

Brandweeroptreden bij incidenten met moderne voertuigen



Instituut Fysieke Veiligheid
Brandweeracademie
Postbus 7010
6801 HA Arnhem
www.ifv.nl
info@ifv.nl
026 355 24 00

Colofon

Brandweeracademie (2016). *Brandweeroptreden bij incidenten met moderne voertuigen*.
Arnhem: Instituut Fysieke Veiligheid.

Opdrachtgever: Brandweeracademie
Contactpersoon: Jaap Molenaar (Brandweeracademie)
Titel: Brandweeroptreden bij incidenten met moderne voertuigen
Datum: 26 september 2016
Status: Definitief
Versie: 1.0
Auteurs: Jaap Molenaar, Manon Oude Wolbers (Brandweeracademie), Frans van der Veen (Brandweer Gooi en Vechtstreek), Mariëlle Meessen
Projectleider: Jaap Molenaar
Review: Michael Bertels (Brandweer Brabant Noord), Sander Bosma (Brandweer Drenthe), Annemieke Hendriks (Brandweeracademie), Eric Krale (Politieacademie), Jetty Middelkoop (Brandweer Amsterdam Amstelland), Nils Rosmuller (Instituut Fysieke Veiligheid), Ko van Wijland (Brandweer Twente), Peter Wilbers (Rijkswaterstaat)
Eindverantwoordelijk: Ricardo Weewer (Brandweeracademie)
Beeldmateriaal: Stichting Elaad.nl, Renault Nederland, Emoss, Moditech Rescue Solutions BV, VDL Bus & Coach BV, TankPro, Volvo Trucks Nederland, QBuzz BV, Euro-codicil Europa, SWOG info hulpdiensten, e-Traction, Toyota Motor Europe, NV Subaru Benelux, Groen7.nl, Fastned, Wikipedia, TankPro.

Voorwoord

De publicatie *Brandweeroptreden bij incidenten met moderne voertuigen. Handelingsperspectief en achtergrondinformatie* informeert hulpverleners over de eigenschappen en kenmerken van moderne voertuigen en over mogelijke risico's die verbonden zijn aan het optreden bij incidenten bij dit soort voertuigen. Daarnaast wil deze publicatie ook een handvat bieden hoe veilig kan worden opgetreden. Dit laatste komt vooral tot uitdrukking in het handelingsperspectief.

Deze publicatie is een momentopname, de technologische ontwikkelingen in de automobielindustrie gaan immers razendsnel. Alternatieve aandrijving en ook veiligheidsmiddelen zijn een dankbaar reclamemiddel. We gaan er dan ook van uit dat deze publicatie zich in de loop der tijd steeds verder zal ontwikkelen en verbeteren.

Aan deze publicatie hebben mensen uit zowel de brandweerorganisatie als vanuit de auto-industrie een bijdrage geleverd. Vanuit de brandweer hebben vele collega's vol enthousiasme materiaal en ideeën aangeleverd. Daarnaast is veel informatie beschikbaar gesteld door de autofabrikanten en -importeurs, individueel of via de RAI-vereniging, de BOVAG, recyclingbedrijven en toeleveranciers. Tot slot is een conceptversie gereviewd door diverse professionals vanuit de brandweer, politie en Rijkswaterstaat.

Vanuit de Brandweeracademie willen wij alle mensen die een bijdrage aan deze publicatie hebben geleverd hartelijk bedanken. In het bijzonder noemen we Michael Bertels (Brandweer Brabant Noord), Sander Bosma (Brandweer Drenthe), Eric Krale (Politieacademie), Jetty Middelkoop (Brandweer Amsterdam Amstelland), Nils Rosmuller (Instituut Fysieke Veiligheid), Ko van Wijland (Brandweer Twente) en Peter Wilbers (Rijkswaterstaat) voor hun rol als reviewer van deze publicatie

Wij hopen dat de publicatie een bijdrage zal leveren aan het vakmanschap van de Nederlandse brandweer.

Jaap Molenaar
Vakgroepdecaan Incidentmanagement

Inhoud

Inleiding	7
1 Voertuigaandrijfsystemen	12
1.1 Type motoren	12
1.2 Gevaren van de energiebronnen	13
2 Constructies	15
2.1 Carrosserie	15
2.2 Chassis	16
2.3 Zelfdragende carrosserie	17
2.3.1 Buizenframe	17
2.3.2 Space frame	18
2.3.3 Monocoque	19
2.4 Platform	19
2.5 Bronnen	20
3 Veiligheidsvoorzieningen bestuurder en inzittende(n)	21
3.1 Veiligheidsgordels en gordelspanners	21
3.1.1 Werkmethode veiligheidsgordels en gordelspanners	22
3.2 Airbags	22
3.2.1 Herkenning aanwezigheid airbag	24
3.2.2 Werking airbags	25
3.2.3 Werkmethode airbags	26
3.3 Koprofveiligingssysteem	27
3.3.1 Werkmethode koprofveiligingssysteem	28
3.4 Kooiconstructies en verstevigingsbalken	29
3.4.1 Werkmethode kooiconstructies en verstevigingsbalken	30
3.5 Gelaagd/gelamineerd en doorbraakwerend glas	30
3.5.1 Werkmethode gelaagd/gelamineerd en doorbraakwerend glas	31
3.6 Veiligheidsvoorzieningen in bussen en touringcars	32
3.7 Veiligheidsvoorzieningen in en aan vrachtwagens	32
3.8 Bronnen	33
4 Incidentbestrijding bij moderne (alternatief aangedreven) voertuigen	34
4.1 Herkennen	34
4.2 Verkennen	35
4.2.1 Voorzichtige benadering	35
4.2.2 Identificatie type aandrijving	35
4.3 Stabiliseren	40
4.3.1 Ready-indicator – start/stop – keyless – smartkey	41
4.3.2 Niet deactiveren van de aandrijving	41
4.3.3 Brandbaar gas	41
4.3.4 Bussen en vrachtwagens	42
4.4 Bestrijden	42
4.4.1 Gevaren tijdens de inzet	42

4.4.2	Maatregelen bij incidenten met bussen en vrachtwagens	43
4.4.3	Scenario's en maatregelen bij voertuigen aangedreven door brandbaar gas	43
4.4.4	Scenario's en maatregelen bij voertuigen met hoog voltage-accupakket	47
4.5	Nazorg	50
4.6	Handelingsperspectief	51
4.7	Bronnen	52
5	Veiligheidsvoorzieningen in voertuigen	54
5.1	Veiligheid voertuigaandrijfsystemen	54
5.1.1	Beschermde inbouwlocatie	54
5.1.2	Automatisch uitschakelen bij optreden van een storing	54
5.1.3	Voorkomen van explosies	55
5.2	In voertuigen aangedreven door brandbare gassen	56
5.2.1	Elektromagnetische afsluitklep	56
5.2.2	Mechanische afsluitklep	56
5.2.3	Vulbegrenzer (80%-afsluitklep)	57
5.2.4	Doorstroombegrenzer	57
5.2.5	Overdrukbeveiliging	57
5.2.6	Thermische beveiliging	58
5.2.7	Gasdetectie	58
5.3	In voertuigen met een hoog voltage-accupakket	59
5.3.1	Locatie in het voertuig	59
5.3.2	Waarschuwingsticker voor de hoog voltagekabels	59
5.3.3	Bescherming tegen aanraken	59
5.3.4	Scheiding tussen hoog voltagecircuit en 12 V boordnet	60
5.3.5	Accupakket-managementsysteem	60
5.3.6	Hoog voltage-Interlock-Systeem	60
5.3.7	Ontlaadschakelingen voor het hoog voltagecircuit	61
5.3.8	Onderhoudsstekker	61
5.3.9	Specifiek voor bussen met hoog voltage-accupakket	61
6	LPG	63
6.1	Kenmerken LPG	63
6.2	Aandrijving	63
6.3	Veiligheidsvoorzieningen van de LPG-installatie	64
6.4	Tanken	65
6.5	Bronnen	65
7	Aardgas (CNG, LNG)	66
7.1	Kenmerken CNG en LNG	66
7.2	Aandrijving	67
7.2.1	CNG	67
7.2.2	LNG	69
7.3	Veiligheidsvoorzieningen van de aardgasinstallatie	70
7.4	Tanken	71
7.5	Bronnen	72
8	Waterstof	73
8.1	Kenmerken waterstof	73
8.1.1	Gevaren	74
8.2	Aandrijving	75
8.2.1	Personenvoertuigen	75

8.2.2	Bussen en bedrijfswagens	75
8.3	Veiligheidsvoorzieningen waterstofaandrijving	75
8.4	Tanken	76
8.5	Bronnen	77
9	Hoog voltage-accupakketten	78
9.1	Kenmerken hoog voltage-accupakketten	78
9.2	Aandrijving	78
9.2.1	Elektrische aandrijving	78
9.2.2	Hybride aandrijving	79
9.2.3	Elektrische aandrijving met range-extender	82
9.3	Veiligheidsvoorzieningen hybride en elektrische aandrijving	83
9.4	'Tanken' ofwel opladen	84
9.4.1	Opladen van elektrisch aangedreven voertuigen (algemeen)	84
9.4.2	Laadpalen en maximale capaciteit	84
9.4.3	Veiligheid van het laadpunt	85
9.5	Bronnen	85
	Bijlage 1 Aandachtskaart moderne voertuigen	90
	Bijlage 2 Minimale afstanden	99
	Bijlage 3 Aanvullende informatie over waterstof	102
	Bijlage 4 Opladen en risico's	106

Inleiding

Voertuigen met een alternatieve aandrijving – zoals elektrische voertuigen, hybride voertuigen, voertuigen op aardgas (Liquefied Natural Gas of Compressed Natural Gas) en voertuigen met een brandstofcel (waterstof) – in deze publicatie ook wel *moderne voertuigen* genoemd, zijn steeds vaker aanwezig op de Nederlandse wegen.¹ Dit stelt hulpverleners van onder andere brandweer, politie en ambulancezorg voor vragen over de risico's van incidenten met dergelijke voertuigen.

De Brandweeracademie van het Instituut Fysieke Veiligheid (IFV) ontwikkelde dan ook, met financiële ondersteuning van het Ministerie van Infrastructuur & Milieu en de RAI Vereniging, de instructievideo *Optreden bij incidenten met moderne voertuigen*.² De instructievideo maakt duidelijk dat angst voor moderne voertuigen onnodig is, als bij een incident de juiste stappen worden gevolgd om het voertuig te stabiliseren en energieneutraal te maken. Gelijktijdig aan de ontwikkeling van de instructievideo is deze publicatie *Brandweeroptreden bij incidenten met moderne voertuigen. Handelingsperspectief en achtergrondinformatie* geschreven.³

Nieuwe kennis over veilig optreden bij moderne voertuigen

Het doel van deze publicatie is het overdragen van kennis aan hulpverleners, over de risico's die al dan niet verbonden zijn aan het optreden bij incidenten met moderne voertuigen. Het aanbieden van (veiligheids)informatie aan alle betrokken hulpverleners ondersteunt het multidisciplinair, veilig en efficiënt optreden bij verkeersongevallen. Hoewel de publicatie vooral is geschreven voor brandweermensen, kan de publicatie ook geraadpleegd worden door politiemensen, ambulancemedewerkers, bergers, werknemers van de Wegenwacht en Rijkswaterstaat. Kortom, iedere hulpverlener die op of langs de Nederlandse wegen werkt en opgeroepen kan worden bij verkeersongevallen. Het uitgangspunt hierbij is dat moderne voertuigen op voorhand niet risicovoller zijn dan traditionele voertuigen. Veilig werken is altijd een haalbare doelstelling, mits men doordacht te werk gaat en de juiste voorzorgsmaatregelen in acht worden genomen.

Tijdens het actualiseren van bestaande les- en leerstof voor manschappen en bevelvoerders, is veel nieuwe informatie verzameld over moderne voertuigen en het veilig optreden bij incidenten met dergelijke voertuigen. De verzamelde informatie tezamen vormt voldoende input om deze publicatie te schrijven. In deze publicatie is geprobeerd om in de vorm van een handelingsperspectief en een aandachtkaart een handreiking te doen voor een standaard manier van optreden bij verkeersongevallen, ongeacht het type voertuig dat erbij betrokken is.

¹ Grofweg voertuigen met bouwjaar 2000 of recenter.

² De instructievideo is te vinden op het YouTube-kanaal van de Brandweeracademie, zie:

<http://youtu.be/1EXIXj5Vml0>

³ Aansluitend op deze publicatie kan ook de publicatie *Brandweeroptreden bij incidenten met LNG* gelezen worden. Deze publicatie kan gedownload worden op www.ifv.nl.

Leeswijzer

De publicatie is een verzameling teksten die los van elkaar gelezen kunnen worden. De publicatie bestaat uit twee delen. Het eerst deel bevat algemene informatie over voertuigaandrijfsystemen (hoofdstuk 1), constructies van voertuigen (hoofdstuk 2), veiligheidsvoorzieningen voor bestuurder en inzittende(n) (hoofdstuk 3), incidentbestrijding bij moderne (alternatief aangedreven) voertuigen (hoofdstuk 4) en veiligheidsvoorzieningen in voertuigen (hoofdstuk 5). Hoofdstuk 4 sluit af met een handelingsperspectief, dat direct toepasbaar is in de praktijk en concrete maatregelen en uitleg bevat over gevaren bij incidenten met moderne voertuigen. De informatie in deze en de andere hoofdstukken heeft betrekking op voertuigen in het algemeen. Het tweede deel van de publicatie, hoofdstuk 6 tot en met 8, behandelt verbrandingsmotoren met als brandstof LPG (hoofdstuk 6), aardgas (hoofdstuk 6) en waterstof (hoofdstuk 8). In hoofdstuk 9 worden hoog voltage-accupakketten besproken.

In de bijlagen komen aan bod: de aandachtskaart moderne voertuigen (bijlage 1), minimale afstanden bij incidenten met voertuigen aangedreven door brandbaar gas (bijlage 2), aanvullende informatie over waterstof (bijlage 3) en nadere informatie over (risico's van) opladen (bijlage 4).

In onderstaande matrixen staat per hoofdstuk en per brandweerfunctionaris aangegeven welke paragraaf voor wie geschikt of van toepassing is. De teksten in deze publicatie zijn geschreven voor de volgende functies: manschap, bevelvoerder, Officier van Dienst, Adviseur Gevaarlijke Stoffen en instructeur.

Hoofdstuk 1	Manschappen	Bevelvoerder	Officier van Dienst	AGS	Instructeur
1.1 Type motoren		X			X
1.2. Gevaren van de energiebronnen	X	X	X	X	X

Hoofdstuk 2	Manschappen	Bevelvoerder	Officier van Dienst	AGS	Instructeur
2.1 Carrosserie	X	X			X
2.2 Chassis					X
2.3 Zelfdragende carrosserie	X	X			X
2.4 Platform	X	X			X

Hoofdstuk 3	Manschappen	Bevelvoerder	Officier van Dienst	AGS	Instructeur
3.1 Veiligheidsgordels en gordelspanners	X	X			X
3.2 Airbags	X	X			X
3.3 Koprofveiligingssysteem	X	X			X
3.4 Kooiconstructies en verstevigingsbalken	X	X			X
3.5 Gelaagd/gelamineerd en doorbraakwerend glas	X	X			X
3.6 Veiligheidsvoorzieningen in bussen en touringcars	X	X			X
3.7 Veiligheidsvoorzieningen in en aan vrachtwagens	X	X			X

Hoofdstuk 4	Manschappen	Bevelvoerder	Officier van Dienst	AGS	Instructeur
4.1 Herkennen	X	X			X
4.2 Verkennen	X	X	X		X
4.3 Stabiliseren	X	X			X
4.4 Bestrijden	X	X			X
4.5 Nazorg	X	X			X
4.6 Handelingsperspectief	X	X	X		X

Hoofdstuk 5	Manschappen	Bevelvoerder	Officier van Dienst	AGS	Instructeur
5.1 Veiligheidsvoorzieningen in voertuigen	X	X			X
5.2 In voertuigen aangedreven door brandbare gassen	X	X		X	X
5.3 In voertuigen met een hoog voltage-accupakket	X	X			X

Hoofdstuk 6	Manschappen	Bevelvoerder	Officier van Dienst	AGS	Instructeur
6.1 Kenmerken LPG	X	X			X
6.2 Aandrijving	X	X	X		X
6.3 Veiligheidsvoorzieningen van de LPG-installatie	X	X	X	X	X
6.4 Tanken	X	X	X	X	X

Hoofdstuk 7	Manschappen	Bevelvoerder	Officier van Dienst	AGS	Instructeur
7.1 Kenmerken CNG en LNG	X	X			X
7.2 Aandrijving	X	X	X	X	X
7.3 Veiligheidsvoorzieningen van de aardgasinstallatie	X	X	X	X	X
7.4 Tanken	X	X	X	X	X

Hoofdstuk 8	Manschappen	Bevelvoerder	Officier van Dienst	AGS	Instructeur
8.1 Kenmerken waterstof	X	X			X
8.2 Aandrijving	X	X	X	X	X
8.3 Veiligheidsvoorzieningen waterstofaandrijving	X	X	X	X	X
8.4 Tanken	X	X	X	X	X

Hoofdstuk 9	Manschappen	Bevelvoerder	Officier van Dienst	AGS	Instructeur
9.1 Kenmerken hoog voltage-accupakketten					X
9.2 Aandrijving	X	X	X	X	X
9.3 Veiligheidsvoorzieningen hybride en elektrische aandrijving	X	X	X	X	X
9.4 'Tanken' ofwel opladen		X	X		X

Deze publicatie en de daarop gebaseerde les- en leerstof is een weergave van de huidige stand van zaken. Om de publicatie te kunnen blijven ontwikkelen en verbeteren, ontvangt de Brandweeracademie graag commentaar en suggesties ter verbetering. Wij nodigen u dan ook uit om uw opmerkingen op te sturen naar onderwijscontent@ifv.nl, onder vermelding van 'Publicatie Brandweeroptreden bij incidenten met moderne voertuigen'.

1 Voertuigaandrijfsystemen

Dit hoofdstuk beschrijft de twee typen motoren die toegepast worden in voertuigen (paragraaf 1.1) en gevaren van de twee verschillende energiebronnen (paragraaf 1.2).

1.1 Type motoren

Voertuigen kunnen door twee verschillende voertuigaandrijfsystemen worden aangedreven, namelijk door verbrandingsmotoren en door elektromotoren.

In een verbrandingsmotor kan gebruik worden gemaakt van verschillende brandstofsoorten⁴:

- > benzine
- > diesel
- > liquefied petroleum gas (LPG)
- > aardgas (compressed natural gas (CNG), liquefied natural gas (LNG), biogas)
- > waterstof.

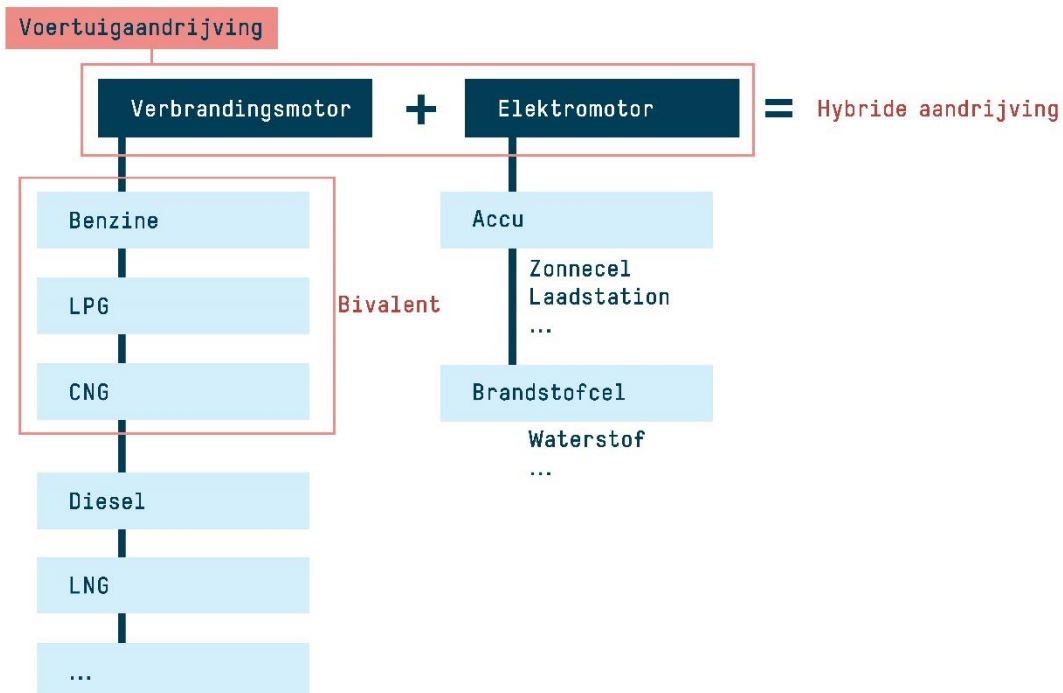
Een elektromotor maakt gebruik van elektrische stroom. Deze stroom kan geleverd worden door een:

- > oplaadbare batterij (Battery Electric Vehicle) ofwel accu⁵
- > ingebouwde brandstofcel (Fuel Cell Electric Vehicle).

Er bestaan bivalente en monovalente aandrijfsystemen. Aandrijfsystemen met één brandstofsoort noemen we monovalent. Hieronder vallen ook alle voertuigen die uitgerust zijn met een nootank met een inhoud van maximaal 15 liter. We spreken van een bivalente aandrijving als in een (multifuel of bifuel) motor meerdere brandstoffen gebruikt kunnen worden. Een combinatie van een verbrandingsmotor en een elektromotor in een voertuig, wordt een hybride aandrijving genoemd (Hybrid Electric Vehicle). Hierin worden de voordelen van beide soorten motoren gecombineerd, zoals geen vervuiling en onafhankelijke energievoorziening.

⁴ Er wordt veel geëxperimenteerd met verschillende soorten brandstoffen (bijvoorbeeld met biobrandstoffen zoals bio-ethanol en lijnzaadolie), deze lijst geeft dan ook geen compleet overzicht.

⁵ In deze publicatie gebruiken we de term accu voor oplaadbare elektrochemische cellen.



Figuur 1.1 Terminologie en onderverdeling van de verschillende aandrijfsystemen

Zowel verbrandingsmotoren – met de ‘nieuwe’ brandstofsoorten aardgas (CNG en LNG, hoofdstuk 7) en waterstof (hoofdstuk 8), als elektromotoren – elektrisch en hybride (hoofdstuk 9) – worden in deze publicatie besproken. Voor de volledigheid is ook LPG als brandstof opgenomen in deze publicatie (hoofdstuk 6). De brandstoffen benzine en diesel worden als voldoende bekend beschouwd.

1.2 Gevaren van de energiebronnen

De energie voor verbrandingsmotoren wordt opgewekt door het verbranden van brandbare vloeistoffen of gassen. Deze worden opgeslagen in een brandstoftank. Opslagtanks voor brandbare vloeistoffen (benzine en diesel) worden al jaren toegepast in voertuigen. Opslagtanks voor brandbare gassen zijn, uitgezonderd die voor LPG, nieuw ontwikkeld en worden steeds meer toegepast. Dit type tanks brengt andere gevaren met zich mee, omdat gassen altijd samengeperst of vloeibaar gemaakt worden om deze te kunnen opslaan en vervoeren. Dit gebeurt door ze onder druk te brengen of sterk af te koelen. Zo wordt CNG samengeperst in een drukhouder, LPG onder druk vloeibaar gemaakt in een drukhouder en LNG door afkoeling vloeibaar gemaakt en opgeslagen in een goed-geïsoleerde dubbelwandige drukhouder (een soort ‘thermosfles’).

Bij het vrijkomen van de vloeibaar gemaakte gassen uit de opslagtank, het gasinstallatiesysteem of de leidingen, treedt zeer snelle verdamping op en komen relatief grote volumes brandbaar gas vrij. Dit kan leiden tot een relatief groot explosiegevaarlijk gebied. De energie die het kost om een gas op te slaan (comprimeren of afkoelen), komt weer beschikbaar als het gas vrijkomt.

Elektromotoren worden aangedreven door een hoog voltage-accupakket⁶. Dit accupakket wordt opgeladen vooraf of tijdens het rijden. Het belangrijkste gevaar is de grote hoeveelheid energie die opgeslagen is en blijft (ook bij het afschakelen van de motor) in het accupakket. Vooral de bekende lithium-ionaccupakketten staan bekend om het hoge brandgevaar, het telkens herontsteken van een brand en zelfs explosiegevaar (ook wel runaway genoemd). Ook bevatten accupakketten gevaarlijke stoffen.

In deze publicatie maken we onderscheid in de gevaren die veroorzaakt worden door de opslag van brandbare gassen in voertuigen en de gevaren van de hoog voltageaccupakketten en bijbehorende systemen.

⁶ In deze publicatie gebruiken we de term hoog voltage-accupakket. Een veelgebruikte term is hoogspanningsaccu, maar dit is formeel niet juist omdat pas sprake is van hoogspanning bij voltages > 1500 Volt gelijkspanning (dus 1500 VDC) of 1000 V wisselstroom (1000 VAC). Bij lagere voltages is er sprake van laagspanning (Arbowet). Ook worden in de praktijk de termen batterij of batterypack gebruikt. In deze publicatie gebruiken we de term accu voor oplaadbare elektrochemische cellen en de term accupakket voor geschakelde cellen die een hoog voltage leveren.

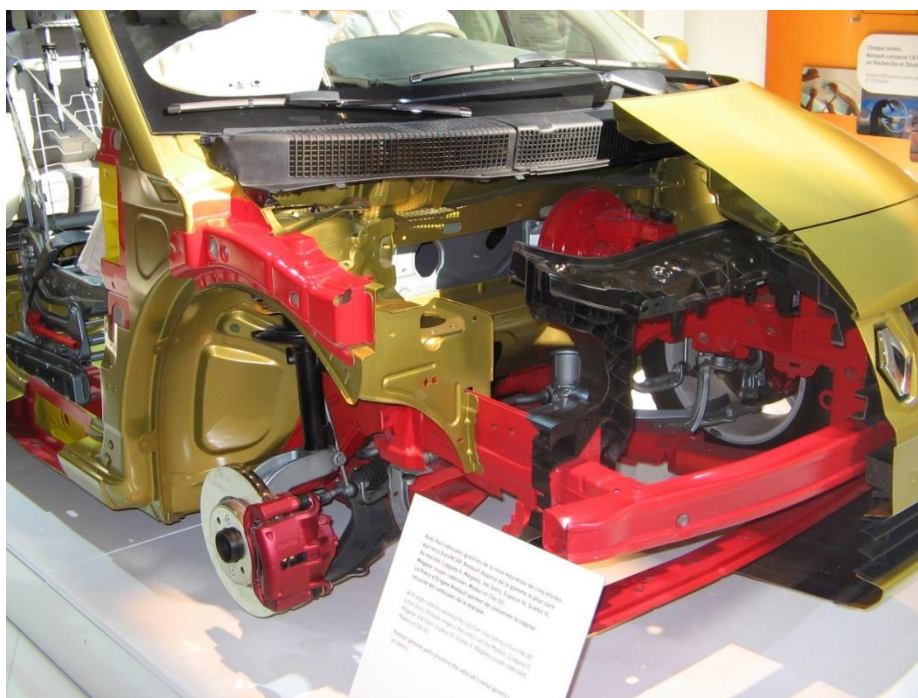
2 Constructies

Bij incidenten met (moderne) voertuigen wordt de brandweer niet alleen geconfronteerd met de verschillende soorten aandrijvingen, maar ook met verschillende soorten constructies van voertuigen. Kennis van de constructie van voertuigen is van belang om te begrijpen waarom bepaalde onderdelen van een voertuig probleemloos kunnen worden verwijderd en andere onderdelen vooral niet verzwakt moeten worden, bijvoorbeeld vanwege de positie van een bekneld persoon.

Het is vrijwel onmogelijk om alle varianten die autofabrikanten toepassen, uitgebreid te behandelen. In dit hoofdstuk richten wij ons dan ook op de algemene methodieken die worden gebruikt. Daarbij wordt gebruikgemaakt van termen die uit de auto-industrie afkomstig zijn en in het dagelijks taalgebruik van de brandweer niet worden gebezigd. Er is geprobeerd deze termen daar waar nodig te verklaren.

2.1 Carrosserie

De carrosserie is het koetswerk van een motorvoertuig (bijvoorbeeld een personenauto of een bus). Dat wil zeggen dat de carrosserie een constructie is zonder losse onderdelen zoals de motor, de wielen, de aandrijflijn en het interieur (onder andere de zitplaatsen).



Afbeelding 2.1 Renault Scenic, in rood de veiligheidsdelen van de carrosserie

Vaak wordt de carrosserie op het chassis (zie paragraaf 2.2) geplaatst. Het kan ook zijn dat een voertuig geen chassis heeft, maar een zelfdragende carrosserie (zie paragraaf 2.3). Bij een zelfdragende carrosserie is de carrosserie zo stevig uitgevoerd, dat de losse onderdelen direct op de carrosserie gemonteerd kunnen worden.

De moderne carrosserieën zijn gemaakt van diverse soorten staal, aluminium en kunststoffen.

2.2 Chassis

Een (voertuig)chassis met wielophanging kan omschreven worden als 'een compleet rijdbaar onderstel van een voertuig, zonder enige opbouw'. Het is het dragende deel van een motorvoertuig, waaraan de aandrijflijn, wielophanging en carrosserie worden gemonteerd. Het chassis is als het ware de ruggengraat van een motorvoertuig. Met een chassis kan men dus al rijden.



Afbeelding 2.2 Een chassis (met wielophanging en uitlaatsysteem)

In de begintijd van personenvoertuigen was het gebruikelijk dat men een chassis kocht (wat het merk van de auto bepaalde) en dat het chassis door een carrosseriebouwer van een koetswerk werd voorzien. Bij bussen is dit nog steeds gebruikelijk. Vrachtwagens worden meestal geleverd in de vorm van een chassis met cabine, die door de koper kan worden voorzien van een opbouw volgens eigen wensen of eisen. Dit is ook mogelijk bij bijvoorbeeld bedrijfswagens.

Het chassis bestaat bij vrachtwagens doorgaans uit twee balken, langsliggers genaamd, die door middel van dwarsverbindingen aan elkaar zijn gekoppeld. Dit type heet een ladderchassis en wordt voornamelijk toegepast bij vrachtwagens en terreinvoertuigen. Het chassis wordt over het algemeen in staal uitgevoerd, waarbij vaak stalen U-vormige profielen worden toegepast.

Op het chassis is het chassisnummer (Voertuig Identificatie Nummer, VIN) ingeslagen, dat ter identificatie van het voertuig wordt gebruikt.

2.3 Zelfdragende carrosserie

Moderne, in grote aantallen geproduceerde voertuigen (personenvoertuigen en bussen), hebben sinds het midden van de twintigste eeuw meestal een zelfdragende carrosserie. De wielophangingen worden hierbij direct aan de carrosserie bevestigd. Dit in tegenstelling tot (meestal) oudere personenvoertuigen, vrachtwagens en terreinvoertuigen, waarbij de wielophangingen op een apart chassis zijn opgebouwd. Een carrosserie die zelfdragend is heeft geen chassis nodig, omdat de carrosserie zelf over voldoende sterkte beschikt om alle belastingen op te vangen. Een zelfdragende carrosserie is dan ook de meest gebruikte constructiemethode voor personenvoertuigen en sportwagens, omdat het uit één geheel bestaat en dus veiliger is dan de constructie met chassis en carrosserie.

De zelfdragende carrosserie is opgebouwd uit een aantal bouwgroepen van geperste plaatdelen:

- > een bodemgroep, bestaande uit vloerplaten met versterkingen (overlap van de langsliggers in een chassis)
- > de zijwandsamenstellingen
- > het dak
- > de benodigde dwarsverbindingen.

