuig heeft geen uitlaat. De laadstekker kan zich op allerlei plaatsen op het voertuig bevinden.



Incidentfase	Kader	Informatie en aanpak incidentbestrijding elektrische bussen
	of elektrisch voertuig)	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Hybride personenauto's zijn vaak herkenbaar aan de naam Hybrid. De naam van elektrische voertuigen bevat regelmatig e-, E, electric, Ampère, Volt, maar er zijn ook voertuigen met andere namen (bijv. BMW i3, Citroën C-Zero, Jaguar I-Pace, Nissan Leaf, Renault Zoe, Tesla).</li> </ul>
	Aandachtskaart Lithium-ion energiedragers	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Grijs/witte rook met typische chemie/elektriciteitsgeur, in aanvang weinig pluimstijging.</li> <li>&gt; Mogelijke aanwezigheid van stickers:</li> </ul> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;">   </div>
	Naslagwerk (H)OvD en AGS aandachtskaart elektrisch aangedreven voertuigen	<p>Risico's</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Hoogvoltage (max 800V) battery packs en -kabels. Er kan spanning op de battery pack en het voertuig staan en er kan een vlamboog ontstaan. Kans op elektrocutie / elektrische schok is met gebruik van PBM uitgesloten.</li> <li>&gt; Kans op blijvende stroomtoevoer als het voertuig aan een laadpaal staat.</li> <li>&gt; Spontaan rollen.</li> <li>&gt; Voertuigen kunnen nog een brandstofcel bevatten.</li> </ul>
Verkennen	Aandachtskaart bestrijding incident e-voertuig (hybride of elektrisch voertuig)	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Alle voorzorgsmaatregelen bij het optreden bij reguliere voertuigen gelden ook voor e-voertuigen (airbaghoezen, scherpe voorwerpen afschermen voor het slachtoffer, etc.).</li> <li>&gt; Achterhaal via CRS informatie over energiebron/brandstof, voertuigconstructie, veiligheidsvoorzieningen en de-activatie van het aandrijfsysteem.</li> <li>&gt; Neem contact op met OvD/AGS. Deze kan informatie ophalen of geven over de toxiciteit van de chemische stoffen die vrijkomen uit de battery pack.</li> </ul>
	Aandachtskaart Lithium-ion energiedragers	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Probeer te achterhalen waar de rook vandaan komt.</li> <li>&gt; Wees bedacht op secundaire brandhaarden door wegschietende accucellen (waarborg terugtocht, let op eigen veiligheid).</li> <li>&gt; Vermijd contact met de rook als het niet noodzakelijk is voor de werkzaamheden.</li> <li>&gt; Raadpleeg bij twijfel over de (toxiciteit van de) situatie zo spoedig mogelijk de AGS.</li> <li>&gt; Bij EOS of elektrisch voertuig: duid de betrokkenheid van de accu. Dat kan door: <ul style="list-style-type: none"> <li>– de eigenaar te raadplegen; deze beschikt mogelijk over een op afstand uit te lezen systeem</li> </ul> </li> </ul>

Incidentfase	Kader	Informatie en aanpak incidentbestrijding elektrische bussen
		<ul style="list-style-type: none"> <li>– te zien of er rook komt uit het accucompartiment, tezamen met warmteontwikkeling, evt. via WBC.</li> <li>&gt; Bij rook, maar geen warmteontwikkeling, is er niet per definitie een thermal runaway. <ul style="list-style-type: none"> <li>– Bepaal voor aanvang van de verkenning de hot/warm/cold zone.</li> </ul> </li> </ul>
	Veiligheidsaspecten (...) IJssel-vecht concessie	Brandweer: <ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Controleer of de pantograaf is ingetrokken.</li> </ul>
	Naslagwerk (H)OvD en AGS aandachtskaart elektrisch aangedreven voertuigen	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Verken op beschadigingen aan hoog voltage (oranje) kabels en het beschadigingen/vervormingen van het accupakket. Een instabiele accu vormt CO (CO-meter).</li> <li>&gt; Verken op lekkage van vloeistoffen zoals elektrolyt uit het accupakket.</li> <li>&gt; Neem contact op met de AGS. Deze kan informatie ophalen of geven over de toxiciteit van de chemische stoffen die vrijkomen uit de battery pack.</li> <li>&gt; Het trekken van een serviceplug is geen handeling voor hulpverleners.</li> </ul>
Bestrijden & stabiliseren	Aandachtskaart bestrijding incident e-voertuig (hybride of elektrisch voertuig)	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Persoonlijke beschermingsmiddelen (PBM) en hulpmiddelen bij bestrijding: <ul style="list-style-type: none"> <li>– geheel gesloten, droge uitrukkleding</li> <li>– onafhankelijke adembescherming</li> <li>– adembescherming voor passagiers bij ontgassende battery pack (als dat niet mogelijk is voertuig ventileren)</li> <li>– 1000 V-handschoenen met schacht over de mouw van de uitrukjas</li> <li>– warmtebeeldcamera (WBC)</li> <li>– 4-gasmeter</li> <li>– droog isolerend gereedschap.</li> </ul> </li> <li>&gt; Let op! Voer bij elk stap een Laatste Minuut Risico Analyse (LMRA) uit, omdat de gevaren divers zijn en niet altijd zichtbaar of herkenbaar.</li> </ul> <p><i>Scenario: Brand</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Ontruim zo nodig de omgeving.</li> <li>&gt; Zorg dat het voertuig zich niet kan verplaatsen. Zet het voertuig in de parkeerstand en activeer de handrem. Zet de motor uit en bewaar de sleutel op minimaal 5 m afstand. Blokkeer de wielen.</li> <li>&gt; Blijf uit (zichtbare) gaswolken.</li> <li>&gt; Benader het voertuig van voren onder een hoek van 45 graden met 2 stralen lage druk en 1 worplengte afstand. Van voren, omdat niet altijd bekend is wat voor voertuig en brandstof het betreft, en er aan de achterzijde (auto-) onderdelen weg kunnen schieten, net zoals vlammen en de druk vanwege explosies. Onder een hoek vanwege het mogelijk gaan rollen van het voertuig.</li> </ul>

- > Blus een brandende Li-ion battery pack met 2 stralen lage druk.
  - Zorg voor een snelle aanvulling van bluswater vanwege het hoge waterverbruik.
  - Blijf de Li-ion battery pack daarna langdurig koelen met een lage drukstraal of dompel hem onder in bijvoorbeeld een waterbak/-container tot er geen gasbelletjes meer vrijkomen. De tijdsduur van de koeling hangt samen met de temperatuur van de battery pack. Een thermal runaway van een Li-ion battery pack is mogelijk vanaf circa 60 °C. Deze kan dagen voortduren!
  - Als onduidelijk is welk soort battery pack betrokken is, houd dan de werkwijze bij Li-ion aan.
- > Neemt de Li-ion battery pack geen deel aan de brand, bestrijd de brand dan op de gewone manier. Blijf wel met een WBC de temperatuur van de battery pack monitoren met het oog op het ontstaan van een thermal runaway.
- > Bevrijd passagiers zo snel mogelijk tijdens of na het blussen van de brand. Let er bij het bevrijden van slachtoffers op dat de battery pack niet beschadigd wordt door het gebruik van scharen en spreiders, met het risico op brandbare en toxische gassen door een thermal runaway.