De delen worden onder andere met elkaar verbonden door het verlijmen van carrosseriedelen en door middel van puntlassen, voor het merendeel door robots aangebracht. De deuren en kleppen worden later als losse delen gemonteerd. Tegenwoordig hebben ook de gelijmde ruiten een belangrijk aandeel in de stijfheid van de carrosserie.

Er bestaan diverse uitvoeringen van een zelfdragende carrosserie, die in de volgende deelparagrafen worden toegelicht:

- > buizenframe, bekleed met buitenbeplating
- > space frame, bekleed met buitenbeplating
- > monocoque.

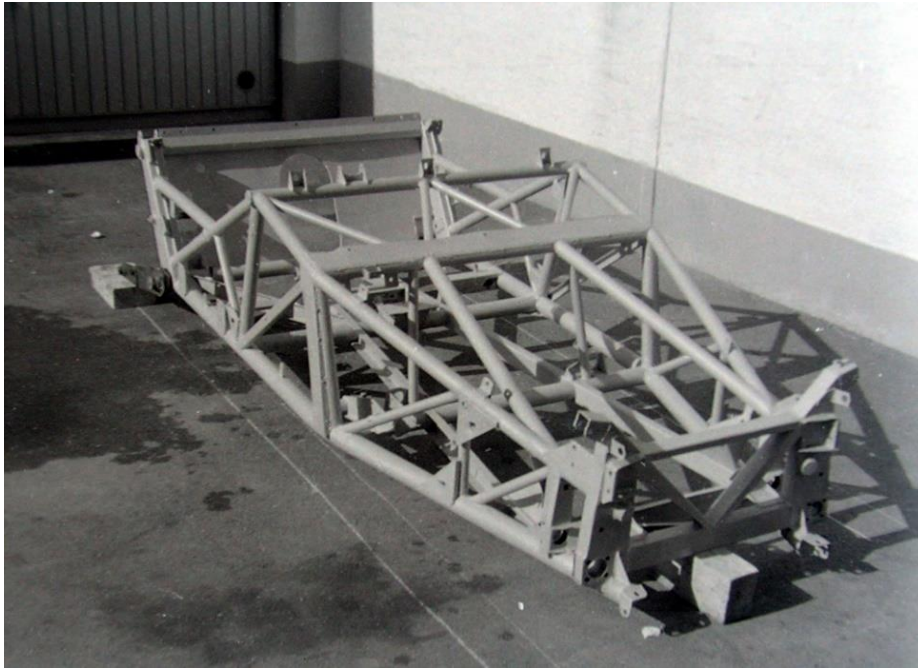
2.3.1 Buizenframe

Een buizenframe is een ruimtelijk vakwerk, opgebouwd uit driehoekige frames, waaraan de sterkte ontleend wordt: buig- en torsiebelastingen worden omgezet in trek- en drukkrachten in de lengterichting van de staven. Op het buizenframe van een personenvoertuig wordt een lichte carrosserie uit aluminium of kunststof aangebracht, die echter niet aan de sterkte van het voertuig bijdraagt.

Als materiaal voor een buizenframe kan gekozen worden voor buizen (rond of rechthoekig) en profielen uit staal, aluminium en roestvast staal. Bij speciale constructies kan ook gekozen worden voor met koolstofvezel versterkte kunststoffen of hout. Voor de knooppunten worden smeed- en gietstukken of machinaal bewerkte delen uit staal of aluminium ingezet. Buizenframes worden gebruikt bij kleine seriegrootte, speciaal voor de productie van sportwagens, maar ook voor bussen en motoren. Sportwagens met een buizenframe zijn bijvoorbeeld:

- > Mercedes-Benz 300 SL
- > Porsche 550 A
- > Lotus Seven
- > Lamborghini Countach.

Ook de NASCAR-racewagens worden uitsluitend gebouwd met een buizenframe.



Afbeelding 2.3 Buizenframe Jaguar C-Type, 1951

2.3.2 Space frame

Een space frame is een samenstelling van kokerprofielen, met gepuntlaste stalen persdelen, die het geraamte van de carrosserie vormt en bekleed wordt met glasvezelversterkte polyester buitendelen. Deze constructie wordt vooral toegepast voor middelgrote series, omdat de investeringen in persgereedschappen beperkt kunnen blijven. Een ander voordeel van de kunststof buitenbeplating is de ongevoeligheid voor kleine deuken en corrosie.

Voorbeelden van personenvoertuigen met een space frame zijn:

- > Matra Murena (1980)
- > Pontiac Fiero (1984)
- > Renault Espace I (1984)
- > Pontiac Trans Sport (1989).



Afbeelding 2.4 Renault Espace 1 met space frame, 1984

Een tweede versie van een space frame is de aluminium versie. Dit frame wordt aan elkaar gelast of verbonden door middel van smeed- of gietstukken, net als bij een buizenframe. Voordeel van deze aluminium profielen is dat het roestprobleem definitief tot het verleden zou moeten behoren (hoewel aluminium echter ook onder bepaalde omstandigheden kan corroderen) en de lage investeringskosten voor de matrijzen. Ook deze versie kan worden voorzien van een buitenbeplating van kunststof panelen, maar ook van aluminium panelen. Voorbeelden van personenvoertuigen met een space frame van aluminium zijn:

- > Audi A8, gepresenteerd in 1994, met een volledig aluminium carrosserie en een ASF-frame (Audi Space Frame)
- > Honda NSX
- > Ferrari 360
- > Lamborghini Gallardo.

2.3.3 Monocoque

Oorspronkelijk komt de monocoque uit de race-industrie. Hiervoor worden vormdelen uit prepreg (onder andere kevlar en koolstofvezels) tot een monocoque samengesteld. Bij een hoge temperatuur en een overdruk in een oven wordt de hars uitgehard. Door de overdruk wordt het overschot aan hars afgevoerd, om het vezelgehalte en daarmee de sterkte te verhogen.

De monocoques uit composietmateriaal zijn met hun lagere gewicht hun voorgangers uit aluminium in alle opzichten (gewicht, sterkte en stijfheid) verre de baas. Wel stellen de constructie en de productie totaal nieuwe (en dure) eisen aan de renstallen. Zo werd het eerste chassis nog door de luchtvaartindustrie vervaardigd. Na enige jaren waren alle teams in staat de monocoques zelf te vervaardigen. Vooral de hoge productkosten maken dat deze techniek slechts geschikt is voor het vervaardigen van enkele voertuigen. Overigens dragen de ontwikkelingen die gedaan worden in de racewereld bij aan de ontwikkelingen binnen de reguliere voertuigtechnieken.

2.4 Platform

Het onderste gedeelte van de zelfdragende carrosserie (de vloergroep) wordt het platform genoemd. Hierin zitten in principe tevens de kreukelzones aan voor- en achterzijde. De aandrijving en wielophangingen worden vaak ook tot het platform gerekend.

Het platform wordt ook wel de architectuur van een personenvoertuig genoemd. De bodemplaat, samengesteld uit twee gevormde metaalplaten, zorgt voor een stevige basis. Daarop zijn de stijlen bevestigd; het geheel van bodemplaat en stijlen vormt de zelfdragende carrosserie.

Het ontwikkelen van een goed (stabiel en uitgebalanceerd) platform kost veel tijd en behoort onder meer daardoor tot de hoogste kosten van een ontwerp. Om de kosten voor een ontwerp beter te kunnen terugverdienen, streven fabrikanten ernaar om een platform meerdere keren te gebruiken. Personenvoertuigen die op hetzelfde platform gebaseerd worden, kunnen namelijk ook op dezelfde productielijn worden gemaakt.

Bekend voorbeeld is de Smart ForFour die het platform deelt met de Mitsubishi Colt. Allebei werden bij NedCar in Born in Nederland gebouwd. Andere voorbeelden zijn de Peugeot 107, de Toyota Aygo en de Citroën C1, die alle drie in een gezamenlijke fabriek (TCPA) in Tsjechië worden gebouwd. Er zijn ook minder voor de hand liggende combinaties denkbaar. Zo wordt door Nissan eenzelfde platform gebruikt voor de Nissan 350Z sportwagen, de Infinity M personenvoertuig en de Infinity FX SUV. Tegenwoordig delen ook verschillende fabrikanten platforms. Eén van de eerste platforms die door verschillende fabrikanten werd

gedeeld is terug te vinden bij de Fiat Croma, Alfa Romeo 164, Lancia Thema en Saab 9000. Dit kwam voort uit het Type 4 project. Nu wordt onder meer het platform van de Volkswagen Touareg, Porsche Cayenne en Audi Q7 door verschillende andere (wel tot hetzelfde concern behorende) fabrikanten gedeeld.

Het delen van platformen blijft niet beperkt tot personenvoertuigen. Ook diverse typen bedrijfswagens worden op hetzelfde platform gebouwd, al is dan meestal sprake van een vorm van batch-engineering (productie-eenheid): meestal wijken alleen de grill en het naamplaatje af. Bekende voorbeelden hiervan zijn de Mercedes-Benz Sprinter en de Volkswagen Crafter.

2.5 Bronnen

- > Wikipedia (carrosserie), <http://nl.wikipedia.org/wiki/Carrosserie>
- > Wikipedia (chassis), <http://nl.wikipedia.org/wiki/Chassis>
- > Wikipedia (zelfdragende carrosserie),
http://nl.wikipedia.org/wiki/Zelfdragende_carrosserie
- > Wikipedia (space frame), http://nl.wikipedia.org/wiki/Space_frame
- > Wikipedia (monocoque), <http://nl.wikipedia.org/wiki/Monocoque>
- > Wikipedia (platform auto), [http://nl.wikipedia.org/wiki/Platform_\(auto\)](http://nl.wikipedia.org/wiki/Platform_(auto))

3 Veiligheidsvoorzieningen bestuurder en inzittende(n)

Personenvoertuigen zijn voorzien van verschillende veiligheidsvoorzieningen. Deze geven de bestuurder en eventuele inzittende(n) in het geval van een ongeval een hogere overlevingskans en verkleinen de kans op ernstige verwondingen. Veiligere voertuigen voorkomen echter geen ongelukken. Diverse veiligheidsvoorzieningen hebben daarnaast het nadeel dat ze de bevrijding van slachtoffers kunnen bemoeilijken. Dit is bijvoorbeeld het geval bij sterke en harde materiaalsoorten en bij het toepassen van airbags.

Voertuigen kunnen voorzien zijn van onderstaande veiligheidsvoorzieningen:

- > veiligheidsgordels en gordelspanners
- > airbags
- > koprofbeveiligingssysteem
- > kooiconstructies en verstevigingsbalken
- > gelaagd/gelamineerd en doorbraakwerend glas
- > veiligheidsvoorzieningen in bussen en touringcars
- > Veiligheidsvoorzieningen in en aan vrachtwagens.

In dit hoofdstuk zullen naast de bespreking van bovenstaande veiligheidsvoorzieningen, ook de bijbehorende werkmethoden weergegeven worden. Hoewel dit hoofdstuk vooral betrekking heeft op veiligheidsvoorzieningen voor bestuurder en inzittende(n) in personenvoertuigen, zal in de laatste twee paragrafen ook kort stilgestaan worden bij dergelijke voorzieningen in bussen, touringcars en vrachtwagens.

3.1 Veiligheidsgordels en gordelspanners

Vrijwel ieder personenvoertuig heeft tegenwoordig veiligheidsgordels, met uitzondering van sommige oldtimers (de gordel werd in 1975 voorin het personenvoertuig verplicht gesteld voor nieuwe voertuigen). Veel autofabrikanten maken bij veiligheidsgordels gebruik van gordelspanners. Deze zorgen er tijdens frontale botsingen voor dat er zo weinig mogelijk loze speling en rek in de gordel zit. Door de gordelspanners komt de gordel strak langs het lichaam te lopen. Het aanspannen begint al voordat de inzittende in beweging komt. Gordelspanners worden alleen geactiveerd bij frontale botsingen.

Gordelspanners kunnen op verschillende plaatsen aanwezig zijn: in de stijlen bovenin, in de stijlen onderin, op de middenconsole of verwerkt in de stoelen.

Er zijn drie soorten gordelspanners.

- > Mechanische gordelspanners. Deze gordelspanners worden mechanisch ontgrendeld en spannen de veiligheidsgordels. Bij sommige automerken gaat dit met behulp van een veer.
- > Pyrotechnische gordelspanners. Deze gordelspanners worden door de airbag-regeleenheid geactiveerd. Een pyrotechnische eenheid zorgt voor het spannen van de veiligheidsgordel.

- > Pyrotechnische eindaanslagspanners. De eindaanslagspanners worden door de airbag-regeleenheid van de stoel geactiveerd. Een pyrotechnische eenheid zorgt voor het spannen van de veiligheidsgordel.



Afbeelding 3.1 Gordel met pyrotechnische gordelspanners

3.1.1 Werkmethode veiligheidsgordels en gordelspanners

Bij redding hoeft geen aandacht geschonken te worden aan de gordelspanner, tenzij het nodig is om (een deel van) de stoel of een gedeelte rond de stoel (zoals de middenstijl) weg te halen. In dat geval is de werkmethode als volgt.

- > Gordels doorsnijden of losmaken (bijvoorbeeld met behulp van een gordelmes/crashmes). Dit mag pas gebeuren na overleg met de medische hulpverlening. Een aangespannen gordel kan bloedvaten namelijk afknellen, waardoor bloedingen worden gestopt.
- > Het redgereedschap mag de gordelspaninrichting niet forceren. De gordelspaninrichting mag niet doorgeknipt worden. Hierdoor kan een niet-geactiveerde gordelspanner namelijk alsnog worden geactiveerd.

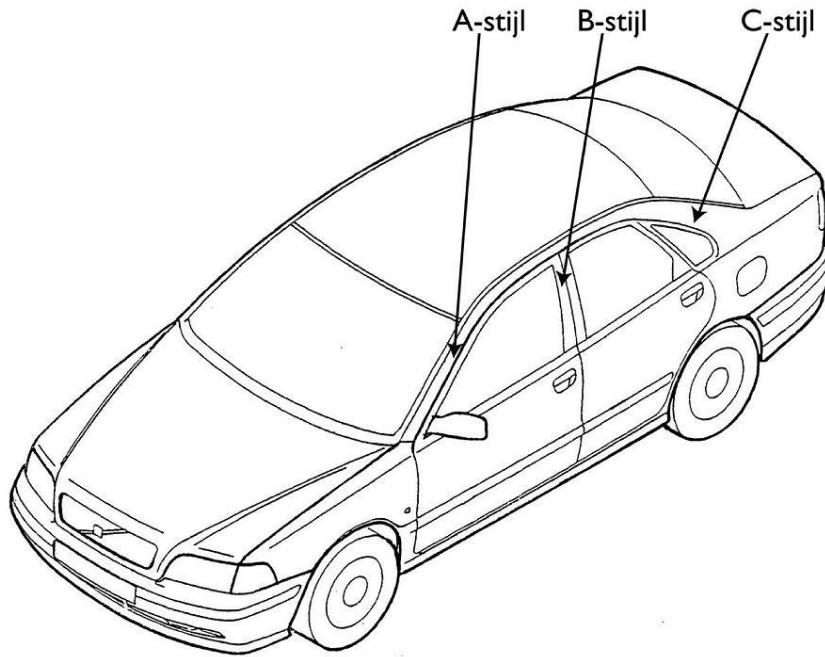
Wees dus alert op het afgaan van gordelspanners. Uit verschillen incidenten is gebleken dat je dit niet kunt voorkomen. Neem dan ook in overweging of tijdens een incident de gordel losgemaakt moet worden, voordat er met bevrijding gestart wordt (uiteraard in overleg met het ambulancepersoneel).

3.2 Airbags

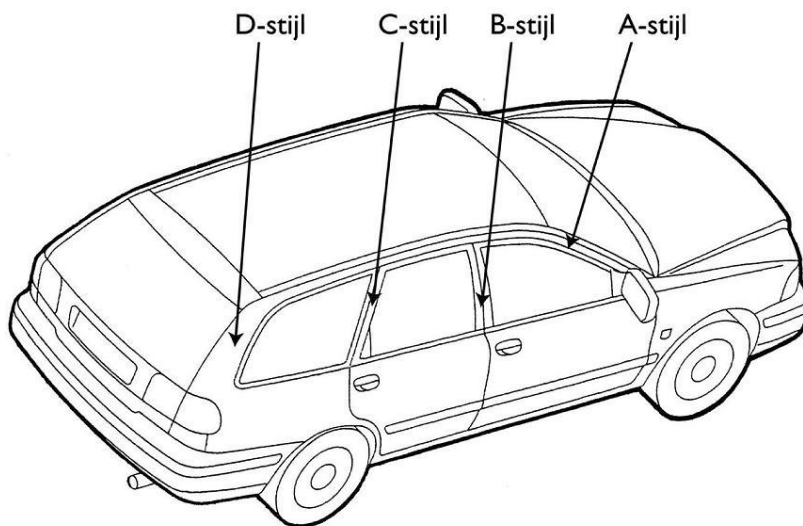
Praktisch ieder nieuw personenvoertuig is voorzien van één of meerdere airbags. Airbags worden alleen geactiveerd bij botsingen. Er zijn verschillende types airbags.⁷

⁷ Het aantal en de locaties van airbags is continu onderhevig aan veranderingen. Deze lijst is dan ook mogelijk niet compleet.

- > Stuur- en bijrijdersairbags. Dit soort airbags, ook wel front-airbags genoemd, voorkomt samen met de driepuntsveiligheidsgordel dat de inzittenden met het hoofd op het stuur of het dashboard klappen. Daardoor wordt zwaar hersenletsel voorkomen. De stuur- en bijrijdersairbags treden in werking bij een frontale botsing. In de omgeving van het dashboard/stuur (en vaak vóór de bijrijder) wordt een ontsteking snel geactiveerd, waarna vervolgens een luchtzak wordt geactiveerd en opgeblazen. De grootte van de airbag is dusdanig dat de ruimte tussen stuur en bestuurder afgedekt is. Deze airbags worden met 'SRS' (Supplemental Restraint Systems), 'SIR' of 'SIRS' (Supplemental Inflatable Restraint Systems) aangeduid.
De bijrijdersairbag bevindt zich in het dashboard recht voor de bijrijder of in het dak. Deze airbag kan in een aantal gevallen handmatig uitgeschakeld worden, bijvoorbeeld bij plaatsing van een kinderstoeltje op de passagiersstoel. Deze airbag kan ook elektronisch uitgeschakeld zijn door het minimale gewicht van bijvoorbeeld een kinderstoel. In vergelijking met de stuurairbag is de bijrijdersairbag groter qua volume omdat de afstand tussen de bijrijder en het dashboard groter is dan de afstand tussen het stuur en de bestuurder.
Een stuur- of bijrijdersairbag treedt niet in werking bij zijdelingse botsingen, van achteren aangereden worden, over de kop slaan of minder zware frontale botsingen. Voor deze gevallen zijn er onder andere de speciale zij-airbags, opblaasgordijnen en dergelijke.
- > Knie- en bovenbeenairbags. Knie- en bovenbeenairbags beschermen de bovenbenen en zijn mogelijk aanwezig bij zowel de bestuurder als de bijrijder. Deze airbags zullen gelijktijdig afgaan met de stuurairbag. De knie- en bovenbeenairbags zijn herkenbaar aan het opschrift 'SRS knie airbag'.
- > Voetairbags. Dit soort airbags moet beknelling van de voeten onder de pedalen voorkomen.
- > Zij-airbags. Zij-airbags beschermen de borstkas bij zijdelingse aanrijdingen. Ze voorkomen dat de carrosserie tegen de inzittende komt. Deze airbags zijn gemonteerd in de rugleuning of de zijkant van de stoel of in de deur. Bij activering vullen zij de ruimte tussen stoel en deur.
- > Hoof dairbags of opblaasgordijnen. Deze airbags, ook wel window-airbags genoemd, beschermen het hoofd tijdens zijdelingse aanrijdingen of als het voertuig over de kop slaat. Deze gordijnairbags bevinden zich tussen de A-, B-, C- en eventueel D-stijlen (zie ook figuren 3.2 en 3.3).
- > Airbags bij de achterbank. In moderne personenvoertuigen komen zelfs airbags voor in de middenconsole bij de achterbank, in de hoofdsteunen van de achterbank en in de gordels op de achterbank. Dit laatste, nieuwe type airbag dient om het bovenlichaam zachter op te vangen bij een ongeval. Wanneer het voertuig ergens tegenaan botst, wordt de gordel dus opgeblazen, waardoor de krachten verspreid worden over een oppervlak dat vijfmaal groter is dan bij een normale gordel.
- > Voetgangersairbag. Er bestaan tegenwoordig ook personenvoertuigen met een voetgangersairbag, die vanonder de motorkap komt en voetgangers bij een frontale botsing beschermt.



Figuur 3.2 Benaming dakstijlen bij een sedanmodel



Figuur 3.3 Benaming dakstijlen bij een stationcarmodel

3.2.1 Herkenning aanwezigheid airbag

In het Crash Recovery System kan worden opgezocht of een bepaald model voertuig over airbags beschikt en zo ja, welke types. Herkenningpunten om te zien of een voertuig één of meerdere airbags heeft, zijn een:

- > aanduiding op het stuurwiel (airbag, SRS, SIR)
- > sticker aan de bovenkant van het dashboard
- > aanduiding dat er geen kinderzitje geplaatst mag worden in de buurt van de plaats van de bestuurder
- > signalering op het instrumentenpaneel
- > aanduiding op de linker onderkant van de voorruit
- > aanduiding op het typeplaatje
- > aanduiding op de zijruit of binnenbekleding bij de zij-airbag

- > sleutelgat aan de zijkant van het dashboard aan de bijrijderskant, om de airbag uit te zetten.

3.2.2 Werking airbags

Vrijwel ieder automerk heeft zijn eigen airbagsysteem, maar in het algemeen zijn er twee soorten: elektronisch geactiveerde airbagsystemen en mechanisch geactiveerde airbagsystemen.

Het elektronisch geactiveerde airbagsysteem bestaat uit een:

- > gasgenerator, in de gasgenerator zit een hoeveelheid brandstof in de vorm van tabletten (zoals natriumazide⁸, nitroguanidine of guanidinenitraat)
- > regelapparaat met schoksensoren
- > airbag.

Het regelapparaat in het voertuig registreert de botsing. De botsing wordt gesignaleerd door de schoksensoren (botssensoren). Na een signaal van het regelapparaat wordt de vaste brandstof in de gasgenerator tot ontbranding gebracht. Hierdoor vult de gasgenerator de airbag met gas. Het gevolg is dat de airbag met een grote knal vrijkomt. Hierna verdwijnt het gas door openingen in de airbag.

Ook zij-airbags worden elektronisch geactiveerd. Er bevindt zich een sensor in de zijkant van het voertuig. Deze sensor geeft bij een botsing een signaal door aan het airbagsysteem. Dit treedt vervolgens in werking.

Het mechanisch geactiveerde airbagsysteem bestaat uit een:

- > gasgenerator, met brandstof in de vorm van tabletten of een drukcilinder
- > mechanische ontsteking met een kogel en een slagpin
- > airbag.

De mechanische ontsteking bestaat uit een huls, waarin een kogel kan bewegen. Bij normale versnelling en vertraging blokkeert de kogel een slagpin. Boven een bepaalde vertraging verplaatst de kogel echter en komt de slagpin vrij. De slagpin brengt vervolgens de gasgenerator, waarin brandstof in de vorm van tabletten aanwezig is, tot ontploffing. Deze ontploffing zorgt voor het grote volume gas, dat nodig is om de airbag zeer snel te vullen.

Het hele proces van activering en de-activering van de airbag gaat razendsnel: gemiddeld duurt het hele proces maar 120 milliseconden. Bij een ééntrapsuitvoering van het airbagsysteem zal de generator in één keer de airbag opblazen. Bij een tweetrapsuitvoering wordt de airbag in twee keer opgeblazen. Afhankelijk van de zwaarte van het ongeval, bepaalt het airbagbesturingsapparaat de tijdspanne tussen beide vullingen. Deze varieert van 5 tot 30 milliseconden. Door de eerste vulling is de airbag relatief zacht, omdat de druk na de explosie weer afneemt. Bij de tweede vulling wordt de airbag bijgevuld en daardoor tijdelijk harder. Beide vullingen zullen altijd afgaan, om te voorkomen dat tijdens de inzet door hulpverleners alsnog een tweede explosie kan plaatsvinden.

Door het activeren van de schoksensoren worden bij veel personenvoertuigen ook andere veiligheidsvoorzieningen (naast de airbag) aangestuurd, namelijk de:

- > deuren gaan allemaal van het slot
- > binnenverlichting kan gaan branden

⁸ Natriumazide werd in vroege airbags gebruikt om stikstofgas te genereren dat de airbag opblaast. Natriumazide is echter toxisch en mogelijk instabiel. In latere generaties van airbags is het vervangen door minder gevoelige en minder toxische gasvormende explosieven, zoals nitroguanidine of guanidinenitraat.

- > brandstofpomp kan spanningsloos gemaakt worden
- > alarmverlichting kan aan gaan.

3.2.3 Werkmethode airbags

Geactiveerde airbag

Bij een voertuig waarvan de airbag is geactiveerd, kan direct worden gestart met de reddingswerkzaamheden. De geactiveerde, leeggelopen airbag hangt naar beneden.



Afbeelding 3.4 Geactiveerde, leeggelopen airbag

Niet-geactiveerde airbag

Ook bij een niet-geactiveerde airbag wordt onmiddellijk begonnen met de reddingswerkzaamheden. Bepaal (indien aanwezig aan de hand van het Crash Recovery System) of het voertuig is uitgerust met één of meerdere typen airbags. Dit is geen eenvoudige zaak, zeker niet als het voertuig zwaar beschadigd is. In geval van twijfel wordt er altijd van uitgegaan dat er airbags aanwezig zijn.

In het geval van niet-geactiveerde airbags, moet ervoor gezorgd worden dat de airbags niet alsnog geactiveerd worden. Door brand kan bijvoorbeeld de aansturing van de airbags instabiel worden en de airbag onverwachts activeren. Om die reden moeten bij aanvang van de werkzaamheden bepaalde veiligheidsmaatregelen in acht worden genomen, de zogenaamde AIRBAG-regel. De AIRBAG-regel bestaat uit zes eenvoudige vuistregels die tijdens een reddingsoperatie gevolgd moeten worden om het risico van niet-geactiveerde airbags zo klein mogelijk te maken. Bij elke letter hoort een vuistregel.

- A:** **Afstand houden:** 90 centimeter van de passagiersairbag, 60 centimeter van de bestuurdersairbag en 30 centimeter van de zij- en knie-airbags: 90-60-30. Zorg ervoor dat er niets tussen de niet-geactiveerde airbag en het slachtoffer komt. Dit geldt niet alleen voor alle lichte en zware voorwerpen en gereedschappen, maar ook voor hulpverleners zelf. Het opblaaspad van de airbag moet dus vrij blijven. Er zijn verschillende middelen op de markt, zoals hoezen en dergelijke, waarmee de gevolgen van het afgaan van de stuurairbag 'opgevangen' kunnen worden; ze verkleinen als het ware het werkingsgebied van de airbag. Deze airbaghoezen garanderen echter geen absolute veiligheid.

- I:** Interieur verkennen op airbags.
- R:** Reddingswerkers waarschuwen voor niet-geactiveerde airbags.
- B:** **Batterij/accu:** onderbreek de stroomvoorziening naar het airbagsysteem, voordat gewerkt wordt rondom een airbagsysteem. Schakel, als het mogelijk is, het contact uit en bewaar de autosleutels op minimaal vijf meter afstand van het voertuig.
- A:** **Afhalen van interieurbekleding.** Verwijder voor het knippen de binnenbekleding en dergelijke van het personenvoertuig, om zicht te krijgen op de aansturing van de airbag en de eventuele aanwezigheid van hogedrukpatronen of bedrading. Geef zo mogelijk met kleurtape of met een stift aan de buitenkant aan waar drukcilinders zitten. Dit maakt de werkwijze voor de hulpverlener buiten het voertuig makkelijker.
- G:** **Gevaren airbag beïnvloeden reddingswerk.** Alleen hulpverleners die daadwerkelijk een taak uitvoeren mogen zich in het werkgebied (vijf meter-cirkel) bevinden. Creëer zo veel mogelijk ruimte tussen de niet-geactiveerde airbag en het slachtoffer. Indien mogelijk moet hiervoor de stoel van een gestabiliseerde inzittende zo ver mogelijk achteruit worden geschoven of de rugleuning omlaag gedaan. Er kan ook geprobeerd worden de stoel met behulp van een spreider naar achteren te persen. Overleg voordat één van deze handelingen wordt verricht echter altijd met de ambulancedienst!

Let op! (1) Alleen het onderbreken van de airbagconnector geeft volledige zekerheid.

Diverse automodellen hebben namelijk een airbagsysteem met een condensator. De condensator is bewust ingebouwd om de airbag na een ongeval, waarbij de spanning wegvalt, toch te activeren. Ook zijn er airbags (de zogenaamde gordijnairbags) die zich ontplooiën door druk uit een drukhouder, meestal gevuld met stikstof.

Let op! (2) Als de airbag afgaat, gebeurt dit met een harde knal van rond de 180 dB en met een snelheid van 200 km/uur.

3.3 Koprofbeveiligingssysteem

Het koprofbeveiligingssysteem (Roll-Over Protection System, ROPS) komt alleen voor bij cabrio's of hardtops. Dit systeem is meestal herkenbaar aan een sticker of opdruk ROPS, RPS of 'do not cover'. Het ROPS signaleert het over de kop slaan (omrollen) van het voertuig. Indien dit het geval is, laat het systeem één of twee koprofbeveiligingsbeugels omhoog schieten, die tot doel hebben de inzittenden te beschermen.

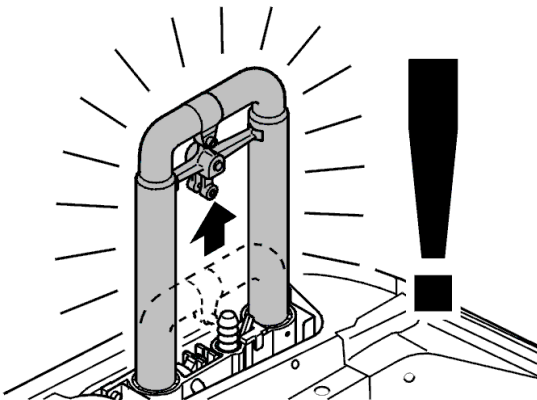


Afbeelding 3.5 Koprofveiligingssysteem

Bij het bereiken van de grenswaarden activeren koprolsensoren de vergrendeling. De koprolveiligingsbeugels worden door veerkracht zeer snel uitgeschoven en in deze stand weer vergrendeld.

3.3.1 Werkmethode koprolveiligingssysteem

Voor het bevrijden van slachtoffers heeft het ROPS geen gevolgen. Bij een cabrio op zijn kop is dit systeem immers al geactiveerd en kan het dus niet meer geactiveerd worden. Let op: zolang er spanning aanwezig is, kan het ROPS geactiveerd worden tijdens de redwerkzaamheden.