*Scenario: Beschadigde battery pack*

- > Ontruim zo nodig de omgeving.
- > Zorg dat het voertuig zich niet kan verplaatsen. Zet het voertuig in de parkeerstand en activeer de handrem. Zet de motor uit en bewaar de sleutel op minimaal 5 m afstand. Blokkeer de wielen.
- > Let op rookverschijnselen en sissende geluiden die duiden op een thermal runaway (mogelijk vanaf circa 60 °C). Gebruik de 4-gasmeter om brandbare en toxische gassen te meten.
- > Blijf uit (zichtbare) gaswolken.
- > Benader het voertuig van voren onder een hoek van 45 graden en houd een LD gereed.
- > Begin direct met koelen met een LD vanaf een worplengte afstand om een thermal runaway te voorkomen. Monitor de temperatuur van de Li-ion battery pack met een WBC. Koel bij een thermal runaway overmatig met LD of dompel het voertuig onder in een waterbak/-container. De tijdsduur van de koeling hangt samen met de temperatuur van de battery pack. Een thermal runaway van een Li-ion batterij kan dagen voortduren!
- > Voorzie beknelde passagiers – met name bij een rokende/sissende battery pack – van adembescherming om inademing van waterstoffluoride (HF) zo veel mogelijk te vermijden. Als dat niet mogelijk is, zorg dan voor frisse lucht voor het slachtoffer door het voertuig te ventileren (ramen openen/forceren).

Incidentfase	Kader	Informatie en aanpak incidentbestrijding elektrische bussen
		<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Draag bij ernstige deformatie van het voertuig uit voorzorg tegen (gering) elektrocutiegevaar droge, geheel gesloten uitrukkleding, onafhankelijke adembescherming, 1000V-handschoenen met de schacht over de mouw van de uitrukkleding, gebruik droog isolerend gereedschap en houd een worplengte als blusafstand aan.</li> <li>&gt; Dek bij ernstige deformatie van het voertuig uit voorzorg delen van de carrosserie waarmee het slachtoffer contact kan maken af met een rubberen mat of deken.</li> <li>&gt; Het is niet mogelijk te meten of er spanning op het voertuig staat.</li> </ul>
	Veiligheidsaspecten (...) IJssel-vecht concessie	Buschauffeur/-vervoersbedrijf: <ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Activeer noodknop.</li> <li>&gt; Evacueer passagiers.</li> <li>&gt; Breng systeemkennis in over bus, laadvoorziening en laadproces.</li> </ul> Brandweer: <ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Hanteer veiligheidsafstanden conform het brandweeroptreden bij laadinfrastructuur.</li> </ul>
	Inventarisatie veiligheidsaspecten zero-emissiebussen	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Gecontroleerd laten uitbranden van het voertuig.</li> <li>&gt; Brandbestrijding benodigt grote hoeveelheden water.</li> <li>&gt; De incidentafhandeling duurt langer dan bij conventioneel aangedreven bussen.</li> <li>&gt; Faciliteiten voor onderdompelen zijn zeer beperkt: alleen Rijkswaterstaat beschikt over een lekbak die hiervoor mogelijk gebruikt kan worden.</li> </ul>
	Naslagwerk (H)OvD en AGS aandachtskaart elektrisch aangedreven voertuigen	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Zorg dat het voertuig niet kan rollen.</li> <li>&gt; Zet het voertuig in de parkeerstand (P).</li> <li>&gt; Zet het voertuig op de handrem.</li> <li>&gt; Zet de motor van het voertuig uit.</li> <li>&gt; Leg de sleutel / kaart / telefoon op minimaal 15 meter afstand van het voertuig.</li> <li>&gt; Alle voorzorgsmaatregelen bij het optreden bij reguliere voertuigen gelden ook voor e-voertuigen (airbaghoezen, scherpe voorwerpen afschermen voor het slachtoffer ect).</li> <li>&gt; Bij brand accupack, deze langdurig koelen met water.</li> <li>&gt; Let op! Voer bij elke stap een Laatste Minuut Risico Analyse (LMRA) uit, omdat de gevaren divers zijn en niet altijd zichtbaar of herkenbaar.</li> </ul>
	Presentatie brand elektrische bus Roeselare	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Schakel indien nodig een redvoertuig in om veilig te werken op hoogte, bijvoorbeeld aan het accupakket.</li> </ul>
Nazorg	Aandachtskaart bestrijding incident e-voertuig (hybride of elektrisch voertuig)	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Draag een voertuig met een Li-ion battery pack over aan een in e-voertuigen gespecialiseerde berger (bekend bij wegbeheerder en de Vereniging van Bergings- en Mobiliteitsspecialisten (VBM)). Na overdracht blijven</li> </ul>

Incidentfase	Kader	Informatie en aanpak incidentbestrijding elektrische bussen
		<p>continue temperatuurmonitoring en zo nodig koeling van belang.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Draag de afvoer van het vrijgekomen elektrolyt en het schoonmaken van het wegdek over aan de wegbeheerder.</li> </ul>
	Aandachtskaart Lithium-ion energiedragers	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Arbeidshygiëne / ontsmetting <ul style="list-style-type: none"> <li>– Opstarten ontsmettingsprocedure IBGS voor personeel ingezet in rook en/of na contact met gebruikt bluswater. Raadpleeg hiervoor de AGS.</li> <li>– Basis arbeidshygiëne bij contact met rook.</li> </ul> </li> <li>&gt; Overdracht / afronding <ul style="list-style-type: none"> <li>– Overdracht aan eigenaar / Salvage / gemeente / omgevingsdienst / waterschap.</li> <li>– Informeer waterschap / omgevingsdienst over verontreinigd koel-/bluswater en verontreinigde binnenruimte.</li> <li>– Overdracht aan gespecialiseerd bedrijf t.b.v. afvoer.</li> </ul> </li> <li>&gt; Overdracht aan netbeheerder.</li> </ul>
	Veiligheidsaspecten (...) IJssel-vecht concessie	<p>Buschauffeur/-vervoersbedrijf:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Regel vervangend vervoer.</li> </ul> <p>Brandweer:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Procedure schoon werken opstarten.</li> <li>&gt; Zorg voor een goede overdracht aan berger.</li> </ul>
	Inventarisatie veiligheidsaspecten zero-emissiebusen	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Het protocol tot afslepen per bus is afhankelijk van het merk c.q. type.</li> </ul>
	Naslagwerk (H)OvD en AGS aandachtskaart elektrisch aangedreven voertuigen	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Draag het incident over aan politie / wegbeheerder / eigenaar</li> <li>&gt; Vervolgstappen i.v.m. vervuild oppervlakte water / milieu.</li> <li>&gt; Dompelcontainer aanvragen via MKB (bij niet verzekerd / buitenlands voertuig OVD-BZ in kennis stellen). (Let op: koelwater kan sterk basisch worden.)</li> <li>&gt; Bluswater is meestal niet erg basisch vanwege de hoeveelheid liters per minuut.</li> </ul>
	Presentatie brand elektrische bus Roeselare	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Maak gebruik van externe expertise (leverancier) voor demontage van het batterijpakket.</li> </ul>
	Rescue sheet Autobus Volvo 7900 Electric	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Stal het voertuig na een brand of ongeval op veilige afstand van andere voertuigen, gebouwen en brandbare objecten</li> <li>&gt; Monitor de batterij gedurende ten minste 48 uur na een (batterij)brand.</li> </ul>

### 3.3 Waterstof aangedreven bussen

Relevante informatie die is verkregen uit de bestudeerde kaders wordt weergegeven in tabel 3.2. Uiterst links staat de incidentfase. De middelste kolom specificeert het kader waaruit de informatie afkomstig is. De rechter kolom omschrijft de gevonden informatie.