Afbeelding 3.6 Geactiveerde koprolbeugel

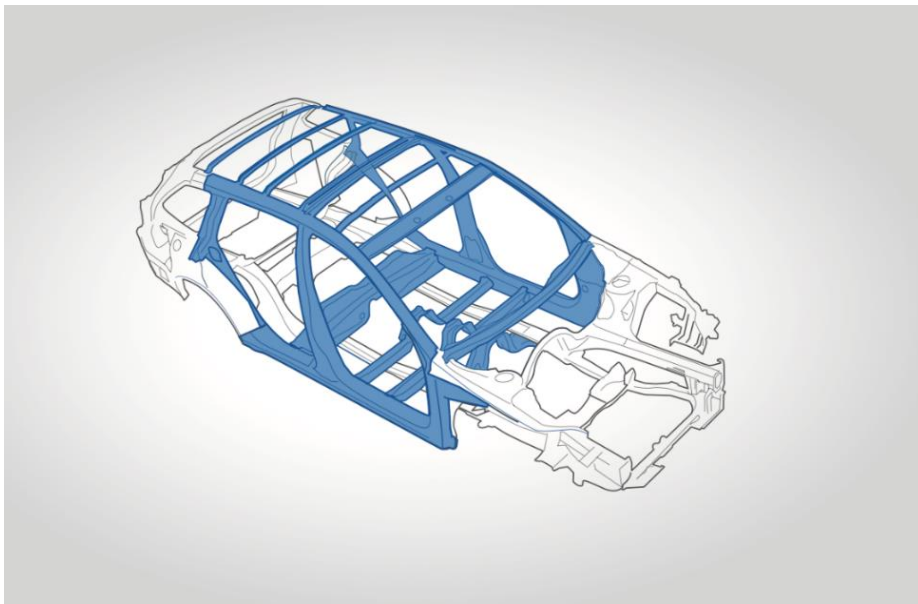
Als de bots-sensor wordt geactiveerd, activeert dit ook de koprolbeugel (de bots-sensor stuurt overigens ook de airbags aan). Deze wordt omhoog gebracht door een veer. De kracht hiervan is groot genoeg om letsel te kunnen veroorzaken. Het is van belang dat er niemand boven de koprolbeugel staat. De uitschuifhoogte van de koprolbeugel is ongeveer 50 centimeter, wat ook de minimale afstand tot de beugel is die men in acht moet nemen.

3.4 Kooiconstructies en verstevigingsbalken

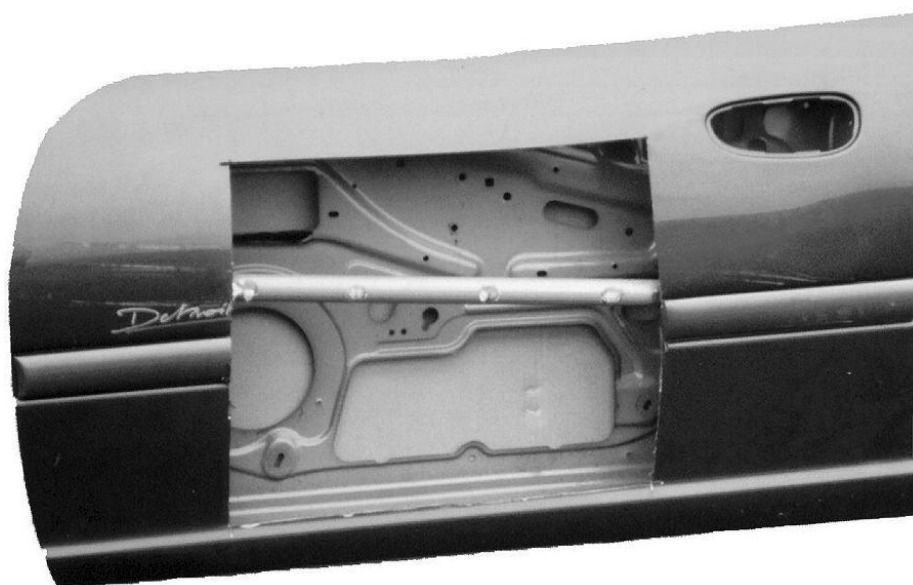
Kooiconstructies en verstevigingsbalken in de deuren hebben als doel de passagiersruimte van het voertuig extra te verstevigen. Door deze constructies blijft de passagiersruimte na een ongeval intact en hebben inzittenden een grotere overlevingskans.

De kooiconstructie is gemaakt van materiaal dat de energie niet absorbeert, waardoor de kooiconstructie niet vervormt. De botsenergie wordt geabsorbeerd door de kreukelzone, die juist gemaakt is om te vervormen.

Het schutbord zorgt ervoor dat bij een frontale botsing de motor niet in de richting van de inzittenden wordt geduwd. In plaats daarvan wordt de motor onder het passagiersgedeelte geleid. Het gevolg hiervan is dat veel energie wordt opgenomen en dat de kans op beknelling van de benen door het naar binnen komende motorblok, sterk afneemt.



Afbeelding 3.7 Kooiconstructie (blauw) en kreukelzones (wit/doorzichtig)



Afbeelding 3.8 Verstevigingsbalk in portier

Om gewicht te besparen zijn nieuwe carrosserie- en chassismaterialen minder dik. Om toch voldoende sterkte te houden, worden hardere materialen gebruikt. Voorbeelden van deze zeer harde materiaalsoorten zijn HSLA-staal, micro-alloy staal en boriumstaal. Deze materialen kunnen tot vijftien keer harder zijn dan normaal staal. HSLA-staal wordt in de hele carrosserie gebruikt op plaatsen waar grote krachten werken, zoals deurstijlen en dergelijke. Micro-alloy en boriumstaal worden gebruikt in verstevigingsbalken en in andere beschermingsbalken.

3.4.1 Werkmethode kooiconstructies en verstevigingsbalken

Kooiconstructies kunnen bij de redding na een incident nadelig zijn. Als een botsing zwaarder is dan de energie die door de kreukelzones geabsorbeerd wordt, zal de kooiconstructie namelijk vervormen. Een gevolg is dat de portieren klemmen. Bij een frontale botsing kunnen de verstevigingsbalken in de deuren naar de B-stijl worden gedrukt. Dit geldt ook voor nieuwere carrosserie- en chassismaterialen. Deze zijn minder dik en zwaar, maar harder dan de traditionele materialen. Er is hydraulisch redgereedschap nodig om toegang te verschaffen tot het voertuig. De kans bestaat dat de redding hierdoor langer duurt.

3.5 Gelaagd/gelamineerd en doorbraakwerend glas

De meeste personenvoertuigen zijn voor en achter voorzien van gelaagde (gelamineerde) beglazing. Gelaagde beglazing bestaat uit meerdere op elkaar gelijmde glazen (ruiten). De zwarte rand bij gelamineerde beglazing is een filter dat voorkomt dat de lijm- of kitlaag door zonlicht wordt aangetast, als de beglazing aan de carrosserie gelijmd is. Gelaagde beglazing is te herkennen aan zowel deze zwarte rand als aan twee diagonale streepjes bij het merkteken van het glas. Een aantal middenklasse personenvoertuigen heeft tegenwoordig niet alleen gelaagde achter- en voorruit, maar ook gelaagde zijruit.



Afbeelding 3.9 Herkenningsteken gelaagde beglazing (te herkennen aan de twee diagonale streepjes), bij niet-gelaagde beglazing zijn deze streepjes niet aanwezig

Een ontwikkeling in de auto-industrie is het gebruik van doorbraakwerend glas (bij extra beveiligde voertuigen). Deze doorbraakwerende beglazing moet qua sterkte geplaatst worden tussen gelamineerd glas en kogelwerend glas. Doorbraakwerend glas is zeer gewelddbestendig. Het beschermt het voertuig beter tegen diefstal en maakt het moeilijker om met gebruik van geweld in de passagiersruimte te komen. De weerstand van dit glas is bijzonder hoog. Uit testonderzoek is gebleken dat de ruit pas breekt na drie á vier slagen met bijvoorbeeld een stootijzer of de punt van de glassmaster. Tijdens deze handelingen blijft de binnenzijde van de ruit nagenoeg splintervrij. Hierdoor lopen de bestuurder en passagiers minder kans op verwondingen door glas: dit geldt ook bij een ongeval. Doorbraakwerend glas kan worden herkend aan het standaardlogo dat wordt meegelamineerd naast het standaard productielogo, dat op elke goedgekeurde autoruit aanwezig is.



Afbeelding 3.10 Standaardlogo doorbraakwerend glas

3.5.1 Werkmethode gelaagd/gelamineerd en doorbraakwerend glas

Verwijderen van gelaagd/gelamineerd glas

Gelaagde/gelamineerde ruiten kunnen moeilijker worden verwijderd, omdat de glaslagen zijn verlijmd. Hierdoor zijn deze ruiten met een automatische centerpons niet te verpulveren. Het omlaag draaien van het raam is dan een alternatief. Men laat bij voorkeur de voorruit staan, om verdere afkoeling van het slachtoffer te voorkomen. Verschillende fabrikanten ontwikkelen hulpmiddelen voor het verwijderen van gelaagde autoruiten. Voorbeelden daarvan zijn mechanische glasverpulveraars en speciale slijpmachines.

Gelaagde ruiten kunnen op één van de volgende manieren worden verwijderd.

- > De gelaagde ruit uitzagen met behulp van een glaszaag (bijvoorbeeld glassmaster). Een nadeel van de glassmaster is dat er tijdens het zagen erg veel glassplinters rondvliegen. Daarom moet door de hulpverlener ademlucht of een stofmasker (minimaal klasse P3) worden gedragen. Zo mogelijk wordt ook het slachtoffer voorzien van een P3-stofmasker.
- > De gelaagde ruit doorzagen met behulp van een zaagkabel. Hierbij wordt een kabel door de ruit gestoken en aan de binnen- en buitenkant voorzien van een handvat. De ruit kan vervolgens door twee hulpverleners worden uitgezaagd. Deze methode neemt echter veel tijd in beslag en is niet in alle gevallen bruikbaar.
- > De ruit uitsnijden met behulp van een haaks mesje met handgreep (te verkrijgen bij de leveranciers van autogereedschappen). Met een waterpomptang/nijptang wordt eerst de afdekstrip verwijderd. Hierdoor wordt de rand van het glas zichtbaar. Het haakse mesje kan nu aan de buitenkant van de ruit worden ingestoken. De kitlaag wordt doorgesneden en de ruit kan worden uitgenomen. Deze methode wordt echter niet veel meer toegepast en vereist de nodige vaardigheden.
- > Ten slotte kan een gelaagde ruit verwijderd worden met behulp van een schaar en spreider. Eerst wordt de dakstijl inclusief de ruit in één keer doorgeknipt, zo dicht mogelijk bij het dak. Daarna wordt de spreider tussen de ruit en het dak gedrukt. Hierna kan met behulp van de spreider de ruit naar voren toe uitgedrukt worden. Ter bescherming van de luchtwegen moet een stofmasker (minimaal klasse P3) worden gedragen.

Verwijderen van doorbraakwerend glas

Doorbraakwerend glas vertraagt de hulpverlening; er zal meer moeite gedaan moeten worden om het glas te verwijderen. Voor- en achterruiten van doorbraakwerend glas kunnen uit de sponning worden geperst. Bij aanwezigheid van doorbraakwerend glas moet echter de vraag gesteld worden of het echt noodzakelijk is om de ruit te verwijderen. Ook hier geldt: men laat bij voorkeur de voorruit staan, om verdere afkoeling van het slachtoffer te voorkomen. Daarnaast is door de samenstelling van doorbraakwerend glas het zo goed als zeker uitgesloten dat er glassplinters in het interieur van het voertuig komen.

Glasmanagement in de vorm van afplakken of afdekken is overbodig. Een deur kan met een spreider worden opengeperst zonder gevaar van 'in het rond springend glas'. Doordat het glas is gelamineerd, kan de buitenzijde van de ruit in duizend stukjes kapot breken

(buitenzijde is gehard veiligheidsglas), maar deze stukjes vormen echter nog één geheel met het speciale laminaat en zullen hierdoor niet wegspringen. Aan de binnenzijde van de ruit blijft het doorbraakwerend laminaat nog volledig intact.

De gebruikelijke persoonlijke veiligheidsmiddelen bieden voor de hulpverlener bij werkzaamheden met doorbraakwerend glas voldoende bescherming.

3.6 Veiligheidsvoorzieningen in bussen en touringcars

In bussen en touringcars zijn twee soorten veiligheidsvoorzieningen aanwezig, namelijk voorzieningen met betrekking tot de aandrijving en voorzieningen die gericht zijn op de bescherming van de inzittenden. In deze paragraaf worden deze laatste voorzieningen besproken.

Net als personenvoertuigen en vrachtwagens hebben ook bussen en touringcars steeds meer voorzieningen om de veiligheid van inzittenden te vergroten. Bij ongevallen met bussen kunnen veel gewonden vallen, mede vanwege de slappe bovenbouw van bussen. Touringcars die gebouwd zijn vanaf het jaar 1999 moeten wettelijk verplicht voorzien zijn van een tweepuntsgordel per zitplaats. Ook airbags komen in bussen en touringcars voor. Daarnaast beschikken bussen en touringcars over nooduitgangen. Er zijn drie soorten nooduitgangen.

- > Nooddeuren. De plaats van nooddeuren kan verschillen, dit is namelijk niet wettelijk vastgelegd. Ze worden uitsluitend gebruikt in noodgevallen. Nooddeuren kunnen zowel van binnen als van buiten geopend worden met een bedieningshendel. Bij deze bedieningshendel is het opschrift 'Bij nood deur openen' aangebracht. Het nadeel van een nooddeur is, dat deze vaak een hoge afstap heeft. Hierdoor kunnen valpartijen ontstaan met als gevolg (extra) slachtoffers.
- > Nooddakluiken. Dit zijn nooduitgangen in het dak van de bus. Er zijn twee uitvoeringen: een schuifluik en een uitwerpluik. Beide soorten nooddakluiken kunnen zowel van binnen als van buiten worden geopend. Dit gebeurt door het luik evenwijdig aan het dak te verschuiven (schuifluik) of door het luik naar buiten te werpen (uitwerpluik). Beide nooddakluiken hebben een grootte van minstens 48 centimeter bij 48 centimeter. Hierdoor is het mogelijk om een slachtoffer op een schepbrancard via het luik te transporteren.
- > Noodramen. Noodramen in moderne touringcars en lijnbussen bestaan vaak uit gemakkelijk breekbaar gehard (dubbel) glas. Er is in de nabijheid een hamer aangebracht voor de passagiers om het noodraam in te slaan. Bij gehard dubbel glas moeten beide ruiten ingeslagen worden.

Bij een repressieve inzet met veel slachtoffers, kunnen de (nood)uitgangen gebruikt worden om een weg in en een andere weg uit te creëren. Dit bevordert de snelheid van afvoer van de slachtoffers.

3.7 Veiligheidsvoorzieningen in en aan vrachtwagens

Net als personenvoertuigen hebben ook (moderne) vrachtwagens veiligheidsvoorzieningen. De cabines van vrachtwagens zijn voorzien van een relatief zware kooiconstructie. Daarnaast zijn vrachtwagencabines voorzien van meerdere versterkingspunten op cruciale plaatsen ter hoogte van de knie en in de deuren. Verder zijn vrachtwagens tegenwoordig uitgerust met bijvoorbeeld airbags, gordels, gordelspanners, ABS en gelaagde voorruit. Moderne vrachtwagens zijn uitgerust met EBS (Electronic Brake System). Hierbij wordt het luchtdrukremstelsel elektronisch aangestuurd, waardoor de remmen sneller reageren en de stopafstand dus korter wordt. In het EBS zit altijd de ABS functie.

Een vrachtwagen met een gewicht van 12 ton is meestal voorzien van een snelheidsbegrenzer. Hierdoor kan de chauffeur onmogelijk harder rijden dan de ingestelde maximumsnelheid.

Een andere veiligheidsvoorziening bij vrachtwagens is de zijafscherming. Deze afscherming is bedoeld om andere verkeersdeelnemers bij eventuele ongevallen zo veel mogelijk te beschermen; de afscherming verkleint de kans dat verkeersdeelnemers onder de wielen van de vrachtwagen terechtkomen. Ook de onderzijde van vrachtwagens wordt (soms) afgeschermd door laaggeplaatste bumpers. Dit is vooral bij kopstaartbotsingen met personenvoertuigen belangrijk. Laaggeplaatste bumpers zijn ook voorzien van een kreukelzone om zo veel mogelijk energie te absorberen. Een voorbeeld hiervan is FUPS (Front Underrun Protecting System). Vrachtwagens zijn aan de achterzijde voorzien van een verplichte stootbalk, met uitzondering van sommige vrachtwagens met een speciale opbouw.

3.8 Bronnen

- > Bevelvoerder hulpverlening, *Veiligheidsvoorzieningen in voertuigen*.
- > e-Traction Europe b.v. (2011). *Informatie meldkamer. Breng waterstofbus met wagenparknummer 8197*.
- > Moditech Rescue Solutions (2011). *Technische hulpverlening bij ongevallen met alternatief aangedreven voertuigen*. Hoogwoud: Moditech.
- > Technische hulpverlening manschap a, *Verkeersongevallen met bussen*.
- > Technische hulpverlening manschap a, *Verkeersongevallen met personenauto's*.
- > Technische hulpverlening manschap a, *Verkeersongevallen met vrachtwagens*.
- > Testverslag elektrische auto 2011.
- > Toyota Prius Hybrid 2010 model. *Emergency Response Guide*.
- > Toyota Synergy Drive. *Prius en veiligheid*.

4 Incidentbestrijding bij moderne (alternatief aangedreven) voertuigen

Bij incidenten met moderne (alternatief aangedreven) voertuigen is de normale fasering van incidentbestrijding van toepassing. In deze publicatie wordt echter een nadere invulling gegeven aan de vijf fasen van incidentbestrijding. Deze invulling wordt in onderstaande tabel schematisch weergegeven.

Tabel 4.1 Vijf fasen van incidentbestrijding

	Herkennen	Verkennen	Stabiliseren	Bestrijden	Nazorg
Uitrukfase	X*				
Verkenningfase	X	X			
Inzefase			X	X	
Afbouwfase					X**
Nazorgfase					X**

*Herkennen van het voertuig kan alleen in de uitrukfase plaatsvinden als men beschikt over voertuiginformatie. Tijdens het aanrijden kunnen dan aanvullende gegevens over het voertuig in een digitaal informatiesysteem opgezocht worden.

**Afbouw en nazorg kunnen gezamenlijk plaatsvinden.

De fasen herkennen, verkennen, stabiliseren, bestrijden en nazorg komen terug in het handelingsperspectief. In dit hoofdstuk zullen deze vijf fasen apart besproken worden.

4.1 Herkennen

Er zijn verschillende soorten moderne (alternatief aangedreven) voertuigen. Van de buitenkant is lang niet altijd te zien om wat voor soort voertuig het gaat. Elk aandrijfsysteem vereist weer andere procedures en maatregelen. Het is daarom van het grootste belang om zo snel mogelijk te weten te komen om welk aandrijfsysteem en welke brandstofsoort het gaat. Deze kennis reduceert namelijk direct het aantal mogelijke scenario's en noodzakelijke maatregelen. Een voorbeeld van een snelle en betrouwbare manier om voertuigspecifieke informatie te verkrijgen is het Crash Recovery System (CRS).⁹ Ook de aandachtkaart *Moderne voertuigen* kan hierbij een hulpmiddel zijn (zie bijlage 1).

⁹ Dit geldt overigens alleen voor af fabriek, anders is in CRS hoogstens een tekstvermelding opgenomen (en geen tekening).

4.2 Verkennen

4.2.1 Voorzichtige benadering

Het voor de eerste keer naderen van een gecrasht of brandend voertuig moet altijd met de grootste voorzichtigheid worden uitgevoerd. Bij nadering van het voertuig moet men de volgende punten in acht nemen.

- > Bovenwinds benaderen, houd een veilige afstand aan van 50 meter en neem een explosiegevaarmeter mee.
- > Leg een geschikt blusmiddel klaar.
- > Gebruik adembescherming met volgelaatsmasker.
- > Draag geschikte beschermende kleding: volledige en gesloten bluskleding, helm, blushandschoenen.

Hybride, elektrische en brandstofcelvoertuigen kunnen in de bedrijfsstand staan, zelfs wanneer geen motorgeluid te horen is.

Bij nadering van een voertuig aangedreven door brandbare gassen, moeten de volgende punten in acht worden genomen.

- > Gebruik geschikte meetapparatuur, minimaal: explosiegevaarmeter met zuurstofsensor (denk aan responstijd), warmtebeeldcamera (zichtbaar maken koude en gaswolk), IR temperatuurmeter (bij AGS) en CO-meter bij waterstof.
- > Controleer het gebied rond de afblaasleiding met een warmtebeeldcamera. Gassen als waterstof en LNG kunnen branden zonder rookontwikkeling in de open lucht, de vlam is bijna onzichtbaar bij daglicht.¹⁰ Er is dus brand-/explosiegevaar rond de afblaasopening. De locatie van de afblaasopening wordt met een rode pijl in het CRS (zie paragraaf 4.2.2) aangegeven.
- > Let op signalen die erop kunnen duiden dat de thermische beveiliging en/of de overdrukbeveiliging zijn geactiveerd (gesis, geratel, nevelvorming).
- > Ventileer de omgeving! Let op: een overdrukventilator kan een ontstekingsbron zijn.
- > Vermijd contact met de vloeistof-/gaswolk en koude installatieonderdelen.
- > Bij cryogene gassen: voorkom bevrozing van (ademplucht)apparatuur en draag koude-isolerende handschoenen als direct, kortstondig contact met koude nodig is. Vermijd dit zo mogelijk.

4.2.2 Identificatie type aandrijving

Het type aandrijving kan op diverse manieren geïdentificeerd worden, namelijk via het CRS, via het bevragen van de bestuurder en het bestuderen van het kentekenbewijs, het controleren van het voertuig en tot slot indien aanwezig via Euro-codicil.

Crash Recovery System

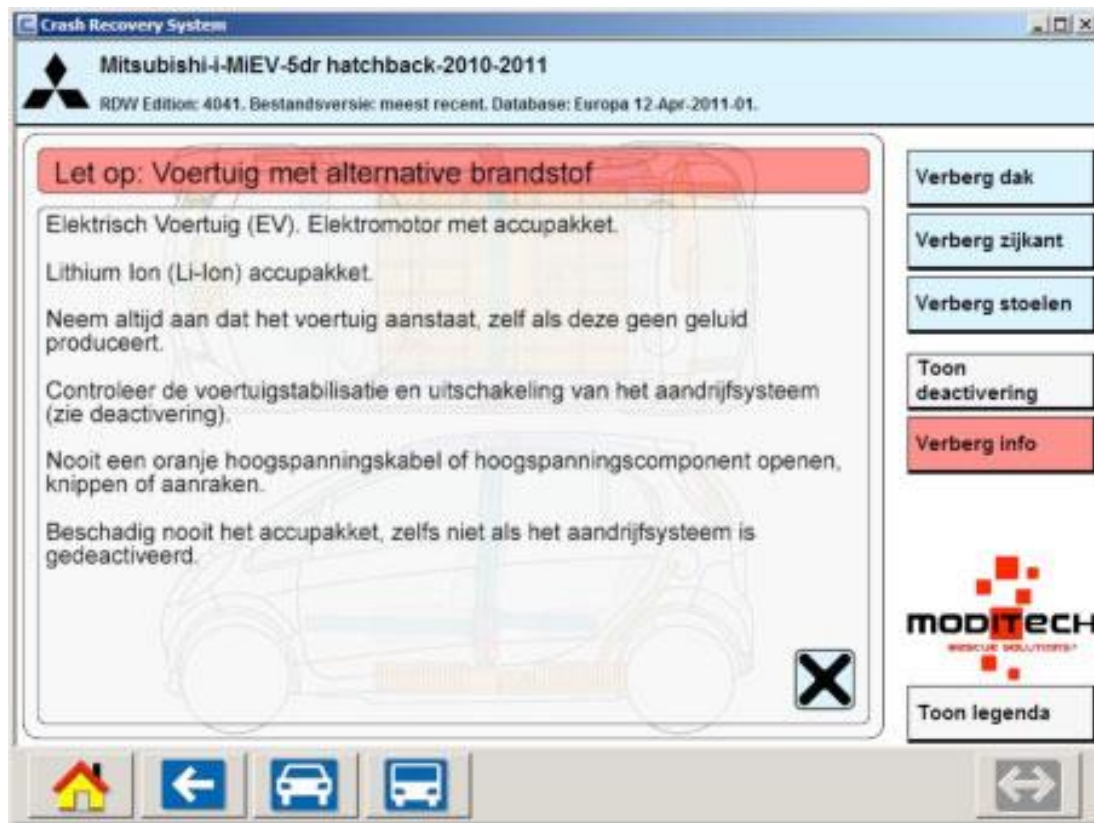
Vanwege de toenemende hoeveelheid aan nieuwe veiligheidssystemen en voertuigmodellen wordt in steeds meer regio's gebruikgemaakt van het Crash Recovery System (CRS). Het CRS is speciaal ontwikkeld voor hulpverleners en is de eenvoudigste manier om informatie te verkrijgen over het type voertuig. Het CRS is gekoppeld aan het kentekenregister van de Rijksdienst voor het Wegverkeer (RDW). Bij het intikken van een kenteken komt meteen een flinke hoeveelheid informatie beschikbaar. Hierbij kan gedacht worden aan informatie over:

- > accu('s), inclusief backup
- > airbags, inclusief airbagregelunits en gaspatronen voor hoofdairbags
- > alternatieve aandrijvingen, zoals brandstofcellen, hoog voltage-accupakket, brandstoftank en de bijhorende deactivatieprocedures

¹⁰ Als er toch vlammen zichtbaar zijn, komt dit doordat ander materiaal mee brandt.

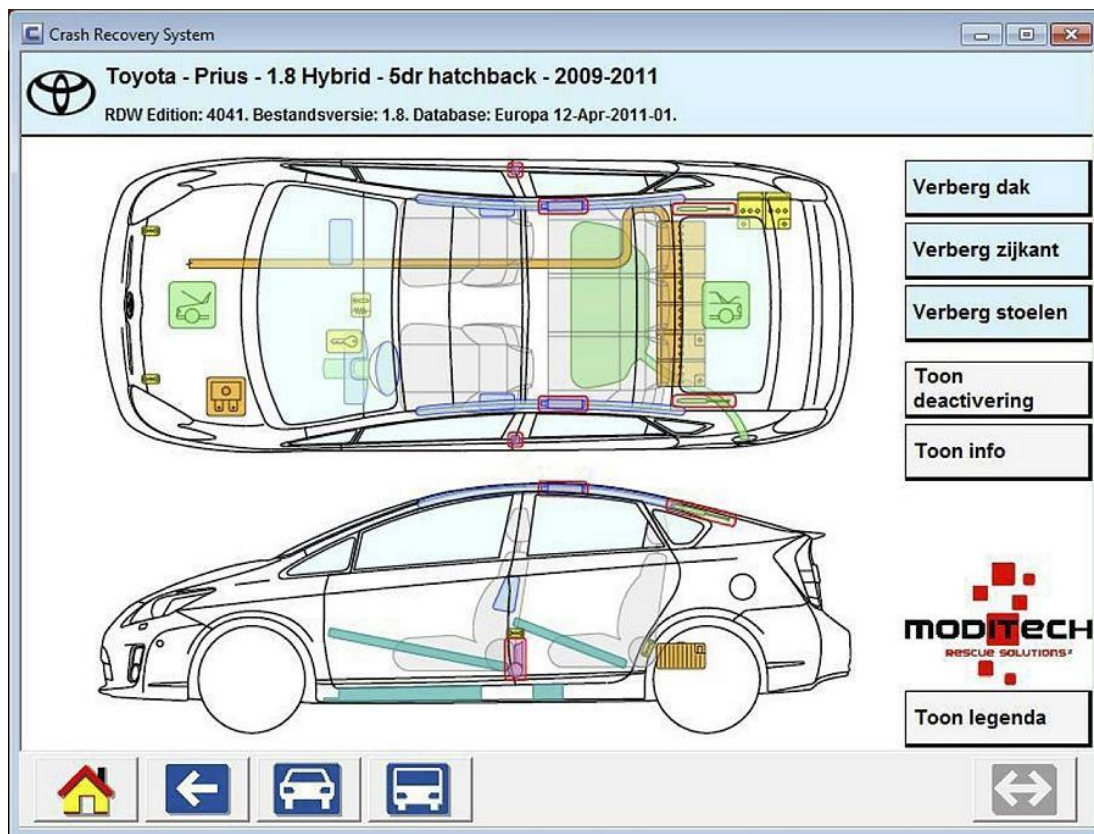
- > brandstof (soort), inclusief brandstoftank
- > crashsensoren
- > gordelspanners
- > koprolbeveiligingssysteem
- > speciale vrachtwagencomponenten, zoals bijvoorbeeld de vering van het chassis of de stoelverstelling
- > verstevigingen in de carrosserie.

Het eerste informatiescherm van het CRS geeft bij hybride, elektrische en brandstofcelvoertuigen een overzicht van de noodzakelijke veiligheidsmaatregelen.



Afbeelding 4.2 Eerste informatiescherm van het Crash Recovery System met belangrijke instructies over het betreffende voertuig

Naast informatie over de veiligheidssystemen in voertuigen, staat in het systeem ook praktische informatie over bijvoorbeeld stuurkolomverstelling en het ontgrendelen en openen van de motorkap of achterklep, afhankelijk van waar zich de accu bevindt. Het CRS-datablad is een interactieve afbeelding. In de afbeelding kunnen de carrosseriedelen dak, zijkant en stoelen weergegeven of verborgen worden. Van iedere gewenste component kan direct informatie worden opgevraagd door deze simpelweg aan te klikken.



Afbeelding 4.3 Weergave van Toyota Prius in het Crash Recovery System

Voertuigen waarbij de alternatieve aandrijving achteraf is ingebouwd, kunnen ook in het CRS opgevraagd worden. De alternatieve aandrijving wordt aangegeven, maar in de meeste gevallen niet de bijbehorende informatie voor de alternatieve aandrijving.¹¹

Bevragen bestuurder en bestuderen kentekenbewijs

Naast het gebruik van het CRS kunt u de bestuurder bevragen over (specifieke) kenmerken van het voertuigen en/of het kentekenbewijs bestuderen. De brandstofcode is namelijk terug te vinden op het kentekenbewijs.

¹¹ Als deze informatie niet is aangemeld bij de RDW, dan is het ook niet terug te vinden in het CRS.

Tabel 4.4 Brandstofcode in kentekenbewijs, inclusief betekenis

Brandstofcode	Brandstof
A	Alcohol
B	Benzine
C	Cryogeen (gas onder hoge druk en bij lage temperatuur, LNG)
D	Dieselolie
E	Elektriciteit
G, G2 of G3	LPG, eventueel gecombineerd met benzine; G2 betekent tweede-generatie-LPG-systeem en G3 derde-generatie-autogasinstallaties
W	Waterstof
E/B	Hybride gecombineerd met benzine
B/G	Benzine gecombineerd met LPG
G/B	LPG gecombineerd met benzine

Controleren van het voertuig

Daarnaast kan het voertuig gecontroleerd worden op de volgende aspecten.

- > Uttredende vloeistoffen:
 - > geur van aardgas of LPG (of eigenlijk de toegevoegde geurstof)
 - > gasnevel bij of onder het voertuig
 - > knetterende geluiden
 - > afblaasgeluid (sissen)
 - > lekkende vloeistoffen.

- > Inspectie van de onderkant:
 - > gekleurde kabels (oranje)¹²
 - > waarschuwingsstickers
 - > gastanks (LPG-tanks onderscheiden zich van aardgastanks door de aan de buitenkant zichtbare lasnaden)
 - > (het ontbreken van een) uitlaat.



Afbeelding 4.5 Blik onder het voertuig: hoogvoltagekabel (links) en gastank (rechts)

¹² Oranje bekabeling is pas sinds 2012 verplicht geworden.

- > Tankdopinspectie:
 - > vorm van de vuldop
 - > aantal vuldoppen
 - > informatie aan de binnenzijde van het klepje.

Er kunnen meerdere tankdoppen aanwezig zijn op verschillende plaatsen op het voertuig, onder andere ook aan de voorzijde of in de buurt van het spatbord.



Afbeelding 4.6 Verschillende tankdoppen: bivalent benzine/aardgas (links), elektrisch voertuig, laadstekker in spatbord (midden) en elektrisch voertuig met twee laadstekkers aan de voorzijde (rechts)

- > Inspectie van de carrosserie:
 - > mogelijk extra vulopeningen
 - > ongebruikelijke openingen
 - > typeplaatje (Hybrid, IMA, CNG, NGT, BiFuel¹³)
 - > reclamestickers.