**Tabel 3.2 Informatie en aanpak incidentbestrijding waterstof aangedreven bussen**

Incidentfase	Kader	Informatie en aanpak incidentbestrijding waterstof
Alarmering	Veiligheidsaspecten (... ) IJssel-vecht concessie	Brandweer: > Bovenwinds aanrijden. Buschauffeur/-vervoersbedrijf: > Stel veiligheidsprotocol in werking. > Stuur bedrijfsdeskundige ter plaatse.
Herkennen	Aandachtskaart Bestrijding incidenten voertuigbrand met H2	> Bussen en vrachtwagens zijn vaak te herkennen aan een visuele aanduiding op de opbouw (reclame). > Onder de motorkap zijn de verschillende onderdelen herkenbaar gemaakt met kleuren (conform ISO-norm). > Afblaasrichting naar bovenkant (staand voertuig of onbekende zijkant (indien gekanteld). > Tanks liggen vaak op het dak van de bus (al dan niet ingebouwd). > Brandstoftanks zijn voorzien van overdrukventiel(en). Vaak is dit een Thermal Pressure Relief Device, waarbij het ventiel smelt bij warmte. > De druk in de tank van een bus is maximaal 350 bar. > Een waterstofbrand geeft overdag een 'onzichtbare' vlam door een zeer schone verbranding. > Met een warmtebeeldcamera is een lekkage zichtbaar. > Brand en/of lekkages onder hoge druk geven een hoog en hard geluid gedurende tientallen seconden (>140 dB).
	Aandachtskaart H2 Brandstoftanks	> In voertuigen is waterstof in lage druk (>2 bar, elektrolyser), in middendruk (ca. 15 bar, leidingen) en in hoge druk (>350bar, tanks) aanwezig.
	Aandachtskaart waterstof (drukhouder, gasvormig)	> Zichtbaarheid van de vlam ontstaat door vlamcontact met de omgeving ('vervuiling' van vlam).
	Naslagwerk (H)OvD en AGS aandachtskaart waterstof aangedreven voertuigen	> UN 1049 <sup>7</sup> / GEVI 23 <sup>8</sup> > In waterstofvoertuigen zit doorgaans een Li-ion accu. Bekijk de <a href="#">aandachtskaart e-voertuigen</a> . > Een waterstofbrand kun je niet goed zien. 30 % van de totale waterstofbrand is zichtbaar.

<sup>7</sup> UN 1049 = Stofidentificatienummer samengeperste waterstof.

<sup>8</sup> GEVI 23 = gevaarsidentificatienummer voor brandbaar gas.

Incidentfase	Kader	Informatie en aanpak incidentbestrijding waterstof															
Verkennen	Aandachtskaart Bestrijding incidenten voertuigbrand met H2	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Tanks liggen vaak op het dak van de bus (al dan niet ingebouwd). <ul style="list-style-type: none"> <li>– Afblaasrichting naar boven (staande bus)</li> <li>– Druk in de tank is maximaal 350 bar</li> </ul> </li> <li>&gt; Brandstoftanks zijn voorzien van overdrukventiel(en). Vaak een Thermal Pressure Relief Device, waarbij het ventiel smelt bij warmte, en de druk wordt afgeblazen.</li> <li>&gt; Raadpleeg Crash Recovery System/ADAC bij bepalen richting afblaasventiel.</li> <li>&gt; Waterstof aanwezig in hoge druk (tank), middendruk (leidingen) en lage druk (elektrolyser/motorcompartiment).</li> <li>&gt; Neem contact op met OvD en/of AGS; zij kunnen nadere informatie ophalen bij het LIOGS.<sup>9</sup></li> <li>&gt; Benader objecten waaruit waterstof kan vrijkomen onder een hoek van 45° i.v.m. het risico op afblazen en daarbij komende vlam/druk van vrijkomend gas. Gebruik CRS om de afblaasrichting bij voertuigen te achterhalen!</li> <li>&gt; Afblazen van een tank vindt plaats na opwarming. Houd er rekening mee dat dit vlak na het ter plaatse komen kan gebeuren (6-12 minuten volledige aanstraling tank= kans op falen!)</li> <li>&gt; Naast aanwezigheid van waterstof, is ook elektriciteit (hoge- en middenspanning) aanwezig. Voornamelijk in het motorcompartiment. Houd daarom rekening met gevaar voor elektrocutie.</li> <li>&gt; Minimale afstanden in meters bij het scenario van een gat van 5 mm gevolgd door brand (Bron: Brandweer Amsterdam-Amstelland):</li> </ul> <table border="1" style="margin-left: 40px; margin-top: 10px;"> <thead> <tr> <th></th> <th>Lengte</th> <th colspan="3">Hittestraling</th> </tr> <tr> <th>Druk waterstoftank</th> <th>Fakkel (m)</th> <th>35 (kw/m<sup>2</sup>)</th> <th>10 (kw/m<sup>2</sup>)</th> <th>3 (kw/m<sup>2</sup>)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>400bar (350bar bus)</td> <td>8</td> <td>9</td> <td>12</td> <td>16</td> </tr> </tbody> </table>		Lengte	Hittestraling			Druk waterstoftank	Fakkel (m)	35 (kw/m <sup>2</sup> )	10 (kw/m <sup>2</sup> )	3 (kw/m <sup>2</sup> )	400bar (350bar bus)	8	9	12	16
	Lengte	Hittestraling															
Druk waterstoftank	Fakkel (m)	35 (kw/m <sup>2</sup> )	10 (kw/m <sup>2</sup> )	3 (kw/m <sup>2</sup> )													
400bar (350bar bus)	8	9	12	16													
	Aandachtskaart H2 Brandstoftanks	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Bij twijfel over brandstof van het voertuig: raadpleeg Crash Recovery System/ADAC.</li> <li>&gt; Alle onderdelen waar waterstof aanwezig is, zijn aangelegd buiten de ruimtes waar personen zijn. Lekkages komen vrijwel nooit direct uit in de cabine/kooiconstructie!</li> <li>&gt; Naast waterstof wordt het voertuig aangedreven door elektriciteit: denk aan hoge spanning in het voertuig (omvormer en kabels).</li> <li>&gt; Beschadigingen aan tanks zijn vaak duidelijk te herkennen (deuken, breuken in de omhulling of verschillende kleuren over het oppervlak van de tank).</li> </ul>															
	Aandachtskaart waterstof	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Start de IBGS-procedure i.v.m. onbekend (groot) effectgebied (opstellijn en blijf bovenwinds).</li> </ul>															

<sup>9</sup> [Landelijk Informatiepunt Ongevallen Gevaarlijke Stoffen](#).



Incidentfase	Kader	Informatie en aanpak incidentbestrijding waterstof
	(drukhouder, gasvormig)	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Bij brand, vlam laten branden! Voorkom vlamcontact met personen en/of objecten: gebruik warmtebeeldcamera.</li> <li>&gt; Draag volledige uitrukkleding, incl. adembescherming (gebruik telefoon, portofoon, pieper alleen in veilig gebied).</li> <li>&gt; Houd rekening met statische elektriciteit i.v.m. ontstekingsgevaar.</li> <li>&gt; Gebruik ALTIJD een explosiegevaarmeter en een warmtebeeldcamera t.b.v. zichtbaar maken lekkage en/of brand). Explosiegevaarmeters zijn niet geijkt op waterstof.</li> <li>&gt; CO-meters kunnen gebruikt worden voor het aantonen van aanwezigheid van waterstof.</li> <li>&gt; Let op ontstekingsbronnen in de omgeving (bijv. auto's en telefoons).</li> </ul>
	Naslagwerk (H)OvD en AGS aandachtskaart waterstof aangedreven voertuigen	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Start IBGS-procedure (25 meter).</li> <li>&gt; Raadpleeg CRS om de afblaasrichting vast te stellen en let op rolgevaar.</li> <li>&gt; Draag volledige uitrukkleding inclusief adembescherming (gebruik telefoon, portofoon, pieper alleen in veilig gebied).</li> <li>&gt; Houd rekening met statische elektriciteit i.v.m. ontstekingsgevaar.</li> <li>&gt; Gebruik altijd een explosiemeter en een warmtebeeldcamera t.b.v. zichtbaar maken lekkage en/of (fakkels)brand. Let op: explosiegevaarmeters zijn niet geijkt op waterstof.</li> <li>&gt; De explosiemeter slaat bij waterstof uit op de CO-cel (kruisgevoeligheid).</li> <li>&gt; Houd voldoende afstand (standaard 25 meter) tot het object waar waterstof aanwezig is (risico op afblazen en/of escalatie).</li> <li>&gt; Benader voertuigen waaruit waterstof kan vrijkomen bovenwinds i.v.m. het risico van een vlam/druk door het afblazen.</li> </ul>
	Rapport Brandonderzoek Waterstofbus Doetinchem	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Het afblazen van tanks is extreem lawaaiig (&gt;140dB). Hierbij kan (eenvoudig) gehoorschade ontstaan bij repressief personeel. Dit is niet beschreven.</li> </ul>
Bestrijden & stabiliseren	Aandachtskaart Bestrijding incidenten voertuigbrand met H2	<p>Warmtebeeldcamera, explosiegevaarmeter, CO-meter en gehoorbescherming zijn mogelijke hulpmiddelen gedurende de bestrijding.</p> <p><i>Scenario: Voertuigbrand (H2 aangedreven)</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Een fakkel (a.g.v. afblazen tank) duurt ongeveer 30 seconden. De tank is dan nog niet leeg, maar de druk is atmosferisch (houd hier aandacht voor!).</li> <li>&gt; Houd rekening met de veiligheidsafstanden (veiligheidszone). Benader het voertuig vanaf de voorzijde, onder een hoek van 45°. Benader het voertuig NOOIT vanaf de achterzijde in een zone van 25 meter.</li> <li>&gt; Houd bij het opstellen van het blusvoertuig rekening met de afblaasrichting van de afblaasveiligheid!</li> <li>&gt; Houd minimaal 25 meter afstand i.v.m. kans op ontstaan fakkelbrand en zeer hard geluid (&gt;140dB).</li> </ul>