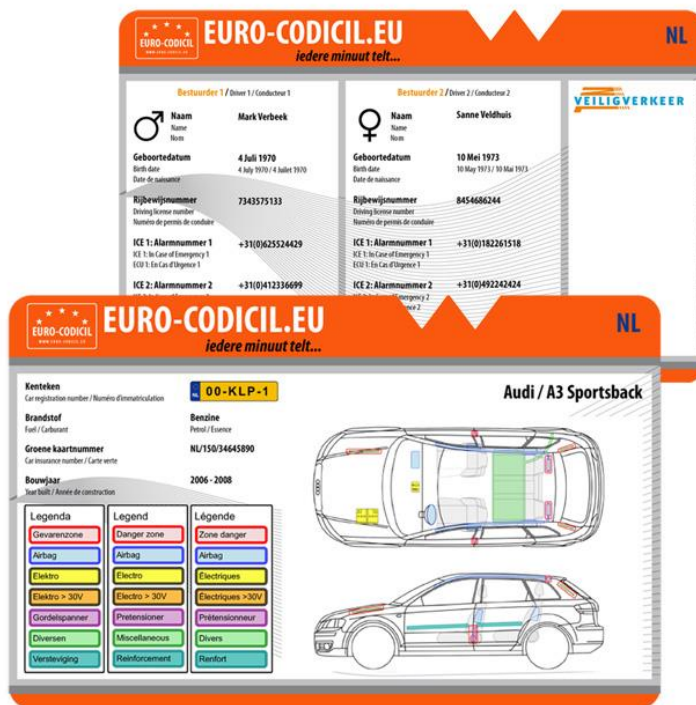


Afbeelding 4.7 Voorbeelden van extra tankdoppen en overige ongebruikelijke openingen

Euro-codicil

Tot slot kan het Euro-codicil geraadpleegd worden. Het Euro-codicil bestaat uit een personenpas en een voertuigkaart. Op de personenpas staan roepnaam, achternaam, geslacht en geboortedatum, evenals relevante medische informatie van de bestuurder. De voertuigkaart is een kaart waarop technische voertuiginformatie staat. Het gaat hierbij om informatie over de locatie van onder andere airbags, accu(pakketten), carrosserie versterkingen, brandstoftank en elektronica. De personenpas wordt in de portemonnee bewaard en de voertuigkaart achter de zonneklep aan de bestuurderszijde.

¹³ Twee brandstoffen, meestal benzine en een gas (LPG of aardgas).



Afbeelding 4.8 Euro-codicil

Bij de voertuigkaart hoort een markeringssticker, die de bestuurder achter de voorruit van het voertuig plakt. Door de markeringssticker kunnen de hulpdiensten zien dat de bestuurder in het bezit is van een Euro-codicil.



Afbeelding 4.9 Markeringssticker

4.3 Stabiliseren

Het stabiliseren van voertuigen vindt voor alle typen op een vergelijkbare manier plaats. Dat betekent dat het aandrijfsysteem in principe geen invloed heeft op het stabiliseren. Let dus vooral op je eigen veiligheid en houd rekening met de gevaren van de mogelijk aanwezige veiligheidsvoorzieningen zoals beschreven in hoofdstuk 3. Een uitzondering is het spanningsloos maken van voertuigen met een elektromotor.

Wanneer de airbags geactiveerd zijn, is dit een belangrijke indicatie dat de airbag regeleenheid het ongeval gedetecteerd heeft en dat de veiligheidssystemen zijn geactiveerd. Het is echter in alle gevallen aan te bevelen om de vijf stappen voor het stabiliseren en spanningsloos maken van voertuigen te doorlopen. Dit is in ieder geval noodzakelijk wanneer de airbag regeleenheid, om wat voor reden dan ook, het ongeval niet heeft

gedetecteerd. Plaats in dat geval de airbaghoezen! De vijf stappen voor het stabiliseren en spanningsloos maken van voertuigen met een elektromotor zijn:

- > voertuig in de parkeerstand zetten
- > handrem activeren
- > motor uitzetten
- > contactsleutel uit het contact halen en op minimaal vijf meter afstand van het voertuig opbergen
- > wielen blokkeren.¹⁴

4.3.1 Ready-indicator – start/stop – keyless – smartkey

De bedrijfsstand van elektrische en hybride voertuigen kan in de regel afgelezen worden aan de hand van de zogenaamde Ready-indicator. Wanneer de Ready-indicator oplicht, is het voertuig gereed voor bedrijf. De Ready-indicator bevindt zich in de meeste gevallen bij de snelheidsmeter.

Om het contact uit te zetten moet men de sleutel in de UIT stand zetten (en op minimaal vijf meter afstand van het voertuig opbergen). Om een geactiveerd aandrijfsysteem (Ready-indicator licht op) te deactiveren, moet men eenmaal drukken op de start/stop-knop.

In veel gevallen is geen conventionele contactsleutel aanwezig, maar een zogenaamde smart key of een keyless systeem. In dat geval wordt het voertuig met behulp van de start/stop-knop gestart en uitgezet. De start/stop-knop bevindt zich op het dashboard of in de buurt van de versnellingspook. Om het voertuig te starten is het meestal voldoende als de smart key zich in het interieur van het voertuig bevindt. Om in een dergelijke situatie opnieuw activeren van het aandrijfsysteem te voorkomen, moet de smartkey ook in deze situatie minstens vijf meter buiten het interieur van het voertuig gebracht worden.

Wanneer de contactsleutel of de start/stop-knop niet toegankelijk is en het aandrijfsysteem nog geactiveerd is (Ready-indicator verlicht), dan moeten bij hybride en elektrische voertuigen extra (modelspecifieke) deactiveringsprocedures uit worden gevoerd. Stap voor stap aanwijzingen voor veilige deactivering van het aandrijfssysteem vindt men in het CRS.

Ingeschakelde alarmlichten zijn meestal een aanwijzing dat het voertuig *niet* spanningsloos is. Bij sommige voertuigen worden de alarmlichten bij een ongeval automatisch ingeschakeld.

4.3.2 Niet deactiveren van de aandrijving

Verwijder de accukabels nooit van de 12 V-accu. Bij ingeschakelde aandrijving (contact aan) leidt het losnemen van de accukabels van de 12 V-accu namelijk onder bepaalde omstandigheden niet tot deactivering van de aandrijving. Dit hangt samen met het feit dat de spanningsomvormer (DC/AC-omvormer) uit het hoog voltagecircuit voorziet in 12 V-spanning voor het boordnet. Na losnemen van de 12 V-accu wordt de stroomvoorziening van het hoog voltagecircuit overgenomen en blijft het aandrijfsysteem dus toch geactiveerd.

4.3.3 Brandbaar gas

Bij voertuigen aangedreven door brandbaar gas is het belangrijk om het gebied rond de afblaasleiding vrij te houden. De locatie van de afblaasopening wordt met een rode pijl in het CRS aangegeven. Let op mogelijk brand-/explosiegevaar!

¹⁴ Hybride, elektrische en brandstofcelvoertuigen kunnen in de bedrijfsstand staan, zelfs wanneer geen motorgeluid waarneembaar is. Alle voertuigen moeten daarom direct tegen wegrollen beveiligd worden.

4.3.4 Bussen en vrachtwagens

Voor grote voertuigen als bussen en vrachtwagens gelden een aantal specifieke aandachtspunten.

- > Er is mogelijk een hoofdschakelaar aanwezig: schakel deze uit.
- > De opbouw van een bus is vaak een lichte constructie. Deze constructie-onderdelen zijn vaak ongeschikt als aangrijpingspunt voor stabiliseren.
- > Bij vrachtwagens zijn cabine en chassis onafhankelijk van elkaar geveerd. Hier moet specifiek aandacht besteed worden bij het stabiliseren.
- > Een manier om grote voertuigen te stabiliseren die dreigen af te glijden, kan de inzet van takelwagens zijn.
- > Grote voertuigen hebben door hun hoge massa vaak al een stabiele positie.
- > Let op! Mogelijk grote hoeveelheid brandstof aanwezig (tot 1500 liter).

4.4 Bestrijden

In deze paragraaf wordt algemene informatie gegeven over de bestrijding van incidenten met moderne voertuigen.

4.4.1 Gevaren tijdens de inzet

De volgende componenten mogen nooit beschadigd worden (ook niet na deactivering van het aandrijfsysteem):

- > hoog voltage-accupakketten
- > hoog voltagekabels
- > brandstoftanks
- > gastanks
- > gasleidingen
- > gordelspanners of andere hydraulische- of drukcomponenten.

Het CRS levert informatie over alle inbouwlocaties van relevante componenten (zie ook paragraaf 4.2.2).



Afbeelding 4.10 Effect op de bek van een schaar en een reciproczaag bij het doorknippen/zagen van oranje high power kabels

Om veilig aan het voertuig te kunnen werken, moet het aandrijfsysteem gedeactiveerd zijn. Voor werkzaamheden aan het high power systeem van een hybride auto moeten isolerende handschoenen worden gedragen (1000-volthandschoenen). De brandweer voert deze werkzaamheden niet zelf uit! Het is daarom voldoende om tijdens een inzet droge persoonlijke beschermingsmiddelen te dragen en alert te zijn op beschadigde accupakketten. Hoog voltage-accupakketten mogen nooit geopend worden vanwege het risico op elektrische schokken, zeker niet als deze beschadigd zijn.

Het is een optie om voorafgaand aan de daadwerkelijke bevrijdingsactie met kleurtape aan de buitenkant van de carrosserie aan te geven waar drukcilinders en overige gevaarlijke punten zitten. Dit maakt de werkwijze voor de hulpverlener buiten het voertuig gemakkelijker en veiliger.

4.4.2 Maatregelen bij incidenten met bussen en vrachtwagens

De omvang van de voertuigen vraagt om een aantal specifieke maatregelen die getroffen moeten worden door hulpverleners bij een incident met een bus of vrachtwagen.

- > Het uitschakelen van de hoofdschakelaar.
- > Aandacht voor grote hoeveelheden (mogelijk vrijkomende) brandstof (tot 1500 liter): ontsteking voorkomen, eventuele lekkage indammen en rioolputten afdichten.
- > Let op! Omdat de brand vaak bij de motor ontstaat, hebben sommige bussen een sprinklersysteem in het motorcompartiment. Andere hebben hier soms een aansluiting van een droge blusleiding.

Maatregelen bij bus te water.

- > Als een bus met passagiers volledig onder water is geraakt, kan overwogen worden om de redding via de dakluiken van de bus te laten uitvoeren. Daarbij kan de bus met een kraan gedeeltelijk boven water gehaald worden.
- > Mogelijk grootschalige inzet (voor duikers) gelet op het grote aantal slachtoffers.

4.4.3 Scenario's en maatregelen bij voertuigen aangedreven door brandbaar gas

Wanneer bij een incident een voertuig aangedreven door brandbaar gas is betrokken, is het belangrijk om te controleren of het gas lekt, om welke gassoort het gaat en op welke wijze de gassoort is opgeslagen. Er zijn drie manieren om gassen op te kunnen slaan of te vervoeren, namelijk:

- > onder druk samengeperst
- > onder druk vloeibaar gemaakt
- > door sterke afkoeling vloeibaar gemaakt.

De laatste opslagvorm wordt ook wel cryogeen¹⁵ genoemd, het gaat dan om cryogene gassen (bij transport zijn deze te herkennen aan de GEVI die begint met 22). Tabel 4.11 geeft een overzicht van de mogelijkheden voor de brandbare gassen die toegepast worden als brandstof voor het aandrijven van voertuigen in combinatie met het opslagsysteem. Een verdere toelichting over de verschillende gassen is per brandstofsoort opgenomen in de hoofdstukken 6 tot en met 8.

¹⁵ Cryogeen betekent letterlijk koudmakend.

Tabel 4.11 Overzicht van verschijningsvormen van brandbare gassen in voertuigen

Verschijningsvorm	LPG	Aardgas		Waterstof	
		CNG	LNG	WDO, GH ₂	VWO, LH ₂
Samengeperst gas		< 200 bar		350 en 700 bar stalen tank < 6 kg (≈ 86 ltr)	
Onder druk vloeibaar gemaakt	< 8 bar stalen tank < 230 liter				
Door koude vloeibaar gemaakt = cryogeen			- 163 °C en < 24 bar		- 253 °C

Toelichting afkortingen: LPG = liquefied petroleum gas, CNG = compressed natural gas, LNG = liquefied natural gas, WDO = waterstof druk opslag, GH₂ = gaseous hydrogen, VWO = vloeibare waterstof opslag, LH₂ = liquid hydrogen

Merk op dat de druk in een LPG-tank relatief laag is in vergelijking met de andere gassen. Bovendien is de temperatuur 'normaal'. Dit betekent dat het toepassen van 'moderne brandstoffen' andere en ook grotere gevaren met zich meebrengt.

In de publicatie *Brandweeroptreden bij incidenten met LNG* (Brandweeracademie, 2015) is een uitgebreide inleiding opgenomen over het vrijkomen van gassen en mogelijke scenario's. Oorzaken die kunnen leiden tot het vrijkomen van een brandbaar gas zijn:

- > opwarming door externe oorzaken, zoals brand, hittestraling van de zon, voedingsstroom
- > externe impact
- > corrosieve en chemisch agressieve condities
- > verlies van isolatie met als gevolg opwarming.

Voor brandbare gassen moet rekening gehouden worden met de volgende scenario's.

- > Een lekkage van brandbaar gas (een puf of continue lekkage), met als gevolg een brandbare gaswolk, geen ontsteking.
- > Een (horizontale) uitstroom (straal) van brandbaar gas, gevolgd door ontsteking: fakkelbrand.
- > Ontsteking van de brandbare gaswolk, zonder drukopbouw: wolkbrand of UVCE (Unconfined Vapour Cloud Explosion).
- > Ontsteking van de brandbare gaswolk, na drukopbouw: gaswolkexplosie of VCE (Vapour Cloud Explosion).
- > Bezwijken van de drukhouder (BLEVE, Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion), meestal gevolgd door ontsteking: vuurbal.
Elke gashouder kan BLEVE'en, ook een brandstoftank!
- > Koudgekookte plas.

De gevaren van het gebruik van brandbare gassen als brandstof in voertuigen zijn kleiner dan bij productie of transport. Het kleinere risico is direct verbonden aan de kleinere hoeveelheden bij het gebruik. Waar bij industriële processen vaak sprake is van grote gevolgen bij een lekkage of brand, zullen de consequenties bij particulier gebruik niet zo groot zijn. De aard van de gevaren is echter wel hetzelfde.

Tabel 4.12 Overzicht gevaren en handelingsperspectief per mogelijk scenario

Scenario	Gevaar	Handelingsperspectief
Algemeen	Bij vrijkomen: snel uitzetten van het gas dus hoge expansiefactor, kost energie, gas zelf en omgeving koelt sterk af, gas blijft laag hangen, verstikkend	<ul style="list-style-type: none"> > Bovenwindse opstelplaats > Geschikt blusmiddel gereedmaken > Bovenwinds benaderen en neem explosiegevaarmeter mee > Druk (indien aanwezig) noodknop in > Schakel het contact af of sluit afsluitkleppen voor de gastoevoer handmatig (zie CRS) > Bepaal (on)veilig gebied en blijf meten (vooral laag maar ook hoog, met explosiegevaarmeter en warmtebeeldcamera en bij waterstof met CO-meter) > Ontruim (zo nodig) onveilig gebied en zet gebied af voor onbeschermdde hulpverleners en omstanders; bij dreigende BLEVE tot 350 meter > Bepaal de kans op escalatie (kans op versnelde drukopbouw, activering overdrukbeveiliging, aard beschadiging voertuig, tank, leiding) > Houd het gebied rond afblaasleidingen vrij en spuit geen water op veiligheidskleppen of overdrukventielen: voorkom dichtvriezen > Druk in brandstoftank kan verlaagd worden door te gaan rijden: let op of starten veilig kan.
Lekkage brandbaar gas, gaswolk, geen ontsteking	Explosiegevaar	<ul style="list-style-type: none"> > Ontstekingsbronnen verwijderen. Let op: openen van deuren, achterklep en motorkap kan elektrische vonken veroorzaken. > Ventileren, zeker bij > 10%LEL > Controleer lek met warmtebeeldcamera > Lek niet dichten bij een cryogeen gas, dus ook niet dichtvriezen met natte lappen (alleen bij LPG toepassen)! > Verdun explosiegevaarlijke wolk > Voorkom binnentreding van besloten ruimten door personen, ventileer als dat veilig kan (let op met gebruik overdrukventilator, geen benzinemotor)
Fakkelbrand	Hittestraling, ontstaan secundaire branden	<ul style="list-style-type: none"> > Niet blussen, laten branden > Koelen aangestraalde gastank(s). Bij fakkelbrand: koelen in de richting van de fakkel
Wolkbrand	Hittestraling, ontstaan secundaire branden	<ul style="list-style-type: none"> > Pas op voor BLEVE als tanks worden opgewarmd door brand
Gaswolkexplosie	Hittestraling, ontstaan secundaire branden, drukeffecten	<ul style="list-style-type: none"> > Andere (secundaire) branden in de omgeving wel blussen / koelen omgeving / voorkomen escalatie > Controleer met warmtebeeldcamera de omgeving en de hittestraling (gasbranden kunnen slecht zichtbaar zijn) > Tussen 3 en 10 kW/m² onder dekking optreden brandweer in beschermende kleding mogelijk
BLEVE met vuurbal	Hittestraling, ontstaan secundaire branden, drukeffecten, fragmentatieschade	<ul style="list-style-type: none"> > Bij dreigende BLEVE: <ul style="list-style-type: none"> - ontruim omgeving tot 350 meter - koel aangestraalde tank rondom met water (10 liter/m²/min). Let op bij cryogene

		tanks/leidingen: alleen koelen als de wand en isolatie intact is
		> Na BLEVE: secundaire branden blussen, aangestraalde onderdelen koelen
Koudgekookte plas	Gevaar voor bevriezing en broos worden materialen	<ul style="list-style-type: none"> > Let op: cryogene vloeibare fase, extreem koud > Niet in contact brengen met water > Eventueel afdekken met dikke laag licht schuim als plas ingedamd is > Voorkom verspreiding van de plas, leg dammen aan > Voorkom ontstaan brand > Laat plas verdampen en meng gaswolk op met een sproeistraal water (let op, geen contact met de plas)

Indicatoren voor een gaslekage

Een gaslekage kan herkend worden aan de volgende indicatoren:

- > afblaasgeluid
- > geur van gas (eigenlijk de toegevoegde geurstof)
- > ontwikkeling van gasnevel
- > steekvlammen.

Voertuigen aangedreven door gas (zoals aardgas en LPG) kunnen over een gasalarmsysteem beschikken. In geval van een gasalarm zijn meestal de indicatoren van dit alarm aan de buitenkant herkenbaar. Aanwijzingen over de aanwezigheid van deze indicatoren zijn vermeld in het CRS. Uiteraard wordt ook geschikte meetapparatuur (explosiegevaarmeter, warmtebeeldcamera) gebruikt.

Omvang effectgebied

Inschatten tot op welke afstand effecten van een gaslek mogelijk zijn, is niet eenvoudig. Dit is namelijk afhankelijk van factoren zoals lekgrootte, druk, hoeveelheid, meteorologische omstandigheden en de aard van het beschouwde effect (zoals hittestraling, overdrukeffecten, aantal slachtoffers). Het belangrijkste effect bij incidenten met voertuigen aangedreven door brandbare gassen is hittestraling bij brand. Ook kan in geval van aanstraling van de brandstoftank mogelijk een Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion (BLEVE) optreden.¹⁶ Bij het bepalen van de minimale effectafstanden voor een BLEVE is vooral de hoeveelheid brandbaar gas van belang. Deze effectafstanden kunnen ingeschat worden met rekenmethoden. De resultaten hiervan zijn voor waterstof en LPG te vinden in bijlage 2. Deze kunnen tijdens incidentbestrijding toegepast worden om de eigen veiligheid en die van anderen zeker te stellen.

Ventileren

Ventileren kan in twee fasen plaatsvinden. Als het voertuig in een gesloten ruimte staat, deze ruimte allereerst ventileren. Vervolgens kan het interieur van het voertuig geventileerd worden door deuren, ruiten, motorklep en achterklep te openen. Het kan nodig zijn om ruiten van afstand te breken. Let op: het openen van deuren en dergelijke kan vonkvorming geven, bijvoorbeeld door het aanspringen van het portier- of kofferbaklampje. Zo mogelijk voor extra ventilatie zorgen, gas met ventilatoren (let op: ventilator kan een ontstekingsbron zijn)

¹⁶ Overigens is een BLEVE van een brandstoftank met cryogene gassen, zoals LNG, minder waarschijnlijk door de goede isolatie van de tank, mits deze nog intact is.

verdunnen, zodat het mengsel met lucht niet explosiegevaarlijk is. Zorg zo snel mogelijk voor ventilatie als er nog een slachtoffer in het voertuig zit.

Parkeergarages

In parkeergarages zijn detectoren aanwezig om bijvoorbeeld koolmonoxide te detecteren. Als deze sensoren worden aangesproken, gaat het ontruimingsalarm af, wordt de ventilatie in de garage verhoogd en wordt de brandweer gealarmeerd. Er zijn in parkeergarages echter geen detectoren aanwezig voor brandbare gassen. Wees er dus van bewust, dat als er in een parkeergarage sprake is van lekkage bij een voertuig met als brandstof aardgas, LPG of waterstof, dit niet wordt gedetecteerd.

4.4.4 Scenario's en maatregelen bij voertuigen met hoog voltage-accupakket

Bij voertuigen aangedreven door een hoog voltage-accupakket, moet extra aandacht besteed worden aan het hoog voltagecircuit en de daaruit voortvloeiende risico's op het gebied van elektriciteit. De kans dat hulpverleners in contact komen met de hoge stroomsterkte, is echter verwaarloosbaar klein. Daarom wordt het scenario elektrocutie niet als geloofwaardig scenario beschreven in deze paragraaf. Uiteraard is die kans bij zichtbaar beschadigde accupakketten of andere onderdelen uit het hoog voltagecircuit wel hoger. Daarnaast moet men zich ervan bewust zijn dat elektrische, hybride en brandstofcelvoertuigen altijd in de bedrijfsstand kunnen staan, zelfs wanneer er geen motorgeluid te horen is.

Ongevallen tijdens autorijden

Na een ongeval moet het aandrijfsysteem altijd gedeactiveerd worden, zodat de gevaren door het hoog voltagecircuit gereduceerd worden. Het is in alle gevallen aan te bevelen om de vijf stappen voor het stabiliseren en spanningsloos maken van voertuigen te doorlopen (zie paragraaf 4.3). Wanneer het contact van het voertuig niet toegankelijk is en het aandrijfsysteem nog actief (te controleren via de Ready-indicator, zie paragraaf 4.3), dan zijn er diverse voertuig specifieke maatregelen om het aandrijfsysteem te deactiveren (zie ook CRS). Maak de 12 V-accu niet los. Het losmaken van de accu zal de motor namelijk niet altijd stoppen, omdat de dynamo blijft werken en het systeem onder spanning houdt. Zelfs na deactivering van het aandrijfsysteem kan gedurende enige tijd (tien minuten) een hoog voltage in het systeem aanwezig blijven. Het hoog voltage-accupakket zelf behoudt zijn elektrisch potentieel en mag onder geen beding beschadigd worden.

Autobranden

Brand in een elektrisch, hybride of brandstofcelvoertuig kan op de gebruikelijke wijze bestreden worden, als het voertuig zelf in brand staat. De aanwezige hoge voltages in accupakketten leveren geen belemmering voor het veilig inzetten van alle denkbare blusmiddelen. Maar als het hoog voltage-accupakket in brand staat, is er extra aandacht nodig voor het hoge voltage (tot 600 V) en de chemische reacties in het hoog voltage-accupakket.

Een hoog voltage-accupakket bestaat uit een groot aantal in serie geschakelde, oplaadbare elektrochemische cellen. Bij extreme thermische belasting kunnen de kunststof separatoren in de accu smelten, waardoor kortsluiting en aansluitend brand in de accu ontstaat. Vooral de zogenaamde Lipo-(lithium-polymeer)accupakketten, die vaak gebruikt worden in elektrisch, hybride of brandstofcelvoertuigen, zijn erg brandbaar. Ze bevatten zowel brandstof als zeer compact opgeslagen energie, er is dus alleen nog zuurstof nodig om de branddriehoek compleet te maken. Brand in zo'n accupakket kenmerkt zich door de extreme hitte en het ontbranden cel na cel. De ontwikkelde warmte zorgt ervoor dat cellen spontaan kunnen ontbranden, dit kan enorm snel gaan met explosie-achtige verschijnselen tot gevolg (ook wel runaway genoemd). Blussen met veel water is de beste optie. Afdekken met droog

zand of schuim heeft als nadeel dat een accupakket wordt geïsoleerd, de ontwikkelde warmte kan dan niet weg. Ook een flinke crash (bijvoorbeeld na een botsproef) kan leiden tot het ontbranden van het accupakket, zelfs tot drie weken na de crash.

De kans op herontsteking na het blussen van brand in een hoog voltage-accupakket is daarom groot, zelfs tot 48 uur na de brand. Stevig en blijvend koelen met voldoende water (sproeistraal) is de beste optie. Bijkomend voordeel is dat alle open of beschadigde delen door het contact met water langzaam ontladen worden. Andere, niet beschadigde delen worden door grote hoeveelheden water gekoeld, waardoor een explosie of runaway wordt voorkomen. Voor het blussen van brand in lithium-ion accupakketten is daarom veel meer water nodig dan voor het blussen van conventionele accu's. Testen hebben uitgewezen dat tot 10.000 liter water en een blustijd van een uur mogelijk zijn. Daarom is het opbouwen van de waterwinning bij een autobrand met een elektrisch, hybride of brandstofcelvoertuig opgenomen in het handelingsperspectief.

Experimenten waarbij water met toevoeging van Cold-Metal, waterglas of 3 procent F-500 onder hoge druk opgebracht wordt, laten goede resultaten zien voor het blussen van branden in lithium-ion accupakketten.

De hoog voltage-accupakketten zijn bij elektrische, hybride en brandstofcel-personenvoertuigen verwerkt in de bodemplaat. Als het accupakket in brand staat, is het lastig deze te bereiken. Er wordt momenteel wereldwijd onderzoek gedaan naar methoden om dergelijke branden te blussen. Sommige voertuigfabrikanten passen tegenwoordig een smeltplaat toe, die bij een autobrand zal doorbranden. Via deze plaat kan er water worden toegevoegd om de accupakketten te koelen. Zie voor de locatie het CRS.

Gevaarlijke stoffen

In accupakketten worden diverse gevaarlijke stoffen toegepast of deze kunnen gevormd worden bij incidenten.

Lekkage van elektrolyt

Het is mogelijk dat delen van het hoog voltage-accupakket opengebarsten zijn bij brand of na een aanrijding en vervolgens reageren met bluswater of elektrolyt lekken. Lekkage van elektrolyt is alleen mogelijk als er een kracht uitgeoefend wordt op een beschadigde cel, bijvoorbeeld als bij een zware aanrijding het pakket 'geplet' wordt. Het elektrolyt is steeds vaker in gel-vorm geabsorbeerd in de accucelplaten en lekt dan niet uit het accupakket, zelfs niet als de cel is gebarsten.

Elektrolyt kan een bijtende, alkalische (hoge pH) of zure (lage pH) vloeistof zijn maar het kan ook brandbare oplosmiddelen bevatten (bij Li-ion). Electrolyt is schadelijk voor het menselijk weefsel en het milieu. Gebruik daarom geschikte persoonlijke beschermingsmiddelen, zoals chemicaliënhandschoenen. Of nog beter: vermijd contact met (de inbouwlocatie van het) hoog voltage-accupakket. Vraag advies aan de AGS voor het neutraliseren, opruimen en afvoeren van elektrolyt.

Waterstof

Bij diverse reacties kunnen kleine hoeveelheden waterstof ontstaan. De kenmerken en gevaren van waterstof staan beschreven in hoofdstuk 8.

Halogenen

In lithium-ion-accupakketten kunnen halogenen voorkomen, zoals fluor, chloor en broom. Als deze accupakketten bij brand betrokken raken, komt het zeer giftige, bijtende en etsende fluorwaterstof (HF, GEVI 886), giftige en bijtende chloorwaterstof (HCl, GEVI 268) en/of giftige en bijtende broomwaterstof (HBr, GEVI 80) vrij. Veel lithium-ion-accupakketten

bevatten LiPF_6 dat reageert met water tot onder andere fluorwaterstof en fosforzuur (HPO_3 , GEVI 80).

Voertuig te water

Op grond van de technische opbouw van elektrische en hybride voertuigen bestaat er geen kans op elektrische schokken bij aanraken van de carrosserie. De stroom loopt immers via de kortste route van + naar -. Beide kabels van het hoog voltage-accupakket zijn geïsoleerd van de voertuigcarrosserie, er is enkel een spanningsverschil aanwezig tussen deze positieve en negatieve punten en niet tussen het voertuig en aarde.

Er is echter een uitzondering: als een elektrisch of hybride voertuig verbonden is via een stekker met een laadpunt én het voertuig raakt (gedeeltelijk) te water. In zo'n geval kan er wel spanning op het voertuig staan. Bij het benaderen van een plug-in voertuig moet (indien van toepassing) het laadsnoer dus altijd afgekoppeld worden (dan wordt ook het laadrelais ontkracht). Een alternatief is om de spanning van het laadpunt uit te schakelen.

Verder kan onder water het elektrolyt in de accu reageren met water en is er een zeer kleine kans dat knalgas (explosiegevaarlijk mengsel van waterstof en zuurstof) ontstaat. In een buitenruimte zal dit geen groot gevaar opleveren. Als het voertuig aan de oppervlakte staat, maar het accupakket gedeeltelijk onder water ligt, gebruik dan 1.000 Volt handschoenen als het noodzakelijk is om het voertuig aan te pakken. Als hulpverleners in het water staan, ook 1.000 Volt handschoenen gebruiken.

Blijvende energiedrager

Accupakketten zijn energiebronnen; ze blijven altijd energiedrager totdat ze ontmanteld zijn. Afbeelding 4.13 laat de opengewerkte accu van een elektrische bus zien, die na ontmanteling nog een spanning van 230 V aan energie draagt. Als de polen met elkaar in contact komen of er op een andere manier een circuit ontstaat (bijvoorbeeld via bedrading), kunnen vonken ontstaan.



Afbeelding 4.13 Opengewerkte accu van bus geeft spanning van 230 V

In tabel 4.14 zijn de specifieke aandachtspunten bij technische hulpverlening en bij brand samengevat.

Tabel 4.14 Specifieke aandachtspunten bij technische hulpverlening en bij brand

Type voertuig	Specifieke aandachtspunten bij technische hulpverlening	Specifieke aandachtspunten bij brand in hoog voltage-accupakket
Algemeen	<ul style="list-style-type: none"> > Hoog voltagesysteem > Hoog voltage-accupakket > Onderbreken circuit 	<ul style="list-style-type: none"> > Heel veel water nodig > Kans op herontsteking > Kans op explosie / runaway > Mogelijk vrijkomen van elektrolyt en mogelijk reactie met water
Elektrisch en hybride	<ul style="list-style-type: none"> > Bij plug-in hybride aan laadpaal: altijd laadsnoer afkoppelen of laadpunt uitschakelen. > Elektrolyt kan reageren met water waarbij knalgas (explosiegevaarlijk mengsel waterstof en zuurstof) gevormd kan worden. 	<ul style="list-style-type: none"> > Mogelijk bezwijken van brandstoftank / leidingen en vrijkomen van brandstof met als gevolg branduitbreiding
Brandstofcel/Fuel Cell	<ul style="list-style-type: none"> > Let op mogelijke lekkage van waterstof: meten met CO-meter. 	<ul style="list-style-type: none"> > Mogelijk bezwijken van brandstoftank / leidingen en vrijkomen van brandstof met als gevolg branduitbreiding > Let op mogelijke lekkage van waterstof: meten met CO-meter.