- > Waterstofbrand (fakkel) niet blussen, uitbreiding voorkomen door koelen van de omgeving. Altijd in de richting van de fakkel mee koelen.
- > Controleer met een warmtebeeldcamera de lengte van de vlam (deel is onzichtbaar!) en de omgeving.
- > Benader het voertuig altijd onder dekking van een straal en blus de voertuigbrand zo snel mogelijk met zoveel mogelijk water af. Gebruik hierbij zoveel mogelijk de worplengte van de (lage druk) straal!

*Scenario: Waterstofbrand (drukbrand)*

- > Houd minimaal 25 meter afstand i.v.m. lengte fakkel en zeer hard geluid (>140dB).
- > Ontruim de omgeving tot 50 meter afstand.
- > Stel met de warmtebeeldcamera vast hoe groot de vlam is (inschatten risico's).
- > Waterstofbrand/-vlam niet blussen, uitbreiding incident voorkomen door koelen van de omgeving (objecten in direct vlamcontact)!
- > Altijd met richting van de fakkel mee koelen.
- > Stel vast waardoor de drukbrand wordt veroorzaakt: afblaasventiel of andere lekkage?

*Scenario: Aanstraling van de brandstoftank (ander type brand dan waterstof, bijv. voertuigbrand)*

- > Indien mogelijk: koel de tank met zoveel mogelijk water, of voorkom dat de tank wordt aangestraald. Dit kan zolang er GEEN waterstoflekkage is. Gebruik hierbij de worplengte van de straal!
- > Houd minimaal 25 meter afstand i.v.m. kans op ontstaan fakkelbrand en zeer hard geluid (>140dB).
- > Indien een waterstofauto wordt aangestraald: voorkom overslag/opwarmen tank door voertuig af te schermen met een waterstraal. Gebruik hierbij de worplengte van de straal!
- > Benader het voertuig altijd onder dekking van een straal en blus de brand zo snel mogelijk zoveel mogelijk af!

Aandachtskaart H2  
Brandstoftanks

*Scenario: Waterstoflekkage (leiding, koppeling etc.)*

- > Als gevolg van een ongeval/foute bediening etc. van een tank of installatie ontstaat er een lek van waterstof.
- > Waterstoflekkages kunnen leiden tot diverse situaties (wel/ geen brand) met verschillende gevolgen.
- > De grootte van het incident verschilt per locatie.
- > Benader het object met een warmtebeeldcamera als er geen duidelijk hoorbare lekkage is (scannen op lekkage).
- > Optreden: voorkom brand / voorkom escalatie, veiligstellen omgeving (meten explosiegevaar en ontruimen), opmengen gaswolk met (straat)waterkanon.
- > Zie waterstofprocedure: brandstoftank, lokale productie, tankstation en wegtransport.

Incidentfase	Kader	Informatie en aanpak incidentbestrijding waterstof
	Veiligheidsaspecten (... ) IJssel-vecht concessie	<p>Buschauffeur/-vervoersbedrijf:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Activeer noodknop.</li> <li>&gt; Evacueer passagiers.</li> <li>&gt; Breng systeemkennis in over bus, laadvoorziening en laadproces.</li> </ul>
	Inventarisatie veiligheidsaspecten zero-emissiebussen	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Gecontroleerd laten uitbranden van het voertuig.</li> <li>&gt; Brandbestrijding benodigt grote hoeveelheden water.</li> <li>&gt; De incidentafhandeling duurt langer dan bij conventioneel aangedreven bussen.</li> <li>&gt; Faciliteiten voor onderdempelen zijn zeer beperkt: alleen Rijkswaterstaat beschikt over een lekbak die hiervoor mogelijk gebruikt kan worden.</li> </ul>
	Naslagwerk (H)OvD en AGS aandachtskaart waterstof aangedreven voertuigen	<p><i>Algemeen:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Zorg dat het voertuig niet kan rollen.</li> <li>&gt; Zet het voertuig in de parkeerstand (P).</li> <li>&gt; Zet het voertuig op de handrem.</li> <li>&gt; Zet de motor van het voertuig uit.</li> <li>&gt; Leg de sleutel op minimaal 5 meter afstand van het voertuig. Alle voorzorgsmaatregelen bij het optreden bij reguliere voertuigen gelden ook voor waterstofvoertuigen (airbaghoezen, scherpe voorwerpen afschermen voor het slachtoffer ect).</li> <li>&gt; Bedien indien aanwezig bij voertuigen de noodstop (raadpleeg CRS).</li> <li>&gt; Overweeg de inzet van een overdrukventilator om de mengverhouding te verstoren.</li> </ul> <p><i>Scenario: Afblazen van een waterstoftank</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Bij een te hoge druk in een tank blaast het systeem af via een afblaasveiligheid (TPRD en/of overdrukventiel) (TPRD is smeltveiligheid die werkt bij ca. 110OC). Dan loopt hele tank leeg. Een PRD is drukveer veiligheid (werkt alleen bij een te hoge druk in tank).</li> <li>&gt; Kenmerkend is een zeer hard en hoog geluid als gevolg van vrijkomend gas onder hoge druk (&gt;140dB).</li> <li>&gt; Afblazen komt voor bij te hoge drukopbouw in een tank als gevolg van aanstraling.</li> <li>&gt; Het afblazen van een brandstoftank duurt enkele seconden tot een halve minuut, daarna is de tank (bijna) drukloos.</li> <li>&gt; Bij een TPRD blaast de hele tank leeg na activatie: door de hoge temperatuur is het ventiel gesmolten.</li> <li>&gt; Ventileer besloten ruimtes i.v.m. explosiegevaar.</li> <li>&gt; Optreden: achterhaal de afblaasrichting van het veiligheidsventiel, stel de omgeving veilig (meten explosiegevaar en ontruimen), na sein veilig: overdracht.</li> </ul> <p><i>Scenario: Beschadigde waterstofinstallatie als gevolg van ongeval (externe invloed)</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Als gevolg van een ongeval of botsing ontstaat een beschadiging aan de waterstofinstallatie van een voertuig.</li> <li>&gt; Er kunnen meerdere soorten beschadigingen zijn, zichtbare, maar ook onzichtbare.</li> </ul>

Incidentfase	Kader	Informatie en aanpak incidentbestrijding waterstof
		<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Herken beschadigingen (deuken, breuken in isolatie of leidingen).</li> <li>&gt; De schil van de tank heeft meerdere kleuren. Kleine beschadigingen zijn daarom goed te herkennen.</li> <li>&gt; Bij dit scenario vindt vaak GEEN waterstoflekkage plaats uit de tank. Wellicht wel uit leidingen en/of koppelingen vanaf de tank.</li> <li>&gt; Optreden: veiligstellen tank en omgeving, ondersteunen berging/technische hulpverlening en overdracht aan exploitant.</li> </ul>
	Rapport Brandonderzoek Waterstofbus Doetinchem	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Voorkom contact tussen het bluswater en de thermische veiligheidsvoorziening. Het bluswater kan namelijk temperatuurgestuurde beveiligingen koelen, waardoor deze mogelijk niet geactiveerd worden wanneer dat wel noodzakelijk is.</li> </ul>
Nazorg	Incidenten voertuigbrand met H2	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Draag het incident over aan exploitant/eigenaar, indien het gevaar is geweken en voor de brandweer weinig mogelijk is.</li> </ul>
	Aandachtskaart H2 brandstoftanks	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Waterstoftanks zijn nooit leeg: ze worden met minimaal 2 bar afgeleverd uit fabriek, alvorens ze gevuld worden.</li> <li>&gt; Draag het incident over aan wegbeheerder of eigenaar van het tankstation, indien het gevaar is geweken en geen brandweerinzet nodig is.</li> </ul>
	Veiligheidsaspecten (...) IJssel-vecht concessie	<p>Buschauffeur/-vervoersbedrijf:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Regel vervangend vervoer.</li> </ul> <p>Brandweer:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Procedure schoon werken opstarten.</li> <li>&gt; Zorg voor een goede overdracht aan berger.</li> </ul>
	Inventarisatie veiligheidsaspecten zero-emissiebusen	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Het protocol tot afslepen per bus is afhankelijk van het merk c.q. type.</li> </ul>
	Naslagwerk (H)OvD en AGS aandachtskaart waterstof aangedreven voertuigen	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Draag het incident over aan politie / wegbeheerder / eigenaar.</li> </ul>

### 3.4 De drie belangrijkste partijen

Na het bestuderen van de beschikbare kaders concluderen wij dat drie partijen een rol vervullen in de incidentfases alarmeren, herkennen, verkennen, stabiliseren, bestrijden en nazorg:

- > *De buschauffeur en het vervoersbedrijf*: de chauffeur moet op de hoogte zijn van de stappen die genomen moeten worden wanneer een incident plaatsvindt, en in staat zijn het veiligheidsprotocol vanuit het vervoersbedrijf in werking te stellen. Het vervoersbedrijf dient dit veiligheidsprotocol op te stellen en op orde te hebben. Daarnaast moet het vervoersbedrijf in het geval van een incident een bedrijfskundige ter plaatse sturen.
- > *Brandweer*: de brandweer dient de omgeving veilig te stellen en de incidentbestrijding uit te voeren. Na de incidentbestrijding ondersteunt de brandweer over het veilig transporteren en stallen van de bus.
- > *Bergingsbedrijf*: het bergingsbedrijf zorgt in samenwerking met de brandweer voor het veilig transporteren en stallen van de bus na het incident.

Op basis van de in dit hoofdstuk verkregen informatie, is voor de drie partijen die een rol vervullen bij de incidentbestrijding een handelingsperspectief opgesteld. Dit staat weergegeven in het volgende hoofdstuk.

# 4 Handelingsperspectief

De informatie uit dit onderzoek is geanalyseerd en gebruikt voor het opstellen van het handelingsperspectief. Om dit handelingsperspectief specifiek te maken voor ZE-bussen, is daarnaast gebruikgemaakt van kennis van onderzoekers en mensen met praktijkervaring.<sup>10</sup>

Hieronder wordt eerst het handelingsperspectief gepresenteerd voor elektrisch aangedreven bussen, gevolgd door dat voor waterstof aangedreven bussen. Dit handelingsperspectief is ingedeeld in de incidentfases: alarmeren, herkennen, verkennen, stabiliseren, bestrijden en nazorg. In de fases herkennen, verkennen, stabiliseren en bestrijden heeft alleen de brandweer een rol.

Indien de volgorde waarin handelingen worden uitgevoerd van belang is, zijn de opsommingstekens (>) vervangen door nummers.

## 4.1 Elektrisch aangedreven bussen

*In de fases herkennen, verkennen, stabiliseren en bestrijden heeft alleen de brandweer een rol.*

### 4.1.1 Alarmeren

#### **Buschauffeur en vervoersbedrijf:**

1. Druk op de noodknop van de bus.
2. Evacueer passagiers zo snel mogelijk uit de bus.
3. Druk op de noodknop van de laadvoorziening.<sup>11</sup>
4. Trek de pantograaf in bij brandmelding of verwijder de laadkabel uit het voertuig.<sup>12</sup>
5. Stel het veiligheidsprotocol van het vervoersbedrijf in werking.
6. Neem (minimaal) 25 meter afstand, bovenwinds.
7. Stuur een bedrijfsdeskundige ter plaatse.

#### **Brandweer:**

- > Rijd bovenwinds aan.
- > Verkrijg, indien mogelijk, informatie over het voertuig (via het rescue informatie systeem) en de situatie van het incident.

#### **Berger**

De berger speelt in deze fase geen rol.

---

<sup>10</sup> Hieronder verstaan wij brandweermensen die ervaring hebben met het uitvoeren van handelingsperspectieven in de praktijk.

<sup>11</sup> Indien veilig geacht. Voer deze handeling niet uit indien grijs-witte rook of damp met een typische chemie of elektriciteitsgeur waarneembaar is.

#### 4.1.2 Herkennen

- > Het volgende symbool kan op de voor-, achter- en/of zijkant van de bus staan. Dit symbool volgens ISO 17840 geeft aan dat de bus batterij-elektrisch is aangedreven:



- > Hoogvoltkabels<sup>12</sup> zijn te herkennen aan de oranje kleur.
- > Draag ademlucht in de nabijheid van grijs-witte rook of damp met een typische chemie of elektriciteitsgeur. Batterijpakketten van een elektrische bus kunnen zich op het dak, aan de achterzijde, achter de bestuurdersstoel en onder de vloer van het voertuig bevinden.

#### 4.1.3 Verkennen

1. Benader het voertuig onder een hoek van 45 graden: zo sta je veilig bij spontaan rollen van het voertuig of wegschietende delen van het voertuig.
2. Achterhaal via het rescue informatie systeem, bijvoorbeeld het CRS, informatie over de locatie van het batterijpakket, de hoogvoltsystemen en hoe het voertuig gedeactiveerd kan worden.
3. Controleer of pantograaf is ingetrokken en/of de laadkabel is losgetrokken. Wanneer dit niet het geval is, probeer de laadinfrastructuur uit te schakelen.
4. Wanneer er rook, maar geen warmteontwikkeling waarneembaar is, is er niet per definitie sprake van een brand of thermal runaway.
5. Schakel een redvoertuig in om, indien nodig, veilig te werken op hoogte.

##### **In geval van een ongeval:**

Verken op beschadigingen aan (oranje) hoogvoltage kabels en op beschadiging of vervormingen van het accupakket.

##### **In geval van een brand**

Probeer te achterhalen waar de rook vandaan komt: dit hoeft niet altijd de batterij te zijn. Wees bedacht op secundaire brandhaarden door wegschietende accucellen (waarborg de terugtocht, let op de eigen veiligheid).

#### 4.1.4 Stabiliseren

##### **In geval van een ongeval:**

1. Zet het voertuig op de handrem.
2. Zet het voertuig in de parkeerstand (P).
3. Zet de motor van het voertuig uit.
4. Zorg dat het voertuig niet kan rollen.
5. Dek bij ernstige deformatie van het voertuig uit voorzorg delen van de carrosserie waarmee het slachtoffer contact kan maken af met een rubberen mat of deken.

---

<sup>12</sup> Hoewel hoogvolt geen formele term is, gebruiken veel fabrikanten van voertuigen deze term voor het spanningsgebied boven extra lage spanning (50V gelijkspanning of 120V gelijkspanning) en onder de 1500V gelijkspanning of 1000V wisselspanning.