4.5 Nazorg

Nadat de politie het sein heeft gegeven, kan de brandweer starten met de nazorg. De nazorg van incidenten met moderne voertuigen wijkt niet af van de nafase van andere verkeersincidenten en bestaat uit de volgende drie stappen.

- > Opruimen en inpakken materieel. Al het materieel dat is gebruikt, moet nu worden opgeruimd en ingepakt. Het wordt weer voor een volgende inzet gereedgemaakt. Aandachtspunt hierbij is de mogelijke verontreiniging van materialen. Vraag advies aan de AGS voor controle en schoonmaken. Er kan mogelijk sprake zijn van verspreiding van composietvezels (MMMF) bij brand. De gezondheidsrisico's van deze vezelmateriaal zijn deels vergelijkbaar met asbest. Hanteer daarom zo nodig in overleg met de AGS de asbestprocedure.
- > Eventueel schoonmaken, opruimen en vrijmaken van de rijbaan. Het is van belang om de rijbaan allereerst zo veilig en snel mogelijk schoon te maken. Dit is veelal een taak van de wegbeheerder. Nadat de rijbaan is schoongemaakt, ruimt de brandweer al het gebruikte materiaal op, pakt het in en zet het weer klaar voor een volgende uitruk. Als alles opgeruimd en schoon is, geeft de brandweer of politie de rijbaan vrij, zodat de andere weggebruikers weer ongehinderd hun weg kunnen vervolgen. Als er een voertuig met een hoog voltage-accupakket betrokken is bij het incident: voer vrijgekomen gevaarlijke stoffen (bijvoorbeeld elektrolyt uit accu(pakketten)) af als chemisch afval en waarschuw de berger voor de kans op herontsteking. Geef de tip om voldoende afstand (minimaal 15 meter) tot andere voertuigen te houden om overslag te voorkomen.
- > Traumazorg. Napraten over het ongeval in het Collegiale Opvang Team en/of BOT.

4.6 Handelingsperspectief

Dit handelingsperspectief is aanvullend op het normale optreden bij incidenten met voertuigen. Dat betekent dat alleen handelingen die anders zijn of extra uitgevoerd moeten worden, opgenomen zijn.

Tabel 4.15 Handelingsperspectief moderne voertuigen: aanvullend

Scenario	Hulpverlening	Brand
Algemeen	<ul style="list-style-type: none"> > Bovenwindse opstelplaats, eerste veilige afstand 50 meter, mogelijk explosiegevaar (gastanks en hoog voltage-accupakketten bij brand) > Bovenwinds benaderen en neem explosiegevaarmeter mee > Gebruik adembescherming met volgelaatsmasker > Bepaal (on)veilig gebied, blijf meten, ontruim (zo nodig) onveilig gebied en zet gebied af > Let op vreemde signalen: harde afblaasgeluiden, gesis, nevelvorming, explosie-achtige verschijnselen, steekvlammen > Druk (indien aanwezig) noodknop in of schakel de hoofdschakelaar uit > Schakel het contact af (moderne aandrijfsystemen worden dan afgeschakeld); contactsleutel/smartkey op minimaal vijf meter afstand van het voertuig > Bepaal de kans op escalatie (kans op versnelde drukopbouw, activering overdrukbeveiliging, aard beschadiging voertuig, tank, leiding) > Voorkom het beschadigen van kwetsbare componenten (hoog voltagekabels, -accupakketten, -leidingen, gastanks, et cetera) > Zorg voor ventilatie, zeker als er nog een slachtoffer in het voertuig zit. Let op: een overdrukventilator kan een ontstekingsbron zijn > Let op! In veel moderne voertuigen worden composietmaterialen toegepast (MMM – man made mineral fibers). Verspreiding van composietvezels is mogelijk. Hanteer daarom in overleg met de AGS de asbestprocedure en denk ook aan een mondkapje voor het slachtoffer 	
Voertuigen aangedreven door brandbare gassen	<ul style="list-style-type: none"> > Druk in brandstoftank kan verlaagd worden door te gaan rijden: let op of starten veilig kan > Gebruik warmtebeeldcamera (zichtbaar maken koude en gaswolk), IR temperatuurmeter (bij AGS) en CO-meter bij waterstof > Controleer het gebied rond afblaasleidingen en/of het lek met warmtebeeldcamera (gasbranden kunnen slecht zichtbaar zijn) > Vermijd contact met de vloeistof/gaswolk en koude installatieonderdelen > Sluit eventueel afsluitkleppen voor de gastoevoer handmatig (zie CRS) 	
	<p>Hulpverlening</p> <ul style="list-style-type: none"> > Ontstekingsbronnen verwijderen. Let op: openen van deuren, achterklep en motorkap kan elektrische vonken veroorzaken. > Ventileren, zeker bij > 10%LEL > Verdun explosiegevaarlijke wolk > Voorkom binnentreding van besloten ruimten door personen, ventileer als dat veilig kan (let op met gebruik overdrukventilator, geen benzinemotor!) <p>Bij cryogeen gas:</p> <ul style="list-style-type: none"> > Let op: cryogene vloeibare fase, extreem koud 	<p>Brand</p> <ul style="list-style-type: none"> > Houd het gebied rond afblaasleidingen vrij en spuit geen water op veiligheidskleppen of overdrukventielen: voorkom dichtvriezen > Niet blussen, laten branden > Koelen aangestraalde gastank(s). Bij fakkelbrand: koelen in de richting van de fakkel > Andere (secundaire) branden in de omgeving wel blussen / koelen omgeving / voorkomen escalatie > Tussen 3 en 10 kW/m² onder dekking optreden brandweer in beschermende kleding mogelijk

	<ul style="list-style-type: none"> > Lek niet dichten bij een cryogeen gas, dus ook niet dichtvriezen met natte lappen (alleen bij LPG toepassen)! > Niet in contact brengen met water > Voorkom bevroering van (ademlucht)apparatuur, draag koude-isolerende handschoenen als direct, kortstondig contact met koude nodig is: vermijd dit zo mogelijk > Eventueel afdekken met dikke laag licht schuim als plas ingedamd is > Voorkom verspreiding van de plas, leg dammen aan > Voorkom ontstaan brand > Laat plas verdampen en meng gaswolk op met een sproeistraal water (let op, geen contact met de plas) 	<ul style="list-style-type: none"> > Pas op voor BLEVE als tanks worden opgewarmd door brand > Bij dreigende BLEVE: <ul style="list-style-type: none"> - ontruim omgeving tot 350 meter - koel aangestraalde tank rondom met water (10 liter/m²/min). Let op bij cryogene tanks/leidingen: alleen koelen als de wand en isolatie intact is > Na BLEVE: secundaire branden blussen, aangestraalde onderdelen koelen
Voertuigen aangedreven door hoog voltage-accupakket	<ul style="list-style-type: none"> > Deactiveer het aandrijfsysteem > Koppel de 12 V-accu niet los > Oranje bekabeling beschadigd? Vervorming van onder andere de bodemplaat geeft indicatie > Bij voertuig te water: alleen kans op elektrische schokken als voertuig via laadsnoer aan de laadpaal gekoppeld is > Denk aan afvoer milieugevaarlijke stoffen bij verlaten incidentlocatie 	
	<p>Hulpverlening</p> <ul style="list-style-type: none"> > Mogelijk lekkage elektrolyt: vermijd contact, draag eventueel chemicaliënhandschoenen, vraag advies aan AGS > Na flinke crash kans op ontsteking van het hoog voltage-accupakket tot drie weken na de crash 	<p>Brand</p> <ul style="list-style-type: none"> > Bij brand in hoog voltage-accupakket: zorg voor voldoende water (mogelijk tot 10.000 liter en een blustijd van een uur) > Blussen met sproeistraal en heel veel water, eventueel met chemische additieven > Moeilijk te benaderen, soms smeltplaat aanwezig (zie CRS) > Kans op herontsteking tot 48 uur na het incident > Rook afkomstig van brand in het hoog voltage accupakket kan zeer giftig zijn > Waarschuw berger voor herontsteking en laat minimaal 15 meter afstand houden tot andere voertuigen

Dit handelingsperspectief vindt u, weergegeven in de vijf fasen van incidentbestrijding, terug in de aandachtskaart in bijlage 1. De aandachtskaart is een praktisch handelingsperspectief voor repressief brandweeroptreden bij incidenten met moderne voertuigen.

4.7 Bronnen

- > Bevelvoerder hulpverlening, *Veiligheidsvoorzieningen in voertuigen*.
- > Brandweer Amsterdam-Amstelland, *Handreiking voor optreden tijdens incidenten met waterstofftoepassingen*.

- > Brandweeracademie (2015). Brandweeroptreden bij incidenten met LNG. Arnhem: Instituut Fysieke Veiligheid.
- > Bolm, R. (30 oktober 2012). EV's en hybrides bij brand niet onveiliger. *Autokompas*.
- > Euro-codicil, www.euro-codicil.eu
- > Landesfeuerweherschule Baden-Württemberg (2011). *Einsatzhinweise für Elektrofahrzeuge*.
- > Moditech Rescue Solutions (2011). *Technische hulpverlening bij ongevallen met alternatief aangedreven voertuigen*. Hoogwoud: Moditech.

5 Veiligheidsvoorzieningen in voertuigen

Veiligheidsvoorzieningen dienen om escalatie van ongewone situaties te voorkomen. Zo bestaan er veiligheidsvoorzieningen die in werking treden als de druk, de temperatuur of het vloeistofniveau te hoog oploopt. Dit hoofdstuk geeft een overzicht van de veelvoorkomende veiligheidsvoorzieningen in voertuigen (paragraaf 5.1) en van de veiligheidsvoorzieningen in voertuigen die aangedreven worden door brandbare gassen (paragraaf 5.2) en door stroom uit een hoog voltage-accupakket (paragraaf 5.3).

5.1 Veiligheid voertuigaandrijfsystemen

Er zijn drie grondprincipes die het gebruik van een voertuig (inclusief alternatieve aandrijving) veilig maken:

1. beschermde inbouwlocatie
2. automatisch uitschakelen bij optreden van een storing
3. voorkomen van explosies.

Verschillende wettelijke richtlijnen bepalen alle noodzakelijke voorzorgsmaatregelen voor de aandrijfcomponenten. Tijdens de ontwikkeling van een nieuw model moeten autofabrikanten zich bijvoorbeeld houden aan de richtlijn ECE-R 100 voor elektrische personenvoertuigen, de richtlijn ECE-R 110 voor personenvoertuigen op aardgas (LNG, CNG) en de richtlijn ECE-R 67 voor personenvoertuigen met een LPG-installatie.

5.1.1 Beschermde inbouwlocatie

Componenten zoals bijvoorbeeld brandstoftanks, hoog voltage-accupakketten, brandstofcellen en gastanks worden door de fabrikant ingebouwd op plaatsen in het voertuig die tijdens ongevallen niet of moeilijk beschadigd kunnen raken (bij later ingebouwde systemen kan dit anders zijn). Hieronder vallen het gedeelte boven of voor de achteras, onder de achterbank of aandrijftunnel en op de plaats van het schutbord in de motorruimte. Zolang deze componenten niet beschadigd raken en er bijvoorbeeld geen brandstof uit de tank lekt, is het brandgevaar minimaal.

5.1.2 Automatisch uitschakelen bij optreden van een storing

Moderne personenvoertuigen beschikken over een geavanceerd veiligheidssysteem (SRS), bestaande uit veiligheidsgordels, gordelspanners, airbags en andere componenten die de inzittenden beschermen tijdens een ongeval (zie ook hoofdstuk 3). Door een regeleenheid die deze systemen aanstuurt, wordt na herkennen van een ongeval bij veel personenvoertuigen ook automatisch de aandrijving uitgeschakeld. Deze systemen schakelen vaak ook de aandrijving uit na herkenning van een lekkage (personenvoertuigen met gas als brandstof) of na optreden van kortsluiting of lekstroom door beschadiging van de isolatie (elektrische personenvoertuigen).

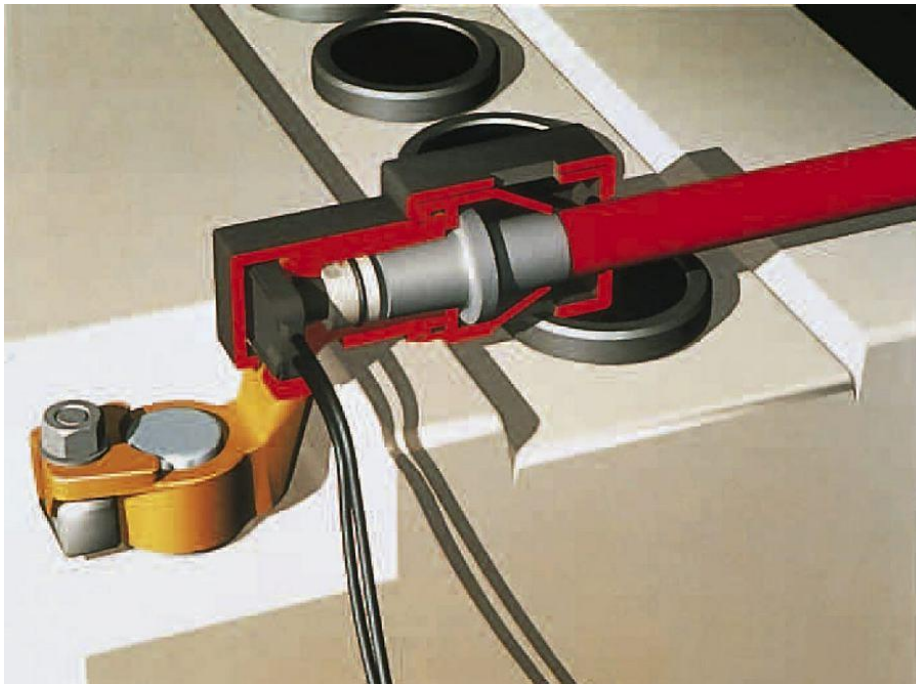
Traagheidsschakelaars of inertia-switches

Bij diverse voertuigen worden traagheidsschakelaars (zogenaamde inertia-switches) toegepast. Deze schakelaars zorgen er na herkenning van een ongeval voor dat de

brandstofpomp wordt uitgeschakeld en geen brandstof meer kan leveren. Deze schakelaars functioneren onafhankelijk van de andere veiligheidssystemen en reageren tijdens versnellingen of vertragingen die een vastgestelde grenswaarde overschrijden. Of deze traagheidsschakelaar is geactiveerd, is echter aan de buitenzijde van het voertuig vaak lastig te herkennen. Als de traagheidsschakelaar bij de Tesla Roadster ingeschakeld wordt, komt er een melding op het beeldscherm in het dashboard.

Veiligheidsaccuklem

Om het gevaar van kortsluiting in de motorruimte en daarmee het brandgevaar te reduceren, passen verschillende fabrikanten, bij accu's die niet in de motorruimte zijn ingebouwd, zogenaamde veiligheidsaccuklemmen toe. De veiligheidsaccuklem werkt volgens het principe dat bij een aanrijding het contact wordt verbroken tussen de klem en de pluspool. Daardoor wordt het contact van de pluskabel van de accu met de dynamo en startmotor onderbroken. De overige elektrische systemen van het voertuig, zoals de veiligheidssystemen en de verlichting, blijven wel voorzien van spanning.



Afbeelding 5.1 Veiligheidsaccuklem

Nadat de veiligheidsaccuklem is geactiveerd:

- > werken de elektrische ramen niet meer
- > werkt (indien aanwezig) het elektrische schuifdak niet meer
- > werken de elektrische stoelverstelling en het elektrisch verstelbare stuur niet meer
- > kan de kofferbak of achterklep niet meer elektrisch geopend worden.

5.1.3 Voorkomen van explosies

Veiligheidssystemen in het voertuig verhinderen dat brandstoffen en de daarvoor benodigde opslag een gevaar opleveren. Het gaat vooral om de opslag van gasvormige brandstoffen, deze worden daarom in paragraaf 5.2 beschreven.

5.2 In voertuigen aangedreven door brandbare gassen

Deze paragraaf beschrijft de diverse veiligheidsvoorzieningen die toegepast worden in voertuigen die aangedreven worden door het verbranden van brandbaar gas. In tabel 5.2 vindt u welke voorziening bij welk type brandstof ofwel in welk type voertuig wordt toegepast.

Tabel 5.2 Overzicht van toegepaste veiligheidsvoorzieningen per type brandstof

Veiligheidsvoorziening	LPG	CNG	LNG	Waterstof
Elektromagnetische afsluitklep	X	X	X	X
Mechanische afsluitklep	X	X	X	X
Vulbegrenzer (80%-afsluitklep)	X		X	
Doorstroombegrenzer		X		
Overdrukbeveiliging (ventiel/membraan)	X	X	X	X
Thermische beveiliging		X		
Gasdetectie/alarm				X

5.2.1 Elektromagnetische afsluitklep

De elektromagnetische afsluitklep dient ter onderbreking van de gastoevoer. Tijdens het rijden op brandbaar gas wordt hij geopend. Na omschakelen op benzine of diesel, uitzetten van de motor, verlies van de accuspanning of na detectie van een ongevalssituatie sluit de klep automatisch. Zonder stroomvoorziening is de afsluitklep dus gesloten. Tijdens het rijden wordt de elektromagnetische klep voorzien van stroom. Door het ontstane magnetisch veld wordt de klep naar boven getrokken en opent daarmee de toegang tot de gastank. Wanneer het rijden op brandbaar gas wordt beëindigd, schakelt de motorregeleenheid de stroomtoevoer uit, waarna de klep vervolgens door de veerdruk naar beneden gedrukt wordt.

Wanneer de regeleenheid van de airbagsystemen een ongeval detecteert en de airbags en/of gordelspanners activeert, wordt de elektromagnetische afsluitklep gesloten.¹⁷ Het sluiten van de elektromagnetische afsluitklep verhindert de ongewenste uitstroom van vloeibaar gas. Uittreden van vloeibaar gas is denkbaar, wanneer de tank mechanisch beschadigd wordt of na beschadigen van de elektromagnetische afsluitklep. Niet alle ongevalsscenario's worden echter gedetecteerd door de regeleenheid. Ook kan het zijn dat het betrokken voertuig geen airbags heeft. In deze situaties wordt door de regeleenheid dan ook geen signaal ter activering van de afsluitkleppen gestuurd.

5.2.2 Mechanische afsluitklep

Een handbediende afsluiter (mechanische afsluitklep) maakt handmatig sluiten van de tank mogelijk, bijvoorbeeld tijdens onderhoudswerkzaamheden of bij een lekkage in het systeem. De afsluitklep wordt in de regel gesloten door de handbediening met de klok mee te draaien. Daarbij is het van belang te weten dat lekkages via de thermische beveiliging en/of het

¹⁷ Ook wanneer de airbag regeleenheid het ongeval niet gedetecteerd heeft, is het zeer waarschijnlijk dat de elektromagnetische afsluitkleppen gesloten zijn, omdat de motor is afgeslagen.

overdrukmembraan niet door middel van de afsluitklep te dicht zijn. Niet alle tanks beschikken over dit afsluitmechanisme.

5.2.3 Vulbegrenzer (80%-afsluitklep)

Sommige gassen worden vloeibaar gemaakt om ze te kunnen opslaan of te transporteren, bijvoorbeeld LPG (onder druk) en LNG (sterk afgekoeld, cryogeen). Tanks die vloeibaar gemaakte gassen bevatten mogen nooit helemaal vol zijn omdat een deel zal overgaan in de gasfase en de mogelijkheid moet hebben om te kunnen uitzetten. Daarom geldt er voor vloeibaar gemaakte gassen een maximale (veilige) vullingsgraad, deze ligt rond de 80 procent. Als deze vullingsgraad bereikt wordt, sluit de toevoerklep. De klep wordt mechanisch bediend door een vlotter. Deze veiligheidsvoorziening wordt ook wel de 80%-afsluitklep genoemd, omdat het tanken onderbroken wordt, zodra de tank voor 80 procent is gevuld.

5.2.4 Doorstroombegrenzer

Een doorstroombegrenzer wordt toegepast bij drukhouders met sterk verhoogde drukken zoals voor CNG (ongeveer 200 bar), maar ook voor ademluchtflessen. De doorstroombegrenzer verhindert het ongewenst, pulserend uitstromen van brandbaar gas uit tanks na beschadiging van de gasleiding of de gasdrukregelaar. Zodra de druk in de gastank ongeveer 2 bar hoger is dan in de leiding (bijvoorbeeld na losraken of beschadigen van de leiding), wordt de afdichtkegel door de druk in de gastank in de afdichtzitting gedrukt en kan nog maar een kleine hoeveelheid gas uitstromen. Dit is noodzakelijk, zodat de tank zich na het herstellen van gelijke drukverhoudingen ook weer kan openen. Na activeren van de doorstroombegrenzer duurt het maximaal zeven uur voordat de tank volledig is leeggelopen. De mechanische afsluitklep komt na de doorstroombegrenzer. Na het bedienen van de mechanische afsluitklep kan de uitstroom van gas volledig afgesloten worden, uitgezonderd de lekkages via de thermische beveiliging en/of het overdrukmembraan. In deze gevallen is ook de doorstroombegrenzer niet actief.

5.2.5 Overdrukbeveiliging

De inwendige druk kan bij een plotselinge toename van de temperatuur (zoals bij brand) zodanig toenemen, dat gevaar voor uit elkaar barsten van de tank ontstaat. Daarom zijn gastanks uitgerust met één (of meerdere) zogenaamde PRD (Pressure Relief Device, overdrukbeveiliging). Bij een onacceptabele hoge druk wordt het gas gecontroleerd afgeblazen (te herkennen aan het luide afblaasgeluid, sissen). Bij een autobrand zal, bij goed functioneren van de veiligheidsvoorzieningen¹⁸, het gas na ontsnappen uit de tank ontbranden en affakkelen.

Overdrukventiel/ontlastklep/afblaasveiligheid

Het overdrukventiel is geïntegreerd in de tank. Het voorkomt barsten van de tank, als gevolg van overmatige drukstijging door verhoging van de temperatuur. Zodra de druk in de gastank hoger wordt dan de ingestelde druk (bijvoorbeeld voor LPG 27 bar), opent het overdrukventiel mechanisch. Het vloeibare gas wordt afgeblazen en via een afblaasleiding naar buiten het voertuig geleid, zodat gasophoping in het voertuig voorkomen wordt. Afblaasleidingen mogen niet beschadigd worden, om de goede werking van het overdrukventiel te garanderen. Voorkom dat er water op het overdrukventiel terecht komt, het ventiel mag namelijk niet dichtvriezen. Zodra de druk is afgebouwd, sluit het overdrukventiel weer.

¹⁸ In zeldzame gevallen kan het voorkomen dat de aanwezige veiligheidsvoorzieningen niet (voldoende) werken. De gastank kan dan uit elkaar barsten (BLEVE). Als de drukverhoging veroorzaakt wordt door brand, zal het vrijgekomen brandbare gas direct ontsteken, met een vuurbal als gevolg.

Het overdrukventiel blijft ook bij gesloten afsluitkleppen normaal functioneren. Het overdrukventiel kan overigens ook afblazen als het voertuig bijvoorbeeld langer stilstaat. Bij LNG wordt dit zelfs gebruikt om de temperatuur van de vloeibare fase laag te houden. Bij een intact voertuig kan de overdruk verminderd worden, door te gaan rijden (check wel of het voertuig veilig gestart kan worden). Andere ontstekingsbronnen moeten worden vermeden.

Overdrukmembraan

Ook een overdrukmembraan voorkomt een overmatige drukverhoging in de tank. Het membraan breekt door als in de tank een te hoge druk wordt bereikt (bijvoorbeeld voor CNG 300 bar). Als dit proces is gestart, kan het niet meer worden afgebroken. In tegenstelling tot het overdrukventiel en de thermische beveiliging (zie paragraaf 5.2.6) is het overdrukmembraan niet wettelijk voorgeschreven en daarom niet altijd ingebouwd.

5.2.6 Thermische beveiliging

Ook een thermische beveiliging zorgt ervoor dat gastanks niet kunnen bezwijken door overmatige drukverhoging als gevolg van hoge temperaturen. Deze beveiliging is meestal in de afsluitklep geïntegreerd. Wanneer de temperatuur in de buurt van de thermische beveiliging oploopt tot boven de ingestelde temperatuur (bijvoorbeeld voor CNG 110 °C) opent de thermische beveiliging de afblaasopeningen, zodat het gas uit de tank de open lucht in kan stromen.¹⁹ Zodra dit gecontroleerde afblazen is gestart (te herkennen aan het luide afblaasgeluid, sissen), kan dit niet meer gestopt worden. Het gas wordt door de brand ontstoken en fakkelt af. Bij een volle gastank (200 bar) duurt het volledig afblazen van de inhoud ongeveer 90 seconden. Verder is het mogelijk dat aan één gastank aan beide uiteinden twee thermische beveiligingen zijn gemonteerd. Er moet dan ook altijd rekening gehouden worden met de afblaasrichting en de richting van de steekvlam. Ook is het altijd mogelijk dat een drukhouder/gastank bezwijkt (vooral bij punt aanstraling ver van de overdruk- of thermische beveiliging).

Bij sommige voertuigen wordt het afgeblazen brandbare gas door afblaasleidingen naar bijvoorbeeld het dak van het voertuig afgevoerd. Deze afblaasleidingen kunnen zich ook in carrosseriestijlen bevinden. Het afblaaskanaal van de thermische beveiliging is uit veiligheidsoogpunt ook bij een gesloten afsluitklep geopend.

5.2.7 Gasdetectie

Bij cryogeen tanks ontstaat altijd overdruk in de tank, omdat de temperatuur van de koude vloeibare fase oploopt door het inleken van warmte uit de omgeving. Zodra de isolatie is beschadigd gaat dat nog sneller. In dat geval wordt de overdrukbeveiliging geactiveerd en de tankinhoud afgeblazen. In de voertuigen zijn vaak sensoren voor het gas ingebouwd om lekkages te kunnen detecteren. Meestal wordt een gasalarm aangegeven op het dashboard. Sommige voertuigen openen na een gasalarm automatisch de ramen om voor ventilatie te zorgen. Het is dus belangrijk dat de accukabels niet losgenomen worden, dat zorgt namelijk voor de deactivering van het detectiesysteem voor gaslekken.

¹⁹ Hiervoor is de thermische beveiliging bijvoorbeeld als smeltzekering uitgevoerd. Er zijn ook autofabrikanten die glasbuisjes toepassen, zoals die ook in een sprinklerinstallatie zijn te vinden.

5.3 In voertuigen met een hoog voltage-accupakket

Om de potentiële gevaren van het hoog voltagecircuit in hybride en elektrisch aangedreven voertuigen te reduceren, worden diverse veiligheidsmaatregelen getroffen, zoals:

- > locatie in het voertuig
- > waarschuwingssticker voor de hoog voltagekabels
- > bescherming tegen aanraken (direct en indirect)
- > scheiding tussen hoog voltagecircuit en 12 V boordnet
- > accupakket-managementsysteem
- > Hoog voltage-Interlock-Systeem²⁰
- > ontlaadschakelingen voor het hoog voltagecircuit
- > onderhoudstekker.

Deze veiligheidsmaatregelen gelden voor personenvoertuigen, maar ook voor bijvoorbeeld elektrische taxi's of hybride vrachtwagens. Ze komen echter niet allemaal in elk hybride/elektrisch voertuig voor.

5.3.1 Locatie in het voertuig

Hoog voltage-accupakketten bevinden zich meestal voor of boven de achteras. Bij grote accupakketten is inbouw op de bodemplaat of in de aandrijftunnel mogelijk. Kleine accupakketten van milde hybride voertuigen kunnen in sommige gevallen ook in de motorruimte zijn ingebouwd. Ingebouwd in een stijf frame en ingekapseld, kan het accupakket in het midden van het voertuig worden ondergebracht.

Hoog voltagekabels lopen meestal via de onderkant van het voertuig naar de motor. Ze bevinden zich niet onmiddellijk aan de rand of onder de dorpel, maar meer naar het midden van het voertuig. Het is mogelijk dat de kabels niet zichtbaar zijn, omdat ze zijn afgedekt of zijn ingevoerd in een kabelharnas.

5.3.2 Waarschuwingssticker voor de hoog voltagekabels

Componenten van het hoog voltagecircuit zijn op hun behuizing voorzien van waarschuwingsstickers, die wijzen op de hoge voltages en/of het risico op stroomschokken. Hoog voltagekabels (> 60 V) zijn te herkennen aan hun opvallend oranje gekleurd isolatiemateriaal.



Afbeelding 5.3 Waarschuwingsstickers voor het hoog voltagecircuit

5.3.3 Bescherming tegen aanraken

In ingebouwde toestand zijn alle hoog voltagecomponenten zo uitgevoerd, dat het onmogelijk is om direct in contact te komen met hoge voltages door aanraken van de componenten. Daarnaast zijn de hoog voltagekabels voorzien van extra draadgevlochten isolatie om de kabelkern. Deze isolatie dient ter vermindering van elektromagnetische storingen en ter herkenning van breuken in de isolatie.

²⁰ In de automobieliindustrie wordt dit ook wel Hoogspannings-Interlock-Systeem genoemd.



Afbeelding 5.4 Hoog voltagekabels onder de bodemplaat van hybride personenvoertuigen

5.3.4 Scheiding tussen hoog voltagecircuit en 12 V boordnet

Het hoog voltagecircuit is van het 12 V boordnet en daarmee ook van de voertuigmassa gescheiden. Dit betekent dat zowel de pluspool als de minpool van het hoog voltagecircuit geen geleidende verbinding met het 12 V boordnet of de carrosserie (massa) heeft. Het gevolg is een hogere veiligheid bij optreden van breuken in het isolatiemateriaal. Daarnaast beschikt het hybride voertuig over een isolatiemonitor die breuken in de isolatie signaleert en de bestuurder hiervan op de hoogte stelt.

5.3.5 Accupakket-managementsysteem

Hoog voltageaccupakketten zijn beveiligd met een complex managementsysteem, ook wel batterijmanagementsysteem genoemd. Dit is een computer die koeling nodig heeft om goed te kunnen werken. Dit geldt voor zowel de nikkelmetaalhydride (NiMH) als de lithium-ion-accupakketten. Door het hoge vermogen van lithium-ion-accupakketten is koeling relatief belangrijk. Het managementsysteem:

- > bewaakt de lading en temperatuur van iedere cel afzonderlijk
- > schakelt een cel die dreigt te ontbranden uit om thermische runaway te voorkomen
- > regelt de koeling.



Afbeelding 5.5 Tesla Motors – Model S Li-ion accupack

5.3.6 Hoog voltage-Interlock-Systeem

Veel hybride en elektrische voertuigen hebben een Hoog voltage-Interlock-Systeem. Dit systeem zorgt ervoor dat het complete hoog voltagescircuit spanningsvrij is, zodra een hoog voltagecomponent van het circuit gescheiden wordt.

Het Interlocksysteem is bij Toyota bijvoorbeeld een draad die start bij de hybridecomputer. Via allerlei doorverbindingsbruggen loopt het systeem vervolgens langs belangrijke hoog voltagecomponenten en is aan het einde met massa verbonden. Wanneer ergens in het voertuig een hoog voltagecomponent wordt geopend (bijvoorbeeld door het verwijderen van een veiligheidsstekker of het losschroeven van een aangesloten afdekplaat), schakelt het hoog voltagecircuit zichzelf uit. Let op: het accupakket wordt zelf niet ontladen.