#### **In geval van een brand:**

1. Begin direct met koelen van de batterijen met één straal lage druk vanaf één worplengte afstand om de kans op een thermal runaway te beperken.
2. Monitor de temperatuur van het lithium-ion batterijpakket met een warmtebeeldcamera.

#### **4.1.5 Bestrijden**

##### **In geval van een ongeval:**

- > Let op rookverschijnselen en sissende geluiden die duiden op een thermal runaway (mogelijk vanaf circa 60 °C). Zie 'in geval van een brand' voor meer informatie over het optreden als deze signalen worden waargenomen.
- > Gebruik de 4-gasmeter om (vroegtijdig) gassen van een thermal runaway te meten. De 4-gasmeter zal op de CO en LEL uitslag geven.

##### **In geval van een brand:**

1. Blijf uit (zichtbare) gaswolken.
2. Indien de laadinfrastructuur is betrokken bij het incident en het niet mogelijk is om deze uit te schakelen: hanteer veiligheidsafstanden conform [Brandweeroptreden bij laadinfrastructuur](#).
3. Overweeg, als de omstandigheden het toelaten, het voertuig gecontroleerd uit te laten branden: op deze manier gaat alle energie uit de batterij die zorgt voor het voortzetten van de brand verloren.
4. Koel een bij thermal runaway c.q. brand betrokken lithium-ion batterijpakket langdurig met water. Indien het batterijpakket op het dak van het voertuig ligt, gebruik hierbij een torenstraal.
5. Koeling van het batterijpakket is het effectiefst indien op celniveau kan worden gekoeld (NIPV, 2023a). Overwogen kan worden een hogedruk snij- en blussysteem in te zetten (MSB, 2023), zoals een Cobra Coldcutter, om water direct in het batterijpakket in te brengen.

#### **4.1.6 Nazorg**

##### **Buschauffeur en vervoersbedrijf:**

- > Regel vervangend vervoer voor de passagiers.
- > Stem met het bergingsbedrijf af over veilige afhandeling van het incident. Deel daarbij systeemkennis van de bus met de berger om samen veilig en effectief terug te keren naar een veilige situatie. Dit is met name van belang wanneer het batterijpakket bij het incident beschadigd is of gebrand heeft.

##### **Brandweer:**

- > Informeer het waterschap en/of de omgevingsdienst over eventueel verontreinigd koel- of bluswater en verontreinigde binnenruimtes.

##### **Bij beschadiging van het batterijpakket:**

- > Zorg voor een goede overdracht aan de berger, waarbij nadrukkelijk aandacht is voor herontsteking van het batterijpakket. Het overdrachtmoment staat niet vast, maar dient per incident te worden bepaald. Een incident met een elektrisch aangedreven bus kan daarmee langer duren dan een incident met een conventioneel aangedreven bus.

##### **Bergingsbedrijf:**

- > Het sleepprotocol wisselt per bus. Gebruik hiervoor het rescue informatie systeem of door de busproducent ter beschikking gestelde rescue sheets over de juiste wijze van afslepen.

Bij beschadiging van het batterijpakket:

- > Meet regelmatig de temperatuur van het batterijpakket met een warmtebeeldcamera. Doe dit ten minste 48 uur.
- > Plaats het voertuig op veilige afstand van andere objecten (ten minste 15 meter).
- > Organiseer zo nodig koeling van het batterijpakket.
- > Maak gebruik van externe expertise (busbedrijf, busproducent) voor eventuele demontage van het batterijpakket.

## 4.2 Waterstof aangedreven bussen

*In de fases herkennen, verkennen, stabiliseren en bestrijden heeft alleen de brandweer een rol.*

### 4.2.1 Alarmeren

**Buschauffeur en vervoersbedrijf:**

1. Druk op de noodknop van de bus.
2. Evacueer passagiers zo snel mogelijk uit de bus.
3. Stel het veiligheidsprotocol van het vervoersbedrijf in werking.
4. Neem (minimaal) 25 meter afstand bovenwinds.
5. Stuur een bedrijfsdeskundige ter plaatse.

**Brandweer:**

- > Rijd bovenwinds aan.
- > Verkrijg, indien mogelijk, informatie over het voertuig (via het rescue informatie systeem) en de situatie van het incident.

### 4.2.2 Herkennen

- > Het symbool in figuur 2 kan op de voor-, achter- en/of zijkant van de bus staan. Dit ISO 17840 - symbool geeft aan dat de bus waterstof-elektrisch is aangedreven en waarschuwt voor de aanwezigheid van waterstof. Een toelichting van de overige symbolen wordt gegeven in figuur 4.



**Figuur 1** Symbool waterstof-elektrische bussen



**Figuur 2 Toelichting symbolen**

- > Met de ophoping van waterstof in de bus hoeft geen rekening gehouden te worden. Dit is namelijk niet mogelijk, omdat alle onderdelen die waterstof bevatten zich buiten de bus bevinden.
- > Gebruik een warmtebeeldcamera om een waterstofvlam te detecteren.
- > Waterstoftanks hebben een terugslagbeveiliging. Wanneer een tank loskomt van een bus zal er geen grote uitstroom van waterstof zijn.

#### **4.2.3 Verkennen**

1. Een AGS kan de aanwezige eenheden van nadere informatie voorzien over waterstof.
2. Draag gehoorbescherming: de brandstoftanks bevatten TPRD's die bij een temperatuur van 110 graden Celsius openen. Dit duurt gemiddeld 6 tot 12 minuten. Het is mogelijk dat dit na aankomst van de eerste brandweereenheid plaatsvindt. Hierbij kan een fakkel ontstaan. Het afblazen duurt tientallen seconden en geeft een hoog en hard geluid (140 dB).
3. Achterhaal of de waterstoftanks al hebben afgeblazen. Raadpleeg hiervoor bijvoorbeeld omstanders. Iedere waterstoftank blaast afzonderlijk af.
4. Raadpleeg het rescue informatie systeem voor de locaties van:
  - Waterstoftanks; vaak liggen deze voor op het dak van de bus
  - TPRD's
  - Lithium-ion batterijen. Zie voor meer info hoofdstuk 2.1.
5. De afblaasrichting is altijd loodrecht van de bus af, ten opzichte van het dak. Bij een ongeval kan door beschadiging van het afblaassysteem de afblaasrichting anders zijn.
6. Houd rekening met de aanwezigheid van hoogvoltage elektriciteit, voornamelijk in het motorcompartiment.
7. Gebruik voor het detecteren van waterstof een CO-meter. Explosiegevaarmeters geven een indicatie van het explosiegevaar.

#### **4.2.4 Stabiliseren**

- > Blus een waterstoffakkel nooit! Door de hoge druk gaat een fakkel niet uit.

#### **4.2.5 Bestrijden**

##### **In geval van een ongeval:**

1. Stel de omgeving veilig.
2. Gebruik de CO-meter om eventuele waterstoflekkage(s) waar te nemen.
3. Gebruik de explosiemeter om explosiegevaar waar te nemen. Trek terug wanneer deze afgaat!

### **In geval van een brand:**

1. Houd zoveel mogelijk afstand en benader de bus onder dekking van een straal als bescherming tegen een onverwachte steekvlam of snelle branduitbreiding. Houd rekening met het ontstaan van een fakkelbrand.
2. Scherm de bus af met een waterstraal bij een externe brand.
3. Voorkom dat de TPRD's gekoeld worden; dit kan de werking belemmeren. Koel waterstoftanks alleen wanneer zeker is dat de TPRD's niet geraakt worden. Bij twijfel: niet koelen!
4. Blus de bus met stralen lage druk. Maak gebruik van de worplengte.

### **4.2.6 Nazorg**

#### **Buschauffeur en vervoersbedrijf:**

- > Regel vervangend vervoer voor de passagiers.
- > Stem met het bergingsbedrijf af over veilige afhandeling van het incident. Deel daarbij systeemkennis van de bus met de berger om samen acties te bedenken om weer veilig en effectief terug te keren naar een veilige situatie.
- > Zorg, samen met het bergingsbedrijf<sup>13</sup> voor het veilig verwijderen van het resterende waterstofgas uit de tanks.

#### **Brandweer:**

- > Draag het incident over aan het busvervoersbedrijf indien het gevaar geweken is en er voor de brandweer geen werkzaamheden meer zijn.
- > Waterstoftanks zijn nooit helemaal leeg, ook niet na het afblazen. Er blijft altijd 8 tot 10 bar aanwezig. Zorg, samen met het bergingsbedrijf<sup>11</sup> voor het veilig verwijderen van het resterende waterstofgas uit de tanks.
- > Zorg voor een goede overdracht aan het bergingsbedrijf.

#### **Bergingsbedrijf:**

- > Waterstoftanks zijn nooit helemaal leeg, ook niet na het afblazen. Er blijft altijd 8 tot 10 bar aanwezig. Houd hier rekening mee. Zorg voor het veilig verwijderen van het resterende waterstofgas uit de tanks.
- > Het sleepprotocol wisselt per bus. Gebruik hiervoor het rescue informatie systeem of door de busproducent ter beschikking gestelde rescue sheets over de juiste wijze van afslepen.

---

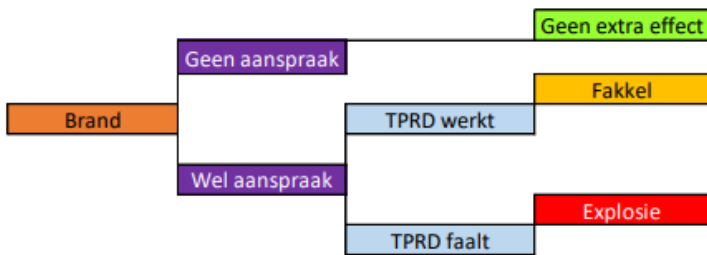
<sup>13</sup> Eventueel kan de leverancier van de bus waardevolle informatie geven over het veilig verwijderen van het waterstofgas.

# Referentielijst

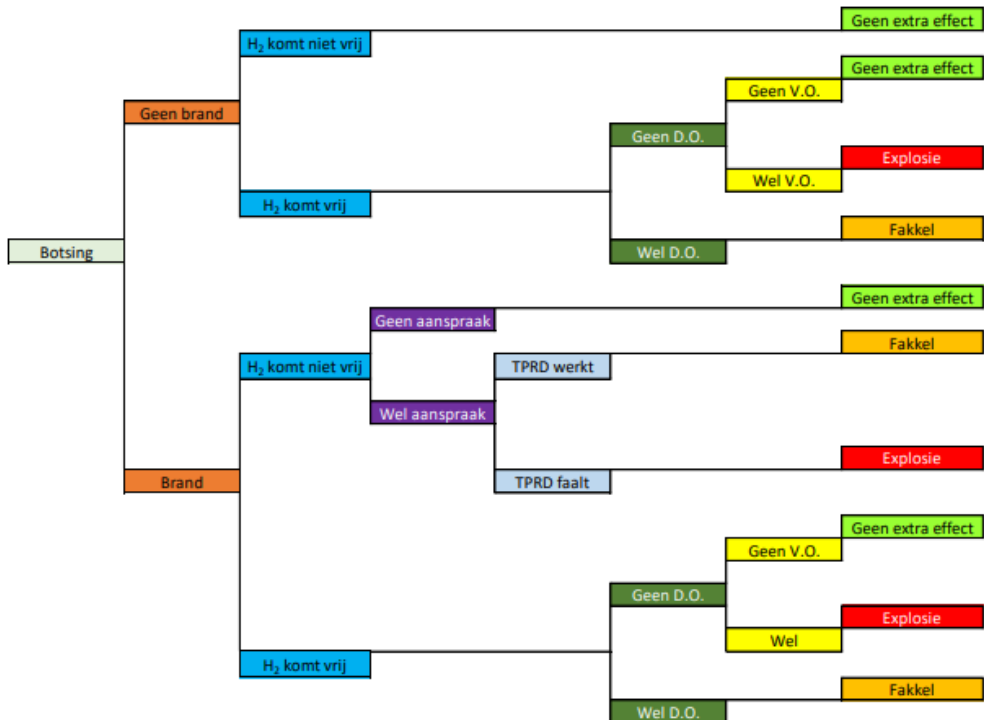
- ANWB. (n.d.). Wat is waterstof, hoe werkt een waterstofauto en is het de “brandstof” van de toekomst? | ANWB. Retrieved January 11, 2024, from <https://www.anwb.nl/auto/elektrisch-rijden/elektrische-autos/waterstofauto-hoe-werkt-het>
- Baird, A. R., Archibald, E. J., Marr, K. C., & Ezekoye, O. A. (2020). Explosion hazards from lithium-ion battery vent gas. *Journal of Power Sources*, 446, 227257. <https://doi.org/10.1016/J.JPOWSOUR.2019.227257>
- Bisschop, R., Willstrand, O., & Rosengren, M. (2020). Handling Lithium-Ion Batteries in Electric Vehicles: Preventing and Recovering from Hazardous Events. *Fire Technology*, 56(6), 2671–2694. <https://doi.org/10.1007/S10694-020-01038-1>
- Brandweer Kennemerland. (2020). *Notitie brandonderzoek Brand Laan van Decima in Haarlem*.
- Brandweer Nederland. (2019a). *Aandachtskaart bestrijding incidenten H2 Brandstoftanks*. Retrieved from <https://archieff.nipv.nl/wp-content/uploads/sites/2/2022/03/20190628-BRWNL-Aandachtskaart-H2-Brandstoftanks.pdf>
- Brandweer Nederland. (2019b). *Aandachtskaart Bestrijding incidenten voertuigbrand met H2*.
- Brandweer Nederland. (2019c). *Aandachtskaart waterstof (drukhouder, gasvormig)*.
- Brandweer Nederland. (2021). *Aandachtskaart Lithium-ion energiedragers*. Retrieved from <https://nipv.nl/wp-content/uploads/2022/03/20210608-BwNL-Aandachtskaart-lithium-ion-energiedragers.pdf>
- Brandweer Nederland. (2023a). *Naslagwerk (H)OvD en AGS Elektrisch aangedreven voertuigen*.
- Brandweer Nederland. (2023b). *Naslagwerk (H)OvD en AGS Waterstof aangedreven voertuigen*.
- Brandweeracademie. (2020). *Bestrijding incident e-voertuig (hybride of elektrisch voertuig)*. Retrieved from <https://nipv.nl/wp-content/uploads/2022/02/20201207-BA-Aandachtskaart-bestrijding-incident-e-voertuig.pdf>
- CROW. (2022a). *Inventarisatie veiligheidsaspecten zero-emissiebussen*. Ede. Retrieved from <https://www.crow.nl/downloads/pdf/collectief-vervoer/inventarisatie-veiligheidsaspecten-zero-emissiebus.aspx?ext=.pdf>
- CROW. (2022b). *Ontwerprichtlijnen brandveiligheid voor stallingen zero-emissiebussen*. Ede. Retrieved from [https://www.crow.nl/downloads/pdf/collectief-vervoer/ontwerprichtlijnen\\_brandveiligheid\\_voor-stallingen.aspx?ext=.pdf](https://www.crow.nl/downloads/pdf/collectief-vervoer/ontwerprichtlijnen_brandveiligheid_voor-stallingen.aspx?ext=.pdf)
- CROW. (2023). *Invloed zero-emissie-bussen op brand- en explosie-veiligheid van ov-knooppunten*. Ede. Retrieved from <https://www.crow.nl/downloads/pdf/collectief-vervoer/invloed-zero-emissiebussen-op-brand-en-explosie-veiligheid.aspx?ext=.pdf>
- DNV-GL. (2019). *Technical Reference for Li-ion Battery Explosion Risk and Fire Suppression*. Retrieved from <https://www.dnv.com/Publications/technical-reference-for-li-ion-battery-explosion-risk-and-fire-suppression-165062>
- Fuelcellbuses.eu. (n.d.). 12/13 METER FUEL CELL ELECTRIC BUSES. Retrieved from <https://www.fuelcellbuses.eu/wiki/concept-fuel-cell-buses/1213-meter-buses-fuel-cell-buses>
- Instituut Fysieke Veiligheid. (2016). *Brandveiligheid van elektrische bussen*. Retrieved from <https://nipv.nl/wp-content/uploads/2022/02/20160930-IFV-Brandveiligheid-elektrische-bussen.pdf>
- Instituut Fysieke Veiligheid. (2020). *Veiligheidsaspecten van het laadproces van elektrische bussen in de openbare ruimte in de IJssel-Vecht concessie*. Retrieved from <https://archieff.nipv.nl/wp-content/uploads/sites/2/2022/03/20200425-IFV-Staak-Veiligheidsaspecten-laadproces-elektr-bussen-openbare-ruimte.pdf>
- Meternieuws.nl. (2024). Lijndienstbus vast onder viaduct in Wijster (Video). Retrieved July 23, 2024, from <https://www.meternieuws.nl/lijdienstbus-vast-onder-viaduct-in-wijstervideo/>
- Nachtergaele, R. (2022). Presentatie brand elektrische bus Roeselare.
- NIPV. (2023a). *Onderzoek dompelcontainers*. Arnhem. Retrieved from <https://nipv.nl/wp->