5.3.7 Ontlaadschakelingen voor het hoog voltagecircuit

Sommige autofabrikanten passen ontlaadcircuits toe, die het hoog voltagecircuit in speciale gevallen (bijvoorbeeld tijdens een ongeval) actief ontladen. Dit ontladen kan variëren van enkele milliseconden tot wel of vijf of tien minuten. Wanneer zo'n circuit niet aanwezig is, kan het enige minuten (vijf tot tien) duren voordat het hoge voltage in het circuit is afgebouwd. Of een dergelijk ontlaadcircuit aanwezig is, kan opgezocht worden in het CRS (zie paragraaf 4.2). De ontlaadschakeling werkt als volgt. Op het hoog voltage-accupakket bevinden zich beveiligingsrelais²¹ of onderdelen met een vergelijkbare functie. De beveiligingsrelais worden tijdens bedrijf en opladen van het hoog voltage-accupakketten gesloten. Wanneer een ongeval wordt gedetecteerd door de airbagregeleenheid of na onderbreking van het Hoog voltage-Interlock-Systeem, wordt de stroomvoorziening van de beveiligingsrelais onderbroken. Daardoor openen de relais en wordt het hoog voltagecircuit spanningsloos. Nadat het contact is aangezet, wordt er een systeemcheck uitgevoerd, waarna het beveiligingsrelais wordt uitgeschakeld. Bij personenvoertuigen die niet beschikken over uitgebreide voorzieningen met veiligheidssystemen (bijvoorbeeld Tesla Roadster en Think City), wordt de deactivering van de aandrijving doorgaans uitgevoerd door een traagheidsschakelaar (inertia switch, zie paragraaf 5.1.2).

5.3.8 Onderhoudstekker

Om werkzaamheden aan het systeem mogelijk te maken, beschikken veel hybride en elektrisch aangedreven voertuigen over een onderhoudstekker (Service-Disconnect-Connector) die het hoog voltagecircuit onderbreekt. Vaak fungeert de onderhoudstekker als elektrische brug tussen de verschillende onderdelen van het hoog voltage-accupakket. De stroomkring is onderbroken zodra de stekker losgenomen wordt.



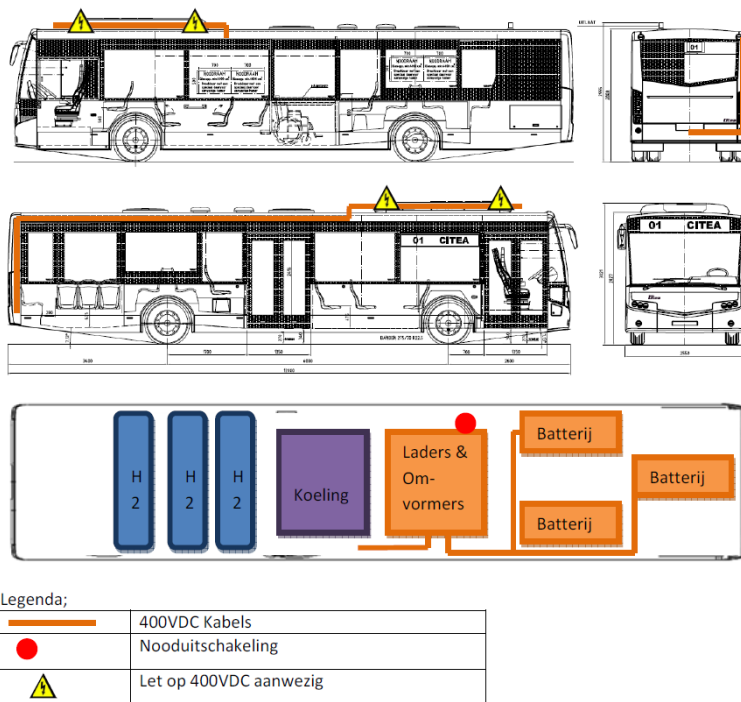
Afbeelding 5.6 Voorbeelden van onderhoudstekkers van verschillende personenvoertuigen

5.3.9 Specifiek voor bussen met hoog voltage-accupakket

Bussen met hybride, elektrische of brandstofcelaandrijving hebben een nooduitschakeling aan boord, die te gebruiken is wanneer de gebruikelijke manier van uitschakelen van het hybride systeem niet mogelijk is. Dit is dus niet de hoofdschakelaar. Ter illustratie: bij de Hymove (waterstofbus) is de nooduitschakeling op het dak van de bus te vinden. In onderstaande afbeelding is de veiligheidskaart voor de Breng Hymove met wagenparknummer 8197 weergegeven. Door de hybride techniek van de Hymove zijn er

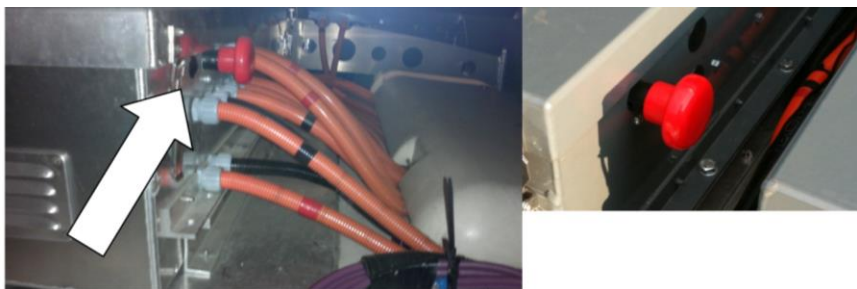
²¹ Relais zijn elektromagnetisch bediende schakelaars die een hoge werkspanning met een relatief kleine stuurspanning in- en uitschakelen.

enige aandachtspunten van belang. Onderstaande afbeelding geeft onder andere aan waar hoge voltages (> 60 VDC) aanwezig zijn.



Afbeelding 5.7 Veiligheidskaart Hymove 8197

De nooduitschakeling is te vinden op het dak, zie onderstaande afbeelding. De knop is aan de zijkant van de grote elektronica kast te vinden. Op het dak is ter hoogte van deze knop een grote gele sticker geplaatst.



Afbeelding 5.8 Nooduitschakeling op het dak

6 LPG

Liquefied Petroleum Gas (LPG) is een onder druk vloeibaar gemaakt mengsel van propaan en butaan. LPG werd al in 1955 in Nederland geïntroduceerd als brandstof voor de aandrijving van voertuigen. In de volksmond wordt LPG ook wel 'vloeibaar gas' genoemd, maar die benaming is niet specifiek genoeg omdat andere gassen ook vloeibaar gemaakt kunnen worden.

6.1 Kenmerken LPG

Een belangrijk kenmerk van LPG is dat het met lucht een brandbaar gasmengsel kan vormen. De energie die vrijkomt bij de verbranding wordt gebruikt om voertuigen aan te drijven. Tabel 6.1 geeft een overzicht van een aantal relevante kenmerken van LPG.

Tabel 6.1 Kenmerken LPG

LPG: 60% propaan (C ₃ H ₈) en 40% butaan (C ₄ H ₁₀)	
Behuizing	Stalen tanks, werkdruk 8 bar, testdruk 30 bar insteldruk afblaasveiligheid: 27 bar
Fysische eigenschappen	<ul style="list-style-type: none">> Vloeibaar vanaf 8 bar> Zwaarder dan lucht (rel. dichtheid: 1,7)> Kookpunt: ± -20 °C> Kleurloos en van oorsprong reukloos, maar met een geurstof gemengd> Expansiefactor bij vrijkomen: 270
Explosie/brandgevaar	<ul style="list-style-type: none">> Onderste explosiegrens 1,5 vol.%> Bovenste explosiegrens 9,5 vol.%> Dampspanning: 4000-8000 mbar> Min. ontstekingsenergie: 0,25 mJ> Zelfontbrandingstemperatuur: ± 400 °C
Etikettering	<ul style="list-style-type: none">> GEVI 23, UN 1965 en 1075 (als zee- of luchtvaart vooraf gaat aan transport)> ADR-klasse 3

6.2 Aandrijving

Voertuigen met LPG als brandstof zijn bijna altijd bivalent. In oudere systemen wordt de motor gestart met benzine om de LPG-verdamper op bedrijfstemperatuur te brengen. Aansluitend kan de bestuurder kiezen tussen benzine of LPG. Moderne LPG-motoren werken met LPG-injectie. Dit kan gasvormig met behulp van een verdamper en gas-injectoren, maar ook vloeibare gas-injectie is mogelijk met een drukregelaar (er is dan geen verdamper meer aanwezig).

LPG kan in tanks in allerlei verschillende vormen en afmetingen onder druk opgeslagen worden. Vaak worden ronde tanks gebruikt voor de inbouw in het reservewielcompartiment. Daarnaast is inbouw in de bagageruimte of onder de bodemplaat mogelijk. De tanks zijn gemaakt van staal en hebben een wanddikte van 3,5 mm. Wanneer een LPG-tank in het voertuig is ingebouwd, hebben de leidingen een gasdichte kunststofmantel om bij lekkage het gas buiten het voertuig te krijgen.



Afbeelding 6.2 Personenvoertuig met LPG als brandstof. In de bagageruimte is de tank ingebouwd in het reservewielcompartiment

De vulopening kan op diverse plaatsen zijn ingebouwd, bijvoorbeeld naast de normale tankopening, onder de achterbumper of achter de kentekenplaat. De vulopening is uitgerust met één of meer terugslagkleppen. Deze kleppen verhinderen dat vloeibaar gas terug kan stromen.

Het tanken wordt uitgevoerd met een gesloten systeem. De maximale vulhoeveelheid van een LPG-tank is 80 procent, zodat voldoende uitzettingsmogelijkheid geboden kan worden bij bijvoorbeeld hogere buitentemperaturen in de zomer. De hogedrukleidingen bestaan uit koper.

Personenvoertuigen met LPG als brandstof worden door diverse autofabrikanten in serie geproduceerd, zoals bijvoorbeeld:

- > Jeep Patriot Eco+
- > Volkswagen Golf BiFuel
- > Volvo S60 BiFuel.

Het achteraf inbouwen van een LPG-installatie is ook mogelijk. LPG-installaties zijn in nagenoeg alle voertuigen met benzinemotor in te bouwen.²²

6.3 Veiligheidsvoorzieningen van de LPG-installatie

Door veiligheidsvoorzieningen worden de specifieke gevaren van aandrijving door LPG gereduceerd. Met het oog op een mogelijke inzet blijft het echter belangrijk te weten waar de

²² Na het achteraf inbouwen van een LPG-installatie moet het voertuig ter keuring worden aangeboden bij de RDW, waarna de brandstofcode op het kentekenbewijs (kentekencard) en in het kentekenregister gewijzigd wordt.

grenzen van deze veiligheidsvoorzieningen liggen. In hoofdstuk 5 is de werking van de verschillende veiligheidsvoorzieningen besproken en tabel 5.2 laat zien welke voorziening bij welk type brandstof wordt toegepast.

LPG-tanks zijn uitgerust met een multiklep (veiligheidsklep), die verschillende veiligheidsfuncties met elkaar combineert, namelijk:

- > elektromagnetische afsluitklep
- > mechanische afsluitklep
- > overdrukventiel met een insteldruk van 27 bar
- > 80%-afsluitklep, voorzien van terugslagklep
- > niveaumeter.

Er zijn twee elektromagnetische afsluiters in het gassysteem. Eén in de afnamekraan op de tank en één net voor de verdamper/drukregelaar. Bij oudere installaties kan de afnamekraan nog mechanisch zijn uitgevoerd, zoals beschreven staat in paragraaf 5.2.2.



Afbeelding 6.3 Multiklep van een LPG-tank

6.4 Tanken

LPG is een restproduct van de raffinage van aardolie en wordt per tankwagen aangeleverd bij de tankstations. Bij de tankstations is een bovengrondse of ingeterpte opslagtank aanwezig. Vanaf de tank wordt de LPG afleverpunt gevoed.

Een afleverpunt bestaat minimaal uit een pomp voorzien van een slang en een koppelstuk. Bij het lostrekken van de slang schakelt de installatie zichzelf uit en daarnaast zijn er diverse noodstoppen aanwezig. Indrukken zorgt voor:

- > spanningsloos maken afleverpunt
- > blokkeren toevoer van LPG naar een tankend voertuig.

6.5 Bronnen

- > Moditech Rescue Solutions (2011). *Technische hulpverlening bij ongevallen met alternatief aangedreven voertuigen*. Hoogwoud: Moditech.
- > Publicatiereeks Gevaarlijke stoffen, www.publicatiereeksgevaarlijkestoffen.nl
- > Universiteit Twente, <http://technotheek.utwente.nl/wiki/>

7 Aardgas (CNG, LNG)

Aardgas is aangemerkt als een schone brandstof voor de toekomst, vanwege een relatief hoge energiedichtheid en relatief lage uitstoot aan luchtvervuilende stoffen, zoals kooldioxide (CO₂), stikstof(di)oxiden (NO_x) en zwaveldioxide (SO₂).

7.1 Kenmerken CNG en LNG

Aardgas (methaan, CH₄) kan op twee verschillende manieren worden opgeslagen en vervoerd:

- > samengeperst in een drukhouder als CNG (Compressed Natural Gas)
- > vloeibaar gemaakt door koude in een dubbelwandig geïsoleerd vat (dat lijkt op een thermosfles) als LNG (Liquefied Natural Gas).

In beide gevallen gaat het dus om het brandbare gas, aardgas.

Aardgas kan ook op een biologische wijze gewonnen worden via enzymatische processen in biomassa (organisch materiaal). De zo ontstane vormen worden wel bio-CNG en bio-LNG, LBG (Liquefied Bio Gas) of LBM (Liquefied BioMethaan) genoemd (zie voor meer uitleg de publicatie *Brandweeroptreden bij incidenten met LNG*, 2015). De eigenschappen van het eindproduct zijn hetzelfde. Tabel 7.1 geeft een overzicht van een aantal relevante kenmerken van CNG en LNG.

Tabel 7.1 Kenmerken CNG en LNG

	CNG	LNG
Andere benaming	Compressed Natural Gas, Compressed Bio Gas (CBG), aardgas, methaan	Liquefied Natural Gas, Liquefied Bio Gas (LBG), Liquefied Biomethaan (LBM)
Behuizing	Stalen tanks in de vorm van een sigaar, werkdruk 200 bar, inhoud 214 liter bij een bus	Dubbelwandige geïsoleerde vaten, werkdruk tot 24 bar, -162 °C
Fysische eigenschappen	<ul style="list-style-type: none">> Bij 20 °C, 1 atm: lichter dan lucht (rel. dichtheid: 0,6)> Kookpunt: -162 °C> Kleurloos en van oorsprong reukloos, maar met een geurstof gemengd> Expansiefactor bij vrijkomen: 200	<ul style="list-style-type: none">> Bij 20 °C, 1 atm: lichter dan lucht (rel. dichtheid: 0,64), koude gas zwaarder dan lucht (rel. dichtheid 1,2)> Kookpunt: -162 °C> Kleurloos en reukloos> Expansiefactor bij vrijkomen: 600
Explosie/brandgevaar	<ul style="list-style-type: none">> Onderste explosiegrens 5,0 vol.%> Bovenste explosiegrens 16 vol.%> Min. ontstekingsenergie: 0,28 mJ> Zelfontbrandingstemperatuur: 670 °C	
Etikettering	<ul style="list-style-type: none">> GEVI 23, UN 1971> ADR-klasse 3	<ul style="list-style-type: none">> GEVI 223, UN 1972> ADR-klasse 3

In tabel 4.12 zijn de scenario's beschreven voor brandbare gassen met de bijbehorende gevaren en het handelingsperspectief. Het scenario koudgekookte plas is niet relevant voor CNG. Het scenario BLEVE is minder waarschijnlijk voor LNG.

Gevaren cryogeen LNG

Het belangrijkste verschil tussen CNG en LNG is de extreem lage temperatuur van LNG, dat een cryogeen gas is. De vloeibare fase zelf is niet brandbaar, de dampen alleen in de juiste mengverhouding met lucht. De extreme koude brengt de volgende specifieke gevaren met zich mee.

- > Direct contact met personen kan leiden tot koude brandwonden, onderkoeling, schade aan ogen en longen.
- > Direct contact met materialen kan leiden tot aantasten, beschadigen, broos worden. Dat geldt ook voor beschermende kleding, straalpijpen en de mantel van brandweerslangen.
- > Direct contact met water leidt tot een zeer snelle verdamping met mogelijk explosie-achtige verschijnselen (RPT, rapid phase transition). Dit is te vergelijken met het fysisch koken van water bij het 'blussen' van brandende olie met water. De snelle verdamping leidt tot een groter explosiegevaarlijk gebied.
- > Installatieonderdelen zijn extreem koud door het contact met LNG. Bij contact met water bevriezen deze direct. Dat geldt ook voor veiligheidsvoorzieningen. Gebruik dus geen water.
- > Bij vrijkomen van de vloeibare fase verdampt deze zeer snel (ook wel flashverdamping genoemd). Dit kost veel energie die aan de vloeibare fase zelf en aan de omgeving wordt onttrokken. Door de afkoeling condenseert het water uit de lucht en vormt ijskristallen, te zien als witte nevel. Dit belemmert het zicht op de ondergrond.
- > Door de lage temperatuur blijft het gas(-luchtmengsel) laag bij de grond en kan zich ophopen in lager gelegen delen (kelders, riolen, et cetera). Na opwarmen is het gas zodanig vermengd met lucht, dat het zich op maaiveldniveau verspreidt. Het kan dan (in de juiste mengverhouding) alsnog op afstand ontstoken worden.
- > Bij beschadigen van de isolatie van de tank, loopt de temperatuur en dus de druk versneld op en kan de tank gaan afblazen. Werkt de overdrukbeveiliging niet goed, dan is zelfs een BLEVE mogelijk bij aanstraling door brand.

7.2 Aandrijving

Voertuigen aangedreven door aardgas (CNG, LNG) zijn verkrijgbaar in zowel monovalente (zonder benzine- of dieseltank of met een benzine-noodtank) als bivalente uitvoering. De motor van een voertuig op aardgas komt meestal overeen met een conventionele benzine- of dieselmotor. In plaats van een mengsel van benzine of diesel met lucht, wordt een mengsel van aardgas en lucht in de cilinders verbrand. De bestuurder kan door middel van een schakelaar kiezen welke brandstof tijdens het rijden gebruikt wordt. In vrachtwagens komt ook de combinatie CNG en LNG voor.

7.2.1 CNG

Om de voorraad CNG op te slaan, zijn in het voertuig meerdere gastanks gemonteerd. CNG wordt daar onder een maximale druk van 200 bar gecomprimeerd opgeslagen. De aardgastanks kunnen van staal of van een carbon versterkt kunsthars (CFK) zijn. De tanks zijn zeer stabiel, zodat een mechanische beschadiging tijdens een ongeval zeer onwaarschijnlijk is. De aardgastanks bevinden zich op veilige inbouwlocaties en kunnen in langs- of dwarsrichting van het voertuig zijn ingebouwd. Gebruikelijke locaties zijn boven of voor de achteras, de aandrijftunnel of de kofferruimte. Bij bedrijfswagens en vrachtwagens zijn de aardgastanks veelal aan het chassis bevestigd. Bij bussen bevinden de gastanks zich in een dakopbouw boven op de bus (zie afbeelding 7.2), de totale hoeveelheid brandstof is

maximaal 1700 liter. De plaatsing en bevestiging van de gevulde gastanks moet zodanig zijn dat gespecificeerde versnellingen en vertragingen in de rijrichting en loodrecht daarop door de gastanks kunnen worden geabsorbeerd, zonder het optreden van schade. In het algemeen zijn de tanks voldoende bestand tegen mechanische impacts, zoals bij een aanrijding (botsing met een ander voertuig en/of voorwerp).



Afbeelding 7.2 CNG-tanks op het dak van een bus

CNG wordt via leidingen van edelstaal naar de drukregelaar in de motorruimte geleid. Daar wordt de druk gereduceerd naar de voor de motor vereiste druk. Daarna wordt het gas voor de verbranding naar de motor geleid. Als de aardgastanks in het voertuig zelf zijn ingebouwd, beschikken de leidingen over een gasdichte mantel van kunststof om bij lekkage het gas buiten het voertuig te leiden.

Voorbeelden van personenvoertuigen met aardgasaandrijving, die in serie worden geproduceerd en af fabriek worden aangeboden, zijn:

- > Citroen C3 Bivalent
- > Fiat Doblo Natural Power
- > Ford C-Max CNG
- > Mercedes Benz B-klasse NGT (Natural Gas Technology)
- > Mercedes Benz Econic NGT LKW
- > Opel Zafira CNG
- > Volvo S60 Bi-fuel
- > Volkswagen Touran Ecofuel.

Het achteraf inbouwen van aardgasinstallaties komt ook voor.²³

²³ Net zoals bij LPG geldt ook hier: na het achteraf inbouwen van een aardgasinstallatie moet het voertuig ter keuring aangeboden worden bij de RDW, waarna de brandstofcode op het kentekenbewijs (kentekencard) en in het kentekenregister gewijzigd wordt.



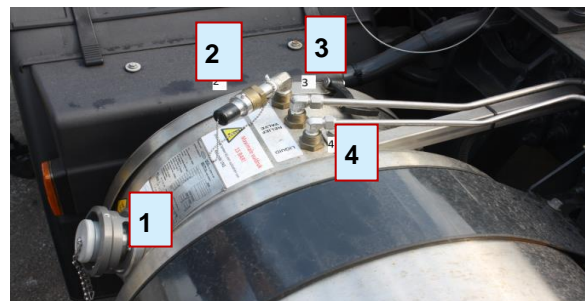
Afbeelding 7.3 Personenvoertuig op aardgas, Volkswagen Touran Ecofuel en later ingebouwd in de kofferruimte

7.2.2 LNG

Brandstoftanks voor LNG zijn dubbelwandige, goed geïsoleerde vaten (soort 'thermosfles'), waarin LNG als vloeibare fase wordt opgeslagen. Voor zo'n koude thermosfles is het normaal dat de temperatuur langzaam oploopt, waardoor de inhoud langzaam opwarmt en dus verdampt. Dit verdampen zorgt dat de druk langzaam oploopt in het vat. LNG-brandstoftanks kunnen drukken van 6-24 bar weerstaan, het zijn dus tegelijkertijd ook drukhouders.

Het verdampen van de vloeibare fase kost energie, waardoor de vloeibare fase weer afkoelt en 'koudkookt'. Dit natuurlijke proces wordt gebruikt om de inhoud op de lage temperatuur te houden. Via de afblaasveiligheid wordt dan een kleine hoeveelheid LNG afgeblazen, dit wordt boil-off-gas (BOG) genoemd. Als een voertuig stilstaat, wordt geen brandstof verbruikt en loopt de temperatuur langzaam op. Na maximaal drie weken stilstand (maar vaak al na een paar dagen) is de druk zo ver opgelopen dat de tank gedurende korte tijd zal afblazen. Het afblazen van BOG is dus geen incident!

Op de weg maken alleen vrachtwagens en bussen gebruik van LNG als brandstof. De inhoud van een brandstoftank is maximaal 1500 liter vloeibaar LNG (= ±750 kg). Tanks zijn vaak geplaatst aan de zijkant van de vrachtwagen of geheel ingebouwd tussen de voor- en achteras van de trekker. De tanks zijn voorzien van afblaasveiligheden, zowel direct op de tank als via een afblaasleiding bovenin bij de spoiler.



Afbeelding 7.4 LNG-brandstoftank: rechts bij 1: aansluiting voor LNG-slang (tanken); 2: drukontlasting voor tanken; 3: leiding richting afblaaspijp; 4: leiding richting motor

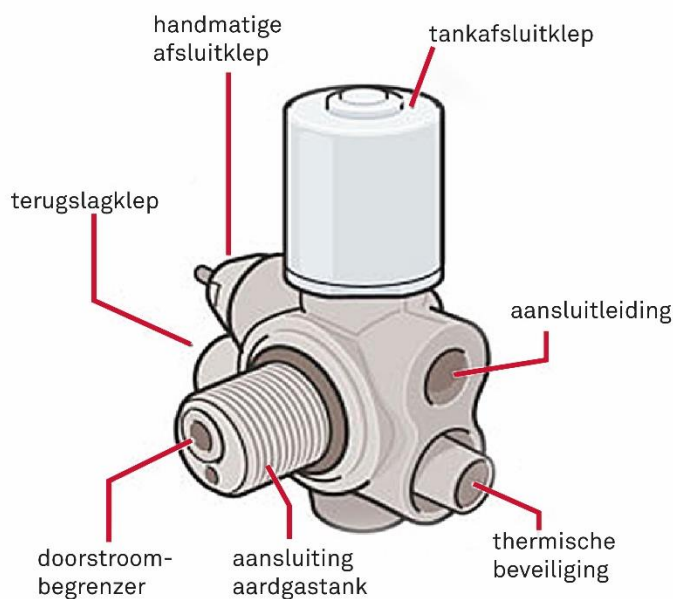
7.3 Veiligheidsvoorzieningen van de aardgasinstallatie

Door veiligheidsvoorzieningen worden de specifieke gevaren van aandrijving door aardgas gereduceerd. Met het oog op een mogelijke inzet blijft het echter belangrijk te weten waar de grenzen van deze veiligheidsvoorzieningen liggen. In hoofdstuk 5 is de werking van de verschillende veiligheidsvoorzieningen besproken en tabel 5.2 laat zien welke voorziening bij welk type brandstof wordt toegepast.

CNG

Op iedere CNG-tank bevindt zich een veiligheidsklep met diverse veiligheidsfuncties:

- > elektromagnetische afsluitklep
- > doorstroombegrenzer
- > thermische beveiliging
- > overdrukmembraan
- > mechanische afsluitklep.



Figuur 7.5 Een voorbeeld van gecombineerde veiligheidsvoorzieningen van een CNG-tank

Bovendien is het zeer onwaarschijnlijk dat de gastanks van voertuigen met aardgasaandrijving zo beschadigd raken dat lekkage optreedt, in tegenstelling tot de gasleidingen. Diverse crashtests hebben aangetoond dat de tanks uitermate veilig en stabiel zijn (zoals de EuroNCAP-crashtest van de Zafira CNG ecoFLEX in 2009).

Specifiek bij bussen

Brand vormt ook bij bussen die op CNG of biogas rijden een belangrijk gevaar. Bij incidentbestrijding is het vooral belangrijk om de brandende bus te blussen en zo mogelijk de gastanks te koelen, voordat de tanks worden verhit en er onverbrand gas uitstroomt. Om bezwijken van de gastanks te voorkomen, treedt namelijk de overdrukbeveiliging boven 590 °C in werking. De afblaasrichting is omhoog of omlaag. Het uitstromende gas kan vervolgens worden ontstoken door bijvoorbeeld de brandende bus, met als mogelijk resultaat een fakkel van 15 tot 20 meter. Afhankelijk van de richting van de fakkel en de bebouwing in de omgeving levert dit meer of minder gevaar op.

Naar aanleiding van een onderzoek naar de brand van de CNG-bus bij Wassenaar (in 2012) zijn voorstellen gedaan voor de richting waarin brandbaar gas vanuit een veiligheidsvoorziening wordt afgeblazen. Deze eisen zijn vergelijkbaar met die voor waterstofvoertuigen.

- > Niet afblazen richting elektrische componenten of andere ontstekingsbronnen.
- > Niet afblazen in, of richting het passagierscompartiment en de bagageruimte.
- > Niet afblazen richting een klasse 0 (hoge druk) component.
- > Niet afblazen richting de voorkant, de zijkanten of de achterkant van het voertuig. Oftewel: alleen naar de grond of naar de lucht. Afhankelijk van de richting van de fakkel en de bebouwing in de omgeving levert dit meer of minder gevaar op.
- > Afblazen in een atmosferische uitloop die buiten het voertuig aflaat, als de gastanks binnen het voertuig zijn geplaatst.

LNG

LNG-brandstoftanks zijn voorzien van:

- > zeer goede isolatie
- > elektromagnetische afsluitklep
- > mechanische afsluitklep
- > thermische beveiliging
- > overdrukbeveiliging
- > vulbegrenzer.

7.4 Tanken

CNG

CNG kan geproduceerd worden door aardgas uit het distributienet samen te persen. Aardgas komt met 8 of 40 bar vanaf distributienet bij tankinstallatie binnen en wordt in een compressorruimte samengeperst in drukhouders waarmee een buffer opgebouwd wordt. Deze drukhouders zijn vergelijkbaar met de gastanks in een voertuig en hebben dezelfde veiligheidsvoorzieningen.

CNG wordt ook geproduceerd in combinatie met een LNG-vulinstallatie/tankstation. Het verdampende gas wordt afgevangen en samengeperst tot CNG.

Een vulstation bestaat minimaal uit een bedieningsruimte, compressorruimte, buffer en tankstation en is meestal overdekt. Omdat gas zich daar op kan hopen is gasdetectie aanwezig; als gas wordt gedetecteerd schakelt de installatie schakelt direct uit. Ook zijn diverse noodstoppen aanwezig, indrukken zorgt voor:

- > spanningsloos maken van het vulstation, uitgezonderd de mechanische, explosieveilige ventilator
- > blokkeren transport aardgas door de installatie
- > blokkeren toevoer van aardgas naar een voertuig aan het begin van de slang bij het tanken.

LNG

Het tanken van LNG vindt plaats via een afleverzuil, zoals ook gebruikelijk is voor andere brandstoffen. De rood-oranje afleverslang (zie afbeelding 7.6) wordt aangekoppeld aan de inlaat van de brandstoftank, waarna LNG verpompt kan worden naar de brandstoftank. De grijze slang wordt aangekoppeld om de damp terug te leiden in de installatie, de zogenaamde dampretour.



Afbeelding 7.6 Het tanken van LNG

7.5 Bronnen

- > Moditech Rescue Solutions (2011). *Technische hulpverlening bij ongevallen met alternatief aangedreven voertuigen*. Hoogwoud: Moditech.
- > Publicatiereeks Gevaarlijke stoffen, www.publicatiereeksgevaarlijkestoffen.nl
- > Regio15, *Aardgas in brand Wittenburgersweg*, <http://www.regio15.nl/actueel/lijst-weergave/20-branden/13972-aardgasbus-in-brand-wittenburgerweg>
- > Universiteit Twente, <http://technotheek.utwente.nl/wiki/>

8 Waterstof

Waterstof (H₂) wordt vooral als brandstof gebruikt in verbrandingsmotoren van (hybride) voertuigen, bussen, boten, scooters en karts. Waterstof is namelijk net als elektriciteit een zeer geschikte energiedrager. Vanuit de opgeslagen vorm is waterstof gemakkelijk weer om te zetten naar andere energievormen, zoals warmte en elektriciteit. De verbranding van waterstof levert energie en water op en er ontstaan geen ongewenste restproducten.

Er zijn twee mogelijkheden om een voertuig met behulp van waterstof aan te drijven.

- > Type 1. De opgeslagen waterstof wordt gebruikt als brandstof voor de verbrandingsmotor, vergelijkbaar met LPG, CNG en LNG.
- > Type 2. Met behulp van waterstof wordt in een brandstofcel elektrische stroom voor een elektromotor gegenereerd. In de brandstofcel reageert waterstof met zuurstof volgens een elektrochemisch proces. Hierbij ontstaat elektriciteit, waarmee een elektromotor kan worden aangedreven. Net als in hybride voertuigen wordt een accupakket ingezet om de opgewekte energie in op te slaan. Het accupakket dient als energiereserve voor perioden waarin veel vermogen wordt gevraagd en om overtollige energie tijdelijk op te slaan.

Bij beide soorten aandrijvingen is het enige restproduct waterdamp.

Bij type 1 zijn de gevaren en scenario's vergelijkbaar met die voor de andere brandbare gassen. Bij type 2 zijn zowel de gevaren en scenario's van de brandbare gassen als die van de aandrijving door hoog voltage-accupakketten relevant.

Waterstofbrandstofcellen worden beschouwd als een manier om in de toekomst goedkoop en milieuvriendelijk elektrische energie te produceren.

Zie voor aanvullende informatie over waterstof bijlage 3.

8.1 Kenmerken waterstof

Waterstof kan, net als aardgas, op twee verschillende manieren worden opgeslagen en vervoerd:

- > samengeperst in een drukhouder als Waterstof Druk Opslag (WDO of GH₂ = gaseous hydrogen)
- > vloeibaar gemaakt door koude in een dubbelwandig geïsoleerd vat als vloeibare waterstof opslag (VWO of LH₂ = liquid hydrogen).

In beide gevallen gaat het dus om het brandbare gas, waterstof.

Bij WDO wordt waterstof in stalen of CFK gastanks²⁴ opgeslagen. De gebruikte technieken en veiligheidsvoorzieningen zijn vergelijkbaar met die van voertuigen aangedreven door CNG. Om voldoende waterstof mee te kunnen nemen, wordt met drukken tot 700 bar gewerkt. Bij VWO wordt waterstof in zogenaamde cryogeentanks bij -253 °C in vloeibare

²⁴ Carbon tanks/glasvezel versterkte kunstoftanks.

vorm opgeslagen. Hiervoor worden speciale dubbelwandige en geïsoleerde tanks²⁵ gebruikt, waarin waterstof zonder externe koeling opgeslagen wordt.

Tabel 8.1 geeft een overzicht van een aantal relevante kenmerken van waterstof.

Tabel 8.1 Kenmerken waterstof

	WDO	VWO
Andere benaming	Waterstof Druk Opslag, gaseous hydrogen	Vloeibare Waterstof Opslag, liquid hydrogen
Behuizing	Stalen tanks, werkdruk 350 en 700 bar, inhoud 86 liter (< 6 kg)	Dubbelwandige geïsoleerde vaten, - 253 °C
Fysische eigenschappen	<ul style="list-style-type: none"> > Bij 20 °C, 1 atm: lichter dan lucht (rel. dichtheid: 0,07) > Kookpunt: -162 °C > Kleurloos en reukloos > Expansiefactor bij vrijkomen: 845 	
Explosie/brandgevaar	<ul style="list-style-type: none"> > Onderste explosiegrens 4,0 vol.% > Bovenste explosiegrens 77 vol.% > Min. ontstekingsenergie: 0,011 mJ > Zelfontbrandingstemperatuur: 500 °C 	
Etikettering	<ul style="list-style-type: none"> > GEVI 23, UN 1049 > ADR-klasse 3 	

In tabel 4.12 zijn de scenario's beschreven voor brandbare gassen met de bijbehorende gevaren en het handelingsperspectief. Het scenario koudgekookte plas is niet relevant voor WDO. Het scenario BLEVE is minder waarschijnlijk voor VWO.

8.1.1 Gevaren

Er zijn een aantal relevante gevaren van waterstof.

- > Het is een zeer licht ontvlambaar gas, met een zeer ruim explosiegebied van 4 tot 77 volumepercent.
- > Het brandt praktisch onzichtbaar.
- > Het is bij omgevingscondities niet zichtbaar, niet ruikbaar en niet proefbaar.
- > De temperatuur in de waterstofvlam kan oplopen tot 2700 °C in een zuurstofatmosfeer.
- > De minimale ontstekingsenergie van 0,02 mJ is erg laag.
- > Waterstofmoleculen zijn zeer klein en kunnen vrijkomen via minuscule openingen.
- > De diffusiecoëfficiënt in lucht is relatief groot.
- > Vloeibare waterstof is een cryogeen gas. Hiervoor gelden dezelfde gevaren als die besproken zijn voor cryogeen LNG, dus zeer snelle verdamping, bevroeringsgevaar, verbrossing materialen, mogelijk op afstand ontsteken, et cetera (zie paragraaf 7.1).

Bovendien maken de fysische eigenschappen van waterstof (een bijna onzichtbare vlam en geen reuk) herkenning van een waterstoflekkage zeer moeilijk. De inzet van een warmtebeeldcamera of CO-meter (in het ppm-bereik, kruisgevoelig) kan zinvol zijn. Bij grotere hoeveelheid zal ook de LEL-cel reageren. Let ook op gasconcentraties in holle ruimten van het voertuig.

²⁵ Bij de BMW Hydrogen 7 komt deze 3 centimeter dikke isolatie overeen met een styropor (piepschuim) isolatie van 17 centimeter dik (ter illustratie: een sneeuwpop zou in de tank pas na 13 jaar compleet gesmolten zijn).

8.2 Aandrijving

8.2.1 Personenvoertuigen

De serieproductie van personenvoertuigen met waterstofaandrijving staat in 2016 nog in de kinderschoenen. Enkele voorbeelden van personenvoertuigen met waterstofaandrijving zijn:

- > BMW Hydrogen 7 (type 1)
- > Hyundai iX35 (type 2)
- > GM Hydrogen 4 (type 2)
- > Honda FCX Clarity (type 2).

Een brandstofcelvoertuig heeft een tank met waterstof (< 6 kg, maar door de lage dichtheid van waterstof toch zo'n 80 liter) aan boord. In de brandstofcel of fuel cell wordt onderweg stroom opgewekt, die op zijn beurt weer voor de aandrijving zorgt. Een beetje zuurstof uit de lucht is het enige dat daarvoor nodig is. De brandstofcel levert stroom door een reactie tussen waterstof en zuurstof, waarbij water ontstaat.

8.2.2 Bussen en bedrijfswagens

Bussen en bedrijfswagens zijn uitermate geschikt om brandstofcellen te testen, ze rijden namelijk vaak zeven dagen per week. Op deze manier kunnen gegevens over duurverbruik verzameld worden. Het aantal testvoertuigen neemt steeds meer toe. In Amsterdam-Noord rijden bussen op waterstof, het expeditiebedrijf UPS heeft een aantal bedrijfswagens met waterstof.

Risico's bussen op waterstof

In Nederland rijden enkele bussen op waterstof. Er wordt vloeibaar gemaakt waterstof getankt, die vervolgens verdampt in de motor en zorgt voor de aandrijving. Deze bussen hebben drie tot vijf tanks op het dak. Het risico van een waterstofbus wordt gevormd door de tanks, met daarin het vloeibaar gemaakte waterstof. De plaatsing en bevestiging van de gevulde gastanks moet zodanig zijn dat gespecificeerde versnellingen en vertragingen in de rijrichting en loodrecht daarop door de gastanks kunnen worden geabsorbeerd, zonder het optreden van schade. In het algemeen zijn de tanks voldoende bestand tegen mechanische impacts, zoals bij een aanrijding (botsing met een ander voertuig en/of voorwerp).

8.3 Veiligheidsvoorzieningen waterstofaandrijving

Door veiligheidsvoorzieningen worden de specifieke gevaren van aandrijving door waterstof gereduceerd. Met het oog op een mogelijke inzet blijft het echter belangrijk te weten waar de grenzen van deze veiligheidsvoorzieningen liggen. In hoofdstuk 5 is de werking van de verschillende veiligheidsvoorzieningen besproken en tabel 5.2 laat zien welke voorziening bij welk type brandstof wordt toegepast.

Het ruime explosiegebied is voor waterstof een extra aandachtspunt. Vanwege de lichte ontvlambaarheid is het goed mogelijk, dat waterstof na menging met lucht ter plaatse van de afblaasleiding ontbrandt. Afblaasleidingen worden bij waterstofvoertuigen via de carrosseriestijlen naar het dak van het voertuig (hoogste gedeelte van het voertuig) geleid.

De veiligheidsvoorzieningen zijn onderverdeeld in voorzieningen voor (waterstof)tanks en brandstofcelvoertuigen.

1. De veiligheidsvoorzieningen van waterstoftanks zijn vergelijkbaar met die van aardgas (LNG, CNG) en LPG-voertuigen. Bij een ontoelaatbaar hoge druk of temperatuur zorgt de thermische of drukbeveiliging dat er gecontroleerd afgeblazen wordt naar de open lucht.

2. De veiligheidssystemen van het hoog voltagesysteem van een brandstofcelvoertuig zijn vergelijkbaar met die van hybride en elektrische voertuigen. Beveiligingsrelais bevinden zich bij voertuigen met brandstofcellen niet alleen bij de hoog voltage-accupakketten, maar ook bij de brandstofcel. Het opwekken van stroom in de brandstofcel wordt daardoor, na onderbreken van de waterstoftoevoer, ook onderbroken.

Specifiek bij bussen

Voor waterstofbussen geldt hetzelfde als voor bussen die op CNG of biogas rijden. Dus een brandende bus zo snel mogelijk blussen en zo mogelijk de gastanks koelen. Ook deze tanks hebben een overdrukbeveiliging die boven 590 °C in werking treedt, met de afblaasrichting omhoog of omlaag. Bij waterstofbussen bestaat de mogelijkheid om de gastoevoer handmatig te stoppen door het bedienen van de afsluiters op het dak.

8.4 Tanken

De wijze waarop het voertuig in de toekomst waterstof gaat tanken, is nog in ontwikkeling. Het kan in een (al dan niet openbaar) tankstation, of met behulp van flessen waterstof. Halverwege 2016 kan er in Nederland op twee locaties waterstof worden getankt voor voertuigen, namelijk in Rhoon en in Helmond.

Het tankstation kan op verschillende manieren bevoorrad worden met waterstof. Zo is voorstelbaar dat de grote tankstations aan de snelwegen voorzien worden door middel van een waterstofbuisleiding, terwijl kleinere stations op locatie waterstof maken uit aardgas, of door middel van elektrolyse. Ook is het mogelijk dat tankstations bevoorrad worden met tankwagens die vloeibare waterstof bevatten.

Typische drukken voor gasvormige opslag van waterstof zijn 350 bar en 700 bar (de twee waterstoftankstations in Nederland zijn zowel uitgerust voor tanken van waterstof op 350 bar als op 700 bar). Met het verbruik van waterstof uit de voertuigtank(s) zal de druk in de tank(s) afnemen tot een druk waarbij het systeem niet meer kan functioneren. Door het toevoeren van waterstof kan de tank weer op druk gebracht worden.



Afbeelding 8.2 Waterstoftankstation

Berekeningen door het RIVM aan een fictief waterstoftankstation hebben aangetoond dat de te hanteren veiligheidsafstanden voor een waterstoftankstation vergelijkbaar zijn met de afstanden voor een benzine-, diesel- en CNG-tankstation en kleiner dan voor een LPG-tankstation. Zo nodig zal per situatie de veiligheidsafstand vastgesteld moeten worden. Alle inrichtingen waar waterstof wordt afgeleverd, zijn vergunningplichtig op grond van de Wet algemene bepalingen omgevingsrecht (Wabo). Afhankelijk van de hoeveelheid opgeslagen waterstof kan het Besluit externe veiligheid inrichtingen (Bevi) van toepassing zijn. Het Bevi verplicht de uitvoering van een kwantitatieve risicoanalyse (QRA) om inzicht te krijgen in de risico's voor de omgeving.

Voor waterstoftankstations is verder de NPR 8099 beschikbaar. In deze Nederlandse richtlijn zijn praktijkregels opgenomen voor de realisatie van (nieuw te bouwen) waterstoftankstations, inclusief het onderhoud en het beheer ervan, toegespitst op de Nederlandse situatie. De NPR 8099 geeft een overzicht van de wet- en regelgeving met betrekking tot de veiligheid van personen en bescherming van het milieu. Afhankelijk van de situatie (onder andere de aanwezige hoeveelheid waterstof en de wijze van opslag), kan het bevoegd gezag door middel van een vergunning specifieke eisen stellen aan de installatie.

8.5 Bronnen

- > Brandweer Amsterdam-Amstelland, *Handreiking voor optreden tijdens incidenten met waterstoftoepassingen*.
- > ECN (2006). *Waterstof op weg naar de praktijk*.
- > e-Traction Europe b.v. (2011). *Informatie meldkamer. Breng waterstofbus met wagenparknummer 8197*.
- > Kiwa (2011). *Inventarisatie risico's rijden met waterstofvoertuigen*. Apeldoorn: Kiwa Gas.
- > Moditech Rescue Solutions (2011). *Technische hulpverlening bij ongevallen met alternatief aangedreven voertuigen*. Hoogwoud: Moditech.
- > Praktijk Richtlijn voor waterstoftankstations (NPR 8099:2010).
- > Publicatiereeks Gevaarlijke stoffen, www.publicatiereeksgevaarlijkestoffen.nl
- > Universiteit Twente, <http://technotheek.utwente.nl/wiki/>
- > Waterstofvereniging, www.waterstofvereniging.nl
- > Zerauto, www.zerauto.nl.

9 Hoog voltage-accupakketten

Elektrische en hybridevoertuigen bevatten een hoog voltagecircuit met daarin een accupakket. Vooral de opstelling van het hoog voltage-accupakket is heel belangrijk. Dit moet op een locatie die zo botsveilig mogelijk is en daarnaast gunstig is voor het zwaartepunt. De officieel geïnstalleerde componenten van de hybride en elektrische aandrijfsystemen bevinden zich op beschermde locaties in het voertuig (zie ook hoofdstuk 5). De zwaarte van het accupakket bepaalt hoe ver er elektrisch kan worden gereden. Afhankelijk van de actieradius kan het gewicht van het accupakket wel goed zijn voor 20 procent van het totale voertuiggewicht! Extra verstevigingen in het chassis en de carrosserie moeten deformatie van het accupakket zien te voorkomen.

Het voltage in hybride en elektrische voertuigen kan afhankelijk van het type voertuig oplopen tot meer dan 650 V. Het hoog voltage-accupakket levert gelijkstroom, die door de spanningsomvormer wordt omgezet in wisselstroom voor de elektromotor (DC/AC omvormer). Gelijktijdig zorgt een andere spanningsomvormer voor 12 V spanning voor het boordnet.

9.1 Kenmerken hoog voltage-accupakketten

Bij de meeste voertuigen worden nikkel-metaal-hydride (NiMH) of lithium-ion (Li-ion) accupakketten toegepast. In zo'n accupakket is een veelvoud van oplaadbare elektrochemische cellen in serie geschakeld om het noodzakelijke voltage te bereiken.

9.2 Aandrijving

9.2.1 Elektrische aandrijving

Bij een voertuig (personenvoertuigen, bedrijfswagens, bussen) met elektrische aandrijving wordt de aandrijving uitsluitend door een elektromotor verzorgd. Deze wordt meestal van stroom voorzien door een ingebouwd hoog voltage-accupakket²⁶ dat, via één of meerdere stekkers kan worden opgeladen met behulp van het elektriciteitsnet. Voorbeelden van personenvoertuigen met elektrische aandrijving zijn:

- > Nissan Leaf
- > Mitsubishi i-MiEV
- > Peugeot ION
- > Citroen Z-Zero
- > Smart EV
- > Think City.

²⁶ Het voltage van een hoog voltage-accupakket varieert van 100 tot 600 V: een personenvoertuig van 100 tot 400 volt en een vrachtwagen 400 tot 600 V.



Afbeelding 9.1 Smart electric drive, elektrische aandrijving

Het voertuig in afbeelding 9.2 is een VDL Citea SLF-120 Electric, een 12 meter lange stadsbus voorzien van wielnaafmotoren en een hoog voltage-accupakket. Hiermee is het voertuig in staat volledig elektrisch te rijden.



Afbeelding 9.2 VDL Citea SLF-120 Electric

Het streven van Plan van Aanpak Elektrisch Rijden is om in 2025 1 miljoen elektrische voertuigen op de weg te hebben. Halverwege 2016 is dit aantal 96.692 (Rijksdienst voor Ondernemend Nederland, 2016).

9.2.2 Hybride aandrijving

De in serie geproduceerde hybride voertuigen combineren de klassieke verbrandingsmotor (met brandstoftank) met een elektromotor/generator en een hoog voltage-accupakket als energieopslag.

Full hybride

Tijdens het optrekken en rijden met lage snelheid wordt de elektromotor benut, mits het hoog voltage-accupakket voldoende is opgeladen. De verbrandingsmotor is daarbij niet nodig. Geluidsproductie en uitstoot van uitlaatgassen worden hierdoor gereduceerd. Na het bereiken van een bepaalde snelheid komt de elektromotor aan zijn limiet. Bij constante snelheid is de verbrandingsmotor efficiënter. Hij neemt dan de energievoorziening over en drijft het voertuig aan. Als er plotseling geaccelereerd moet worden werken beide motoren automatisch samen. Overtollige energie wordt opgeslagen in het hoog voltage-accupakket. Tijdens afremmen of bergafwaarts rijden is geen aandrijfenergie nodig. Er wordt zelfs bewegingsenergie opgebouwd. Bij een normaal personenvoertuig gaat al deze energie verloren. Bij een hybride voertuig functioneert de elektromotor in deze gevallen als generator. De vrijgekomen energie wordt benut om het hoog voltage-accupakket op te laden (recupereren). Wanneer het energieniveau in een hoog voltage-accupakket laag wordt, is het ook mogelijk door middel van toerentalverhoging van de verbrandingsmotor via de generator het hoog voltage-accupakket weer op te laden (loadpoint shift). Enkele voorbeelden van full hybrid personenvoertuigen zijn:

- > Toyota Prius
- > Lexus RX450h
- > Volkswagen Touareg Hybrid.



Afbeelding 9.3 Volkswagen Touareg Hybrid, full hybride

Er zijn tegenwoordig ook hybride vrachtwagens en bussen op de weg, bijvoorbeeld de Volvo FE Hybrid.



Afbeelding 9.4 Volvo Hybrid identificatie

Microhybride

Een hybride voertuig is in principe te herkennen aan de twee verschillende aandrijfbronnen. Dit is bij een microhybride niet het geval. Microhybride personenvoertuigen beschikken over een start-stop-mechanisme en een systeem voor het terug winnen van remenergie om de startaccu of startcondensator op te laden. Onder de categorie microhybride personenvoertuigen vallen de BlueMotion versies van Volkswagen en de Ecoflex modellen van Opel.

Milde hybride

Bij een milde hybride wordt de verbrandingsmotor benut als prestatieverhoger voor de elektromotor. Hierdoor is bijvoorbeeld inbouw van een kleinere en energiebesparende motor mogelijk. De energie die vrijkomt tijdens afremmen kan gedeeltelijk benut worden.

Voorbeelden van milde hybride personenvoertuigen zijn:

- > BMW ActiveHybrid 7
- > Honda Civic IMA
- > Mercedes Benz S400 Hybrid.



Afbeelding 9.5 Chevrolet Silverado Hybrid, milde hybride

Plug-in hybride

Een verdere uitbreiding betreft plug-in hybride personenvoertuigen (PHV), waarbij het hoog voltage-accupakket niet meer uitsluitend door de verbrandingsmotor, maar ook via het elektriciteitsnet opgeladen kan worden. Deze personenvoertuigen beschikken over een laadaansluiting waarmee het voertuig aan een laadstation aangesloten kan worden. Een voorbeeld van de plug-in hybride is de Toyota Prius PHV en de Mitsubishi Outlander PHEV (halverwege 2016 het meest geregistreerde plug-in hybride model met 24.703 geregistreerde voertuigen).



Afbeelding 9.6 Toyota Prius PHV, plug-in hybride

9.2.3 Elektrische aandrijving met range-extender

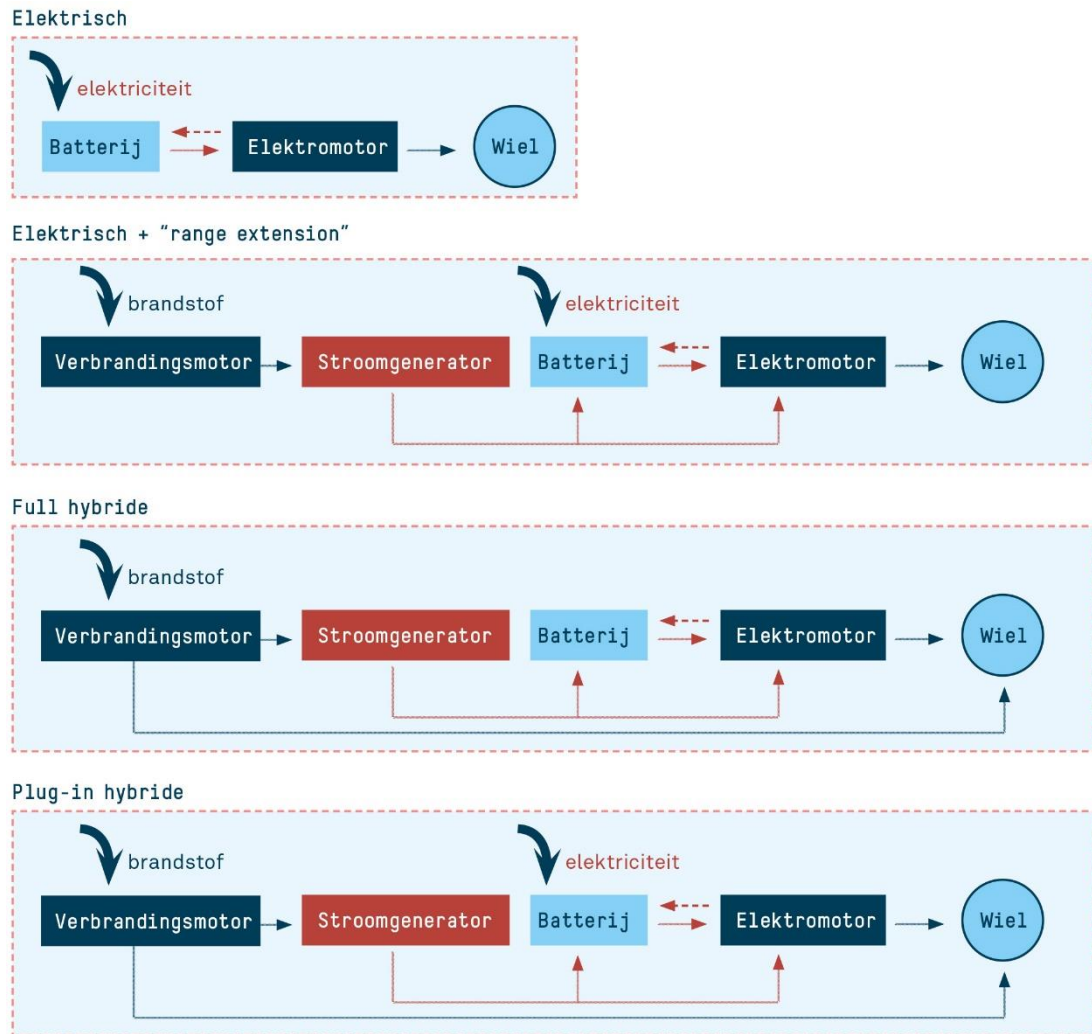
Een bijzondere variant van elektrische personenvoertuigen zijn voertuigen die uitgerust zijn met een zogenaamde range-extender. De aandrijving van deze voertuigen wordt uitsluitend door een elektromotor met een hoog voltage-accupakket verzorgd. Zodra de accu leeg raakt, start een ingebouwde verbrandingsmotor (benzine), die met behulp van een generator stroom levert aan de elektromotor. Het ingebouwde hoog voltage-accupakket wordt opgeladen via een stekker die aangesloten is op het elektriciteitsnet. Voorbeelden van elektrische personenvoertuigen die uitgerust zijn met een range-extender:

- > Opel Ampera
- > Chevrolet Volt.



Afbeelding 9.7 Chevrolet Volt, elektrisch personenvoertuig met range-extender

Zie voor een schematisch overzicht van de verschillende vormen elektrisch en hybride aandrijvingen figuur 9.8.



Figuur 9.8 Verschillende vormen van elektrisch en hybride aandrijvingen

9.3 Veiligheidsvoorzieningen hybride en elektrische aandrijving

De veiligheidsvoorzieningen staan beschreven in paragraaf 5.3. De volgende veiligheidsvoorzieningen worden toegepast:

- > beschermde locatie van kwetsbare componenten
- > waarschuwingsstickers
- > bescherming tegen aanraken
- > scheiding tussen hoog voltagecircuit en 12 V boordnet
- > Hoog voltage-Interlock systeem
- > ontlaadschakelingen voor het hoog voltagecircuit
- > onderhoudstekker.

9.4 'Tanken' ofwel opladen

9.4.1 Opladen van elektrisch aangedreven voertuigen (algemeen)

Elektrische voertuigen hebben een oplader aan boord. Hierdoor kunnen hoog voltage-accupakketten op iedere locatie waar een stopcontact beschikbaar is, opgeladen worden. Dit kan een stopcontact thuis zijn, maar ook een stopcontact in speciale oplaadpalen of -wandboxen, die in toenemende mate in heel Nederland geplaatst worden. Oplaadpalen en -boxen vereisen dat de bestuurder een laadkabel heeft om de stroom van het elektriciteitsnet naar het voertuig te geleiden. Deze vorm van opladen, door middel van de verbinding (contact) tussen kabel en stekker, heet conductief opladen.

Door heel Nederland worden oplaadpalen en -boxen geplaatst, zowel op publiek, semipubliek als privéterrein. Verschillende navigatiesystemen hebben de openbare locaties al in hun programma opgenomen. Ook zijn er websites en apps beschikbaar om de locatie op te zoeken. Een paar voorbeelden zijn: www.oplaadpalen.nl en www.stekkerweb.nl. Rapporten geven aan dat er per elektrisch voertuig circa 2,5 oplaadpunt nodig is. Het aantal publieke, semi-publieke en snellaadpalen ligt halverwege 2016 in Nederland op ongeveer 24.000 laadpalen (Rijksdienst voor Ondernemend Nederland, 2016). Dit aantal is exclusief het aantal private laadpalen, eind 2015 werd dit aantal geschat op 55.000.

Steeds meer elektronische apparatuur (denk aan mobiele telefoons en tandenborstels) wordt draadloos, of inductief opgeladen. Ook voor elektrische voertuigen zijn de mogelijkheden van inductief opladen onderzocht en wordt er veel geëxperimenteerd. In Italië rijden al enige jaren inductief opgeladen bussen rond en tegenwoordig rijden deze ook in Nederland (bijvoorbeeld Utrecht en Den Bosch).

Een geheel andere manier van opladen is het (automatisch) verwisselen van de accupakketten in accuwisselstations. De elektrisch aangedreven voertuigen van het merk Renault maken hier gebruik van. Bijlage 4 geeft uitgebreide informatie over de oplaadmogelijkheden en de bijbehorende risico's.

9.4.2 Laadpalen en maximale capaciteit

De elektrische risico's van een laadpaal zijn vergelijkbaar met die van een meterkast in een woning. De laadpaal wordt gevoed met één fase (230 V) of krachtsroom (400 V) en is gezekeerd op 25 of 40 ampère. Net als een woning wordt de laadpaal meestal gevoed vanuit een verdeelkast van de netbeheerder. De voeding kan alleen uitgeschakeld worden door de netbeheerder.

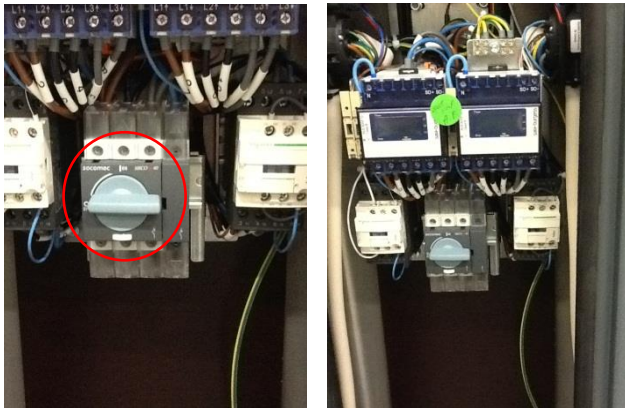
Bij reddend optreden is het geoorloofd om slachtoffers of delen onder laagspanning aan te raken, mits de hulpverlener zijn reguliere persoonlijke beschermingsmiddelen gebruikt (handschoenen en laarzen) en de PBM's droog zijn. Het is niet geoorloofd een dergelijk risico te nemen bij blussen of bergen. Indirect contact met laagspanning via bluswater levert geen risico op.

In parkeergarages

Laadpalen moeten gezekeerd zijn volgens NEN 1010 (overbelastingsbeveiliging). Hoe de palen zijn verspreid of geclusterd in een garage doet niet ter zake: ze maken allemaal onderdeel uit van één en hetzelfde laagspanningscircuit. Laadpalen vormen lang niet altijd een zelfstandig centraal stroomcircuit, er kunnen ook andere systemen aan hetzelfde circuit zijn gekoppeld. Zomaar een hoofdschakelaar of neon-schakelaar omzetten gaat niet, de stroom in het hele gebouw of van de straatverlichting (rond de parkeergarage) kan dan ook uitvallen.

9.4.3 Veiligheid van het laadpunt

Bij de toegang tot het laadpunt zit een werkschakelaar waarmee het laadgedeelte spanningsloos gemaakt kan worden. Deze mogelijkheid is altijd beschikbaar zodra (eventueel geforceerd) toegang tot het laadpunt is verschaft. Bovendien kunnen de laadstations in bijvoorbeeld een parkeergarage worden losgekoppeld via een relais geplaatst in de brandmeldinstallatie.



Afbeelding 9.9 Werkschakelaar

Een gevaarlijke situatie kan op het openbare terrein ontstaan na een (forse) aanrijding met de laadpunt. Hier kan de paal (zeer) scheef komen te staan of wordt deze volledig plat gereden. De kabel kan vóór de hoofdzekering bloot komen te liggen. Het is niet zomaar mogelijk om de spanning vóór de meter uit te schakelen. De voeding voor de meter is afschakelbaar in een verdeelrichting die alleen bereikbaar is voor de netbeheerder. Wanneer hulpinstanties deze situatie treffen, zal de netbeheerder ingeschakeld moeten worden. Alleen de netbeheerder kan dat gedeelte spanningsvrij maken (net als bij een woning).²⁷ Er bestaan echter geen landelijke richtlijnen, de NEN1010 heeft geen aanvullende eisen.

Roep daarom altijd de beheerder van de laadpalen ter plaatse via de helpdesk (zie telefoonnummer op de palen). De netbeheerder kan de spoedprocedure te starten, zodat het laadpunt binnen 30 minuten ontkoppeld wordt en dus volledig spanningsvrij is.

Voor de hulpverleningsdiensten is het aan te bevelen om met de netbeheerder in de regio afspraken te maken over dit spoedproces om in noodsituaties de locatie zo snel mogelijk veilig te kunnen stellen. Het laadpunt kan op de stopcontacten spanningsvrij zijn, ter hoogte van het deel van de netbeheerders is dat normaal gesproken niet het geval. De exploitant of fabrikant van een openbare laadpaal mag niet schakelen op het openbare net. Dat is aan de netbeheerder voorbehouden. In Rotterdam wordt overigens indien nodig met behulp van een neon-schakelaar het laadstation uitgeschakeld.

9.5 Bronnen

- > Adam Opel Ag/GM Alternative Propulsion Center Europe (2012). *Feuerwehreinsätze Elektrofahrzeuge*.
- > Agentschap NL (februari 2014). *Factsheet elektrische auto's en veiligheid*.

²⁷ Stichting E-laad heeft het overgrote deel van de Nederlandse openbare laadinfrastructuur gerealiseerd. Vanuit die rol en de daaruit vloeiende verantwoordelijkheden heeft Stichting E-laad de nodige processen ingericht, om bij gevaarlijke situaties adequaat te acteren.