- content/uploads/2023/03/20230206-NIPV-Onderzoek-dompelcontainers.pdf  
NIPV. (2023b, August 17). Thermal runaway in een lithium-ion batterijpakket - Nederlands Instituut Publieke Veiligheid. Retrieved January 15, 2024, from <https://nipv.nl/thermal-runaway-in-een-lithium-ion-batterijpakket/>
- Reinders, J. (2022). *Integraal veiligheidsplan elektrische bussen : landelijke kaders en toepassing*.
- Reitmeier, W. (2022). *Was lernen wir aus den Großbränden hinsichtlich zukünftiger Betriebshofgestaltung ?*
- Rosmuller, N., van der Graaf, P., & Hessels, T. (2021). *Brandveiligheid van parkeergarages met elektrisch aangedreven voertuigen*. Arnhem: IFV. Retrieved from <https://nipv.nl/wp-content/uploads/2022/03/20210715-IFV-Brandveiligheid-parkeergarages-met-elektrisch-aangedreven-voertuigen-v2021.pdf>
- Spoelstra, M. (2021). *Waterstofauto's in parkeergarages*. IFV. Retrieved from <https://nipv.nl/wp-content/uploads/2022/07/20210209-IFV-Waterstofautos-in-parkeergarages.pdf>
- Veiligheidsregio Noord- en Oost-Gelderland. (2022). *Rapport Brandonderzoek Waterstofbus Doetinchem*.
- Volvo Buses. (2022). *Rescue Sheet Autobus Volvo 7900 Electric*. Retrieved from <https://www.volvobuses.com/it/city-and-intercity/buses/volvo-7900-electric.html>

# Bijlage 1: Gebeurtenissenbomen waterstoftanks

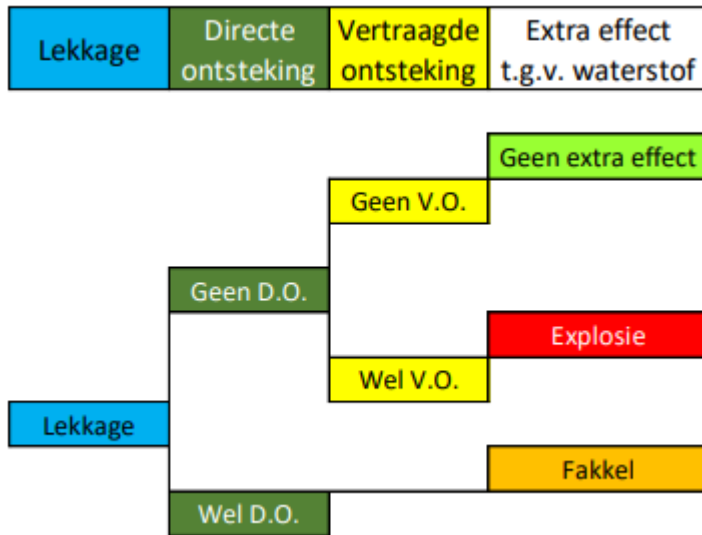


Figuur 3 Gebeurtenissenboom waterstoftank bij brand (Spoelstra, 2021)



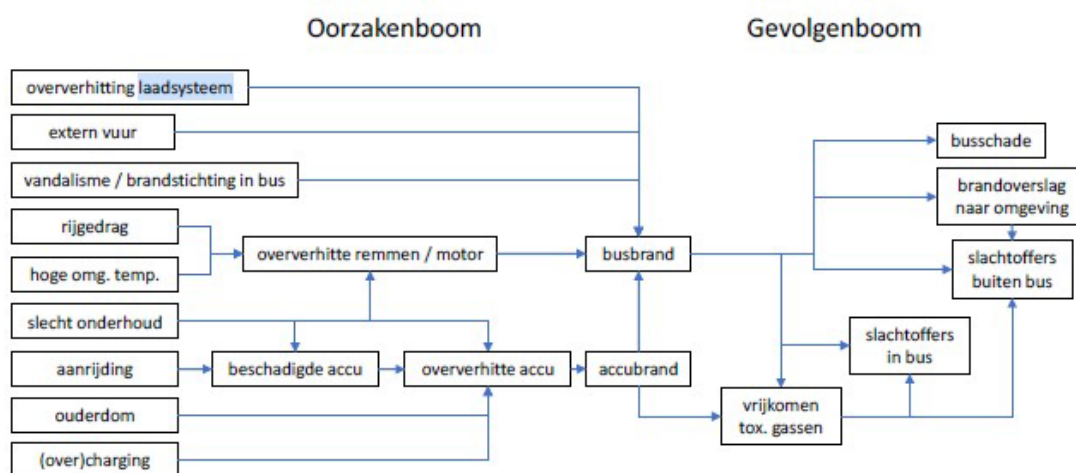
Figuur 4 Gebeurtenissenboom waterstoftank bij een botsing (Spoelstra, 2021)



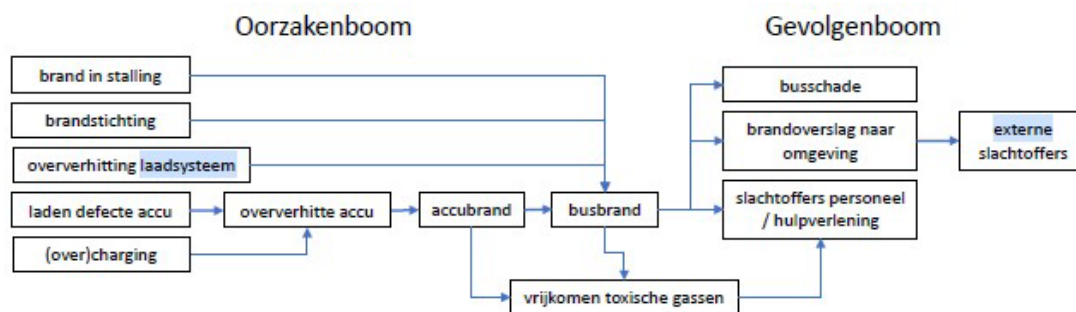


Figuur 5 Gebeurtenissenboom waterstoftank bij een lekkage (Spoelstra, 2021)

# Bijlage 2: Oorzaken en gevolgenbomen elektrisch aangedreven bus



Figuur 6 Oorzaken- en gevolgenboom van brand elektrische bus tijdens rijden dienstregeling (Reinders, 2022)



Figuur 7 Oorzaken- en gevolgenboom van brand elektrische bus bij opladen in garage (Reinders, 2022)