- > Bolm, R. (30 oktober 2012). EV's en hybrides bij brand niet onveilig. *Autokompas*.
- > Fens, R. (2012). *Veiligheid laadinfrastructuur elektrische voertuigen*. Alfen BV.
- > Groen7, *Alles over laadtijden, bereik en accu's - deel 2*, <http://www.groen7.nl/alles-over-laadtijden-bereik-en-accus-deel-2/>
- > Long Jr., R.T., Blum, A.F., Bress, T.J., & Cotts, B.R.T. (2013). *Best Practices for Emergency Response to Incidents Involving Electric Vehicles Battery Hazards: A Report on Full-Scale Testing Results*. Massachusetts, Fire Protection Research Foundation.
- > Moditech Rescue Solutions (2011). *Technische hulpverlening bij ongevallen met alternatief aangedreven voertuigen*. Hoogwoud: Moditech.
- > Rijksdienst voor Ondernemend Nederland, *Cijfers elektrisch vervoer*, <http://www.rvo.nl/onderwerpen/duurzaam-ondernemen/energie-en-milieu-innovaties/elektrisch-rijden/stand-van-zaken/cijfers#>
- > Rosmuller, N. (23 september 2014). *Veiligheid voertuigen op CNG, LNG, H₂*. Presentatie gehouden tijdens bijeenkomst veiligheid elektrische voertuigen, Tiel.
- > The Fire Protection Research Foundation (2010). *Fire Fighter Safety and Emergency Response for Electric Drive and Hybrid Electric Vehicles*.
- > TNO Rapport (2013). *Plan van aanpak 'Plattegrond Veiligheid Elektrische voertuigen 2020*.
- > Toyota Synergy Drive. *Prius en veiligheid*.
- > Universiteit Twente, <http://technotheek.utwente.nl/wiki/>
- > Volvo (n.d.). *Volvo Fe Hybrid Guidance in event of accident*.
- > YouTube, *High voltage 1*, https://www.youtube.com/watch?v=RHKg_XihfRk&feature=player_embedded
- > Zerauto, *Aandrijfprincipes*, <http://91.205.33.8/Agora/index.php?pid=241>

Literatuurlijst

- > Agentschap NL (februari 2012). *Factsheet elektrische auto's en veiligheid*.
- > Adam Opel Ag/GM Alternative Propulsion Center Europe (2012). *Feuerwehreinsätze Elektrofahrzeuge*.
- > Brandweer Amsterdam-Amstelland, *Handreiking voor optreden tijdens incidenten met waterstoftoepassingen*.
- > Bevelvoerder hulpverlening, *Veiligheidsvoorzieningen in voertuigen*.
- > Bolm, R. (30 oktober 2012). EV's en hybrides bij brand niet onveilig. *Autokompas*.
- > ECN (2006). *Waterstof op weg naar de praktijk*.
- > e-Traction Europe b.v. (2011). *Informatie meldkamer. Breng waterstofbus met wagenparknummer 8197*.
- > Fens, R. (2012). *Veiligheid laadinfrastructuur elektrische voertuigen*. Alfen BV.
- > FFI Rapport (2007). *Safety aspects of large lithium batteries*. Forsvarets Forskningsinstitut.
- > Hasvold, O., Forseth, S., Johannessen, T.C & Lian, T. (2007). *Safety aspects of large lithium batteries*. Kjeller, Forsvarets Forskningsinstitut.
- > Kiwa (2011). *Inventarisatie risico's rijden met waterstofvoertuigen*. Apeldoorn: Kiwa Gas.
- > Landesfeuerwehrschule Baden-Württemberg (2011). *Einsatzhinweise für Elektrofahrzeuge*.
- > Long Jr., R.T., Blum, A.F., Bress, T.J., & Cotts, B.R.T. (2013). *Best Practices for Emergency Response to Incidents Involving Electric Vehicles Battery Hazards: A Report on Full-Scale Testing Results*. Massachusetts, Fire Protection Research Foundation.
- > Moditech Rescue Solutions (2011). *Technische hulpverlening bij ongevallen met alternatief aangedreven voertuigen*. Hoogwoud: Moditech.
- > Noordam, M. (oktober 2004). Eerste hulp bij ongevallen met elektriciteit kan in veel gevallen levensreddend zijn. *NVVK info*, 16-18.
- > Peperzeel, *Lesstof cursus Batterijen voor AGS*.
- > Praktijk Richtlijn voor waterstoftankstations (NPR 8099:2010).
- > Rosmuller, N. (23 september 2014). *Veiligheid voertuigen op CNG, LNG, H₂*. Presentatie gehouden tijdens bijeenkomst veiligheid elektrische voertuigen, Tiel.
- > SP Technical Research Institute of Sweden (2012). *Fire risks associated with batteries*.

Technology B.V.

- > Technische hulpverlening manschap a, *Verkeersongevallen met bussen.*
- > Technische hulpverlening manschap a, *Verkeersongevallen met personenauto's.*
- > Technische hulpverlening manschap a, *Verkeersongevallen met vrachtwagens.*
- > Testverslag elektrische auto 2011.
- > The Fire Protection Research Foundation (2010). *Fire Fighter Safety and Emergency Response for Electric Drive and Hybrid Electric Vehicles.*
- > The Fire Protection Research Foundation (2013). *Lithium Ion Batteries Hazard and Use Assessment, Phase IIB, Flammability Characterization of Li-ion Batteries for, Storage Protection.*
- > TNO Rapport (2013). Plan van aanpak 'Plattegrond Veiligheid Elektrische voertuigen 2020.
- > Toyota Prius Hybrid 2010 model. *Emergency Response Guide.*
- > Toyota Synergy Drive. *Prius en veiligheid.*
- > Volvo (n.d.). Volvo Fe Hybrid Guidance in event of accident.

Websites

- > Euro-codicil, www.euro-codicil.eu
- > Groen7, *Alles over laadtijden, bereik en accu's - deel 2*, <http://www.groen7.nl/alles-over-laadtijden-bereik-en-accus-deel-2/>
- > Mechanical Engineering, <http://www.mechanicalengineeringblog.com/tag/kinetic-energy-recovery-system-how-it-works/>
- > NFPA (2013). *Fire protection research foundation releases report on lithium-ion batteries*, <http://www.nfpa.org/press-room/news-releases/2013/fire-protection-research-foundation-releases-report-on-lithium-ion-batteries>
- > Physics Central, *Lithium-ion Batteries*, <http://www.physicscentral.com/explore/action/lithium.cfm>
- > Publicatiereeks Gevaarlijke stoffen, www.publicatiereeksgevaarlijkstoff.nl
- > Regio15, <http://www.regio15.nl/actueel/lijt-weergave/20-branden/13972-aardgasbus-in-brand-wittenburgerweg>
- > Rijksdienst voor Ondernemend Nederland, *Cijfers elektrisch vervoer*, <http://www.rvo.nl/onderwerpen/duurzaam-ondernemen/energie-en-milieu-innovaties/elektrisch-rijden/stand-van-zaken/cijfers#>
- > Universiteit Twente, <http://technotheek.utwente.nl/wiki/>
- > Waterstofvereniging, www.waterstofvereniging.nl
- > Wikipedia (batterij), [http://nl.wikipedia.org/wiki/Batterij_\(elektrisch\)](http://nl.wikipedia.org/wiki/Batterij_(elektrisch))<http://www.wikipedia.nl/>
- > Wikipedia (brandstofcel), <http://nl.wikipedia.org/wiki/Brandstofcel>
- > Wikipedia (carrosserie), <http://nl.wikipedia.org/wiki/Carrosserie>
- > Wikipedia (chassis), <http://nl.wikipedia.org/wiki/Chassis>
- > Wikipedia (elektrocutie), <http://nl.wikipedia.org/wiki/elektrocutie>
- > Wikipedia (lithium-ion-accu), <http://nl.wikipedia.org/wiki/Lithium-ion-accu>
- > Wikipedia (loodaccu), <http://nl.wikipedia.org/wiki/Loodaccu><http://www.wikipedia.nl/>

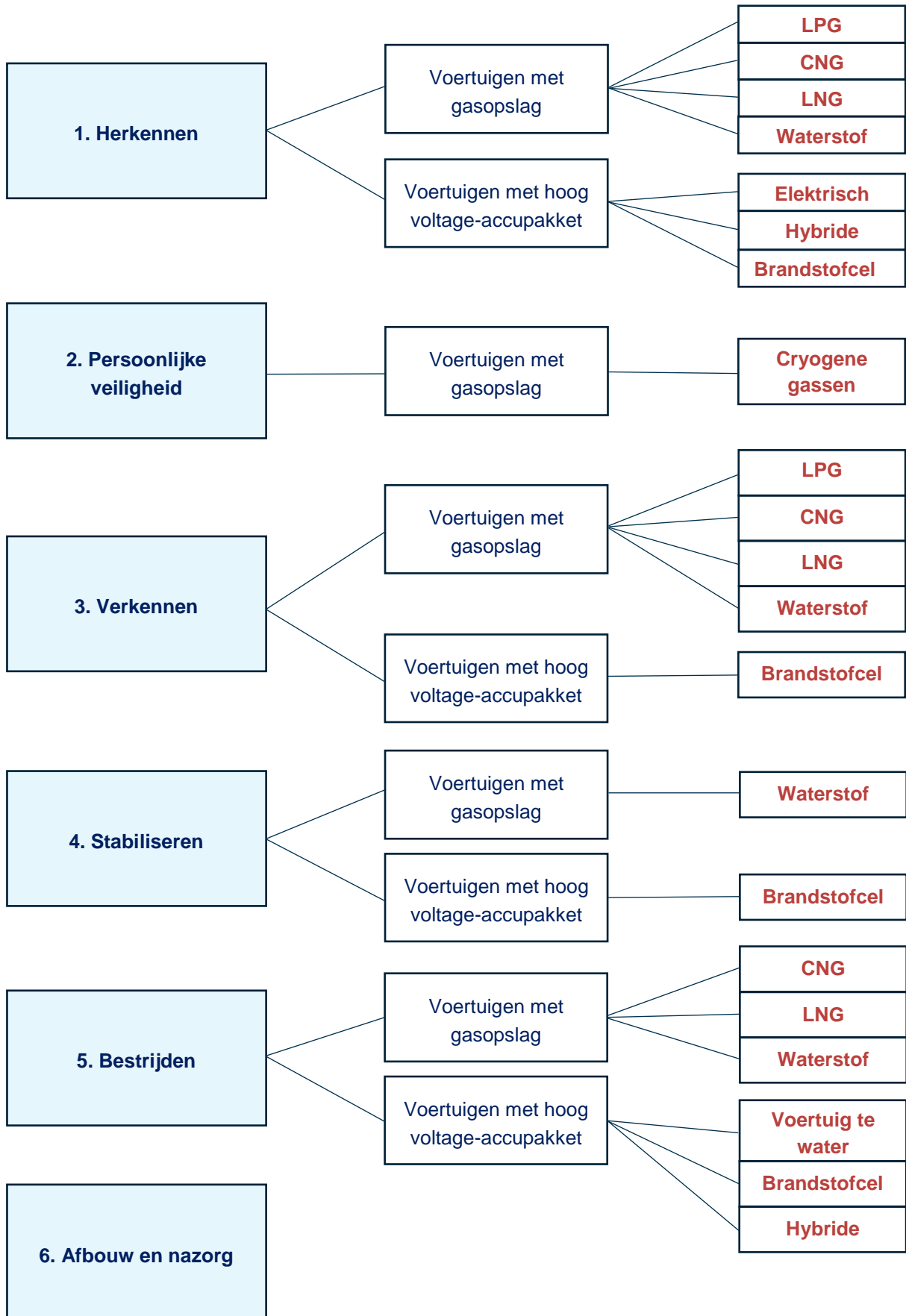
- > Wikipedia (monocoque), <http://nl.wikipedia.org/wiki/Monocoque>
- > Wikipedia (nikkel-metaalhydride-accu), <http://nl.wikipedia.org/wiki/Nikkel-metaalhydride-accu>
- > Wikipedia (platform auto), [http://nl.wikipedia.org/wiki/Platform_\(auto\)](http://nl.wikipedia.org/wiki/Platform_(auto))
- > Wikipedia (space frame), http://nl.wikipedia.org/wiki/Space_frame
- > Wikipedia (zelfdragende carrosserie),
http://nl.wikipedia.org/wiki/Zelfdragende_carrosserie
- > YouTube, *Fire hazard of lithium-ion batteries in warehouse storage*,
http://www.youtube.com/watch?v=MitnyQ4d_4g&list=SPIEPQwbNZGefa2b31kmsdBWwwwlXXi6RA
- > YouTube, *High voltage 1*,
https://www.youtube.com/watch?v=RHKg_XihfRk&feature=player_embedded
- > Zerauto, <http://91.205.33.8/Agora/index.php?pid=241>

Bijlage 1

Aandachtskaart moderne voertuigen

**Fasen van
incidentbestrijding**

Aanvullende informatie voertuigen alternatieve aandrijving



**Alle voertuigen hebben een normale accu:
12 Volt voor personenvoertuigen en 24 Volt voor bussen en vrachtwagens**

1. Herkennen

CRS (Crash Recovery system)

- > Op basis van Nederlands kenteken, let op brandstofcode.
- > Bij buitenlands kenteken: op basis van merk en type.

Voertuigen

- > Kenteken opzoeken in CRS.
- > Type aanduiding: aandrijfsysteem en brandstofsoort.
- > Uitvragen bestuurder.
- > Kentekenbewijs en brandstofcode.
- > Eurocodicil.

Let op! Omgebouwde/aangepaste en individueel goedgekeurde voertuigen staan hoogstwaarschijnlijk niet als zodanig in CRS.

Voertuigen met gasopslag

Aandachtspunten

- > Mogelijk explosiegevaar.
- > Opslagtanks voor brandbare gassen zijn voorzien van een overdrukbeveiliging (PRD), dat in werking treedt bij drukverhoging door aanstralen bij brand; uitstromend gas wordt ontstoken en fakkelt af.
- > Let op de uitstroomopening van veiligheidsventielen bij voertuigen met gastanks.

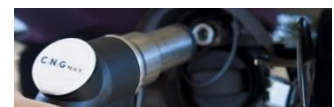
LPG

- > Onder druk vloeibaar gemaakt gas (mengsel van propaan en butaan) in drukhouder, 8 bar.
- > Bijna altijd in combinatie met andere brandstof zoals benzine.
- > Niet duidelijk herkenbaar, wel opschriften als Bifuel.
- > Specifieke vulaansluiting voor LPG-tank, voorzien van terugslagklep(pen).
- > Type tank: 3,5 mm staal, lasnaden te zien aan buitenkant, vullingsgraad 80 %.
- > Positie tank: verschillende plekken, zoals naast tankopening, onder achterbumper of achter kentekenplaat.
- > Bij transport: GEVI 23, UN 1965.



CNG

- > Samengeperst aardgas in drukhouder, 200 bar.
- > Niet duidelijk herkenbaar, wel opschriften zoals natural gas, CBG, aardgas of stickers.
- > Specifieke vulaansluiting voor aardgastank voorzien van groene ruitvormige sticker.



- > Type tank: stalen of met carbon versterkt kunstharsen (CFK) drukhouders. Bus/vrachtwagen: maximaal 1700 liter, indicatie inhoud op de tank.
- > Positie tank(s):
Bus: langwerpige opbouw midden op het dak, met daarin kunststofcilinders met druk van 200 bar.
Vrachtwagen: tussen voor- en achteras van de trekker of achter de cabine.
Personenvoertuig: onder laadvloer, midden van het voertuig of bij nabouw in de kofferruimte.
- > Bij transport: GEVI 23, UN 1971.

LNG

Alleen vrachtwagens en bussen

- > Door koude (sterk gekoeld) vloeibaar gemaakt aardgas, cryogeen, -163 °C, tot 24 bar.
- > Vaak in combinatie met andere brandstof, zoals CNG en diesel.
- > Niet duidelijk herkenbaar, wel opschriften zoals LNG, LBG of LBM.
- > Specifieke vulaansluiting voor vloeibaar aardgastank, bij bussen voorzien ruitvormige groene sticker met opschrift LNG.
- > Type tank: geïsoleerde drukhouders (6-24 bar) met maximale inhoud van 1500 liter vloeibaar LNG (= ± 750 kg), indicatie inhoud op de tank.
- > Positie tank(s): vaak aan de zijkant van de bus of vrachtwagen of geheel ingebouwd tussen de voor- en achteras van de trekker.
- > Bij transport: GEVI 223, UN 1972.



Waterstof

- > Samengeperst in drukhouder tot 350 of 700 bar of door koude vloeibaar gemaakt, -253 °C.
- > Vaak in combinatie met hoog voltage-accupakket.
- > Type-aanduidingen: Fuel Cell, Ix, FCX, FX Cell, Hy wire, et cetera.
- > Mogelijk uitlaat aanwezig, alleen uitstoot waterdamp.
- > Aparte vulnippel voor tanken van waterstof.



- > Type tank: aluminium omwikkeld met carbonvezels; vuldruk 700 bar.
- > Positie tank(s): voor gewichtsverdeling rond achteras, bij bussen op het dak (3-5 tanks).
- > Waterstof kan gebruikt worden als brandstof voor een brandstofcel of direct voor de verbrandingsmotor.
- > Bij transport: GEVI 23, UN 1049.

Voertuigen met hoog voltage-accupakket

Aandachtspunten

- > Elektrisch en plug-in hybride voertuigen kunnen aan de laadpaal staan, dit geldt ook voor bussen in de remise.
- > Hybride en brandstofcelvoertuigen hebben ook een verbrandingsmotor en brandstoftank!

Elektrisch

- > Type-aanduidingen: Ampera, Volt MiEv, et cetera.
- > Geen uitlaat, behalve bij het type range-extender.
- > Elektromotor.

Hybride

- > Type-aanduidingen: Hybride, Hybrid, et cetera.
- > Uitlaat aanwezig.
- > Heeft verbrandingsmotor.
- > Heeft 'normale' brandstoftank, dus benzine, diesel of brandbaar gas mogelijk (ook later ingebouwd).

Brandstofcel

- > Zie ook *Voertuigen met gasopslag Waterstof*.
- > Waterstof wordt getankt en gebruikt in een brandstofcel, die een hoog voltage-accupakket oplaadt.
- > Dit type voertuigen heeft een gasopslag én een hoog voltage-accupakket.

2. Persoonlijke veiligheid

- > Gebruik adembescherming met volgelaatsmasker.
- > Draag geschikte beschermende kleding: volledige en gesloten bluskleding, helm, blushandschoenen.
- > Gebruik geschikte meetapparatuur, minimaal: explosiegevaarmeter met zuurstofsensoren (denk aan responstijd), warmtebeeldcamera (zichtbaar maken koude en gaswolk), IR temperatuurmeter (bij AGS) en CO-meter bij waterstof.

Voertuigen met gasopslag

Algemeen

- > Ventileer de omgeving! Let op: een overdrukventilator kan een ontstekingsbron zijn.
- > Vermijd contact met de vloeistof/gaswolk en koude installatieonderdelen.

Bij cryogene gassen

- > Voorkom bevriezing van (ademplucht)apparatuur.
- > Draag koude-isolerende handschoenen als direct, kortstondig contact met koude nodig is: vermijd dit zo mogelijk.

3. Verkennen

Geschikt blusmiddel gereed, benader bovenwinds en neem explosiegevaarmeter mee!

Veilige afstand: 50 meter bovenwinds

Voertuigen

- > Status van beknelling inzittende(n).
- > Mate van vervorming van het voertuig.
- > Airbags geactiveerd? Geeft indicatie van de impact.
- > Geen controlelampjes op dashboard = elektriciteit uit.

Toestand slachtoffers

- > Bewustzijn/aanspreekbaar?
- > Wijze van beknelling?

Brand/brandgevaar?

- > Uitstromend gas/brandstof? Explosiegevaar meten, bepaal (on)veilig gebied, blijf meten en alarmeer/ontruim omgeving tot ruime afstand, ontstekingsbronnen verwijderen (let op vonken van deuren, motorkap, achterklep).
- > Rookverschijnselen?
- > Geschikt blusmiddel gereed hebben.

Plaats brand?

- > Passagierscompartiment of bestuurderscabine.
- > Motorcompartiment.
- > Dakopbouw.
- > In de nabijheid van de brandstoftank of het hoog voltage-accupakket.
- > In laadruimte: mogelijk grote hoeveelheden gevaarlijke en/of brandbare stoffen.

Lekkage?

- > Uitstromende vloeistoffen zoals olie, gas, brandstof, koelvloeistof en/of elektrolyt (kan een gel zijn) uit de 12 V accu's (personenvoertuigen) of 24 V accu's (bussen).

Bij voertuig te water?

- > Vermoedelijke locatie voertuig vaststellen.

Voertuigen met gasopslag

Aandachtspunten

- > Na detectie ongeval, na uitzetten motor of zonder stroomvoorziening is afsluitklep gesloten! Uittreden van vloeibaar gas alleen denkbaar bij mechanisch beschadigde tank of afsluitklep.
- > Mogelijk explosiegevaar. Pas op voor ontsteking: fakkelbrand en eventueel explosie.
- > Let op bij brand in de nabijheid van de gastank.
- > Let op signalen die erop kunnen duiden dat de thermische en/of overdrukbeveiliging zijn geactiveerd: luid afblaasgeluid (sissen, ratelen), geur van gas, ontwikkeling van gasnevel, steekvlammen. Gecontroleerd afgeblazen vloeibaar gas wordt ontstoken en fakkelt af. Een overdrukventiel sluit weer als de druk is afgenomen.
- > Pas op voor BLEVE als tanks worden opgewarmd door brand.
- > Gebruik een warmtebeeldcamera, explosiegevaarmeter en luister goed (sissend geluid!).
- > Voertuigen kunnen een gasalarmsysteem bezitten met (meestal) indicatoren aan buitenkant voertuig (zie CRS).
- > Parkeergarages hebben geen sensoren voor brandbare gassen, alleen voor koolmonoxide (CO).

LPG

- > LPG is zwaarder dan lucht, het gas kan dus in riolen zakken.

CNG

- > Tanks zijn voorzien van overdrukventielen (ingesteld op 200 bar) en smeltveiligheden (ingesteld op 110 °C). Let op de richting waarin het gas wordt afgeblazen, kan aan beide kanten van het voertuig plaatsvinden en kan naar beneden gericht zijn. Bij brand tanks zijn steekvlammen tot 15 meter mogelijk.

LNG

- > Contact met de vloeibare fase veroorzaakt bevrozing en maakt vele materialen broos.

Waterstof

- > Waterstof brandt zonder rookontwikkeling in de open lucht, de vlam is bijna onzichtbaar bij daglicht. Een CO-meter is kruisgevoelig voor waterstof en kan gebruikt worden om waterstof te meten.

Voertuigen met hoog voltage-accupakket

Aandachtspunten

- > Oranje bekabeling zichtbaar? Let op: Oranje bekabeling is pas sinds 2012 verplicht.
- > Oranje bekabeling beschadigd? Vervorming van onder andere de bodemplaat geeft indicatie.
- > Let op bij brand in de nabijheid van de hoog voltage-accupakket, mogelijk explosiegevaar.
- > Hoog voltage-accupakket houdt zijn spanning.
- > Elektrische, hybride en brandstofcelauto's kunnen in de bedrijfsstand staan, zelfs als geen motorgeluid te horen is.

Brandstofcel

- > Let op mogelijke lekkage van het brandbare waterstofgas.

4. Stabiliseren

Algemeen

- > Airbaghoezen plaatsen.
- > Zet (indien mogelijk) het voertuig in de parkeer- of neutraalstand.
- > Blokkeer de wielen van het voertuig, activeer de parkeer-/handrem.
- > Schakel de motor uit (sleutel of start/stop knop).
- > Sleutel uit contact halen, voertuig is dan neutraal.
- > Denk ook aan kaartsleutel of Smartkey; deze kunnen ook in de broekzak of de tas van het slachtoffer zitten.
- > Stabiliseer het voertuig indien nodig voor de inzet (lang/kort stabiliseren, stabfast, et cetera).

Voertuig

Algemeen, normale wijze van stabiliseren:

- > inzet trapblokken
- > inzet andere stabilisatieblokken
- > inzet stabfast bij voertuig op de kant of op de kop.

Brandgevaar

- > Afdekken vloeistofplas (AFFF of gelijkwaardig).

Voertuigen met gasopslag

Aandachtspunten

- > Ventileer ruimte waar voertuig staat en voertuig zelf. Open deuren: voorkom ophopen gas en explosiegevaar.
- > Houdt gebied rond afblaasleiding vrij. De locatie wordt in CRS met een rode pijl aangegeven. Spuit nooit water op veiligheidsventielen of afblaaskleppen om te voorkomen dat ze dichtvriezen.
- > Aandacht voor lekkage gas en ontstekingsgevaar in directe omgeving: let ook op holtes onder het voertuig.
- > Let op de vloeibare fase van cryogene gassen heeft een extreem lage temperatuur.

Aandachtspunten

- > Niet in de baan van de airbag werken.
- > Kaartsleutel of Smartkey op minimaal 5 meter afstand van het voertuig.
- > Let op! Als de 12 of 24 V accu is losgekoppeld kunnen ook ramen en dergelijke niet meer worden bediend.

Specifiek voor bussen en vrachtwagens

- > Bij vrachtwagens zijn cabine en chassis onafhankelijk van elkaar geveerd: aandacht hiervoor bij stabiliseren.
- > Alternatief bij grote voertuigen: inzet van takelwagens bij dreiging afglijden voertuig.
- > Opbouw van bus is vaak lichte constructie; constructie-onderdelen vaak ongeschikt als aangrijpingspunt voor stabiliseren.
- > Grote voertuigen hebben door hun hoge massa vaak al een stabiele positie.
- > Let op mogelijk grote hoeveelheid brandstof aanwezig (tot 1500 liter)!

Waterstof

- > In het voertuig is een emergency shut down knop aangebracht (raadpleeg CRS voor de exacte locatie): indrukken sluit de klep van de waterstoftank en ontkracht het relais tussen de high power accu en de bekabeling.

Voertuigen met hoog voltage-accupakket

Aandachtspunten

- > Bij geactiveerde airbags heeft de botssensor zeer waarschijnlijk een scheiding gemaakt tussen de hoog voltage-accupakket en de bekabeling; het voertuig is dan elektrisch veilig.
- > Controle door middel van voltmeting met een professionele tweepolige spanningsmeter.

Brandstofcel

- > In het voertuig is een emergency shut down knop aangebracht (raadpleeg CRS voor de exacte locatie): indrukken sluit de klep van de waterstoftank en ontkracht het relais tussen de high power accu en de bekabeling.

5. Bestrijden

Brand

- > Brand in passagierscompartiment? Afdoen als normale voertuigbrand. Met slachtoffer? Ventileren en slachtoffer zo snel mogelijk uit voertuig.
- > Brand in motorcompartiment? Blussen met HD of DLS of ander schuimvormend middel (hosemaster). Inzet fognail kan ook zeer effectief zijn.

Bevrijden persoon/personen

- > Nadat voertuig neutraal is: gebruikelijke bevrijdingsmethoden en -technieken toepassen.
- > Besteed aandacht aan veiligheidssystemen: positie van airbagsystemen via CRS. Of strip het voertuig voor het knippen. Trek stekker van airbagmodule los, zodat airbags niet alsnog afgaan. Strippen = hemel en afwerking stijlen wegnemen zodat er zicht komt op de positie van airbagsystemen en bedrading.
- > Denk onder andere ook aan positie gordelspanners, roltopbeveiliging.
- > Gebruik adembescherming: een P3-stofmasker is voldoende bescherming tegen glasstof en vezels van composiet.
- > Gebruik bij grote voertuigen een platform om op hoogte te kunnen werken. Houd ook rekening met de lucht geveerde stoel en de gordelspanner van de chauffeur.

Lekkage

- > Olie en koelvloeistof afhandelen als gebruikelijk (absorber).
- > Elektrolyt (chemicaliën-binder) kan een gel zijn.

Voertuig te water

- > Voertuig geheel onder water: geen bijzondere gevaren door elektriciteit. Normale inzet brandweerdruiker(s).

Specifiek voor bussen

- > Bus met passagiers volledig onder water: overweeg redding via dakluiken en bus met kraan gedeeltelijk boven water halen.
- > Mogelijk grootschalige inzet (voor duikers) gelet op het grote aantal slachtoffers.

Aandachtspunten

- > Let op! In veel moderne voertuigen worden composietmaterialen toegepast (MMMF – man made mineral fibers). Verspreiding van composietvezels is mogelijk. Hanteer daarom in overleg met de AGS de asbestprocedure en denk ook aan een mondkapje voor het slachtoffer.

Specifiek voor bussen

- > Let op! Sommige bussen hebben een sprinklersysteem in het motorcompartiment. Andere hebben hier soms een aansluiting van een droge blusleiding. Dit omdat de brand vaak bij de motor ontstaat.
- > Optie is om voorafgaand aan de daadwerkelijke bevrijdingsactie, met kleurtape aan de buitenkant van de carrosserie aangeven waar de cilinders en overige gevaarlijke punten zitten. Dit maakt de werkwijze voor de hulpverlener buiten de auto gemakkelijker/veiliger.

- > De kans dat een voertuig onder spanning staat is ook in deze situatie nihil.

Voertuigen met gasopslag

Aandachtspunten

- > Gasbrand niet blussen, bij voorkeur gecontroleerd uit laten branden.
- > Houd het gebied rond afblaasleiding vrij. De locatie wordt in CRS met een rode pijl aangegeven. Spuit nooit water op veiligheidsventielen of afblaaskleppen om te voorkomen dat ze dichtvriezen.
- > Bij lekkage: zo mogelijk afsluitkleppen voor toevoer gas handmatig sluiten (zie CRS). Schakel indien mogelijk het contact af; hierdoor wordt de gastoevoer afgesloten.
- > Provisorisch dichten van een lek (bijvoorbeeld met natte lappen waardoor lek dichtvriest): alléén bij LPG en nóóit bij cryogene gassen (GEVI 22).
- > Bij grote hoeveelheden: eventueel verdunnen gaswolk met uitstromend gas.

CNG

Specifiek voor bus

- > Let op mogelijke opwarming van de gastanks in de dakopbouw. Brand blussen en tanks koelen.
- > Bij uitslaande brand: zelfde aanpak als brand in een bus, echter van grotere afstand.
- > Als gasfakkel op de gastank brandt: niet blussen! Fakkel laten branden en zo mogelijk overige tanks en omgeving koelen.
- > Benader brand niet vanaf de zijkant in verband met mogelijke steekvlam (over-druk afblazen). De afblaasrichting is nog niet bij alle bussen aangepast.

LNG

- > Lek niet dichten! Dit kan leiden tot gevaarlijke drukopbouw.
- > Voorkom contact vloeibaar LNG met water! Bij contact wordt het verdampen versneld en het effectgebied groter.
- > Gebruik poeder of dikke laag licht schuim als blussen noodzakelijk is.
- > Bij beschadiging van de isolatie van de brandstoftank verwarmt de inhoud versneld op met kans op escalatie.
- > LNG-tank alleen afschermen/koelen bij aanstraling door brand als deze niet beschadigd is! De temperatuur van de vloeibare fase is namelijk veel lager dan die van het koelwater.

Waterstof

- > Let op. Bij sterke aanstraling zal de waterstoftank volledig afblazen en is er een (zeer kleine) kans op bezwijken (BLEVE).
- > Waterstof: uitstroom aan onderzijde voertuig bij afblazen, stijgt in gasvorm snel op en dus beperkt explosiegevaarlijk gebied.
- > Een waterstofvlam is bijna niet te zien: gebruik een WBC of sproeistraal (wordt direct stoom).

Voertuigen met hoog voltage-accupakket

Aandachtspunten

- > Brand in motorcompartiment: hier bevinden zich zowel de elektro- als de verbrandingsmotor (alleen bij hybride). Let op geleiding door spanningsvoerende delen. Gebruik eventueel ABC-poeder.
- > Brand in hoog voltage-accupakket? Moeilijk te bereiken en te blussen. Bouw waterwinning op, mogelijk tot 10.000 liter water nodig en een blustijd van een uur. Mogelijk herontsteking tot 48 uur na incident.
- > Rook afkomstig van brand in het hoog voltage accupakket kan zeer giftig zijn.
- > Knip niet op plaatsen waar oranje kabels lopen (bodemplaat, dorpels, onderzijde A-stijl, et cetera).

Voertuig te water

- > Voertuig aan de oppervlakte en het accupakket gedeeltelijk onder water: 1.000 V handschoenen gebruiken als het noodzakelijk is om het voertuig aan te pakken.
- > Als hulpverleners in het water staan: 1.000 V handschoenen gebruiken.
- > Bij plug-in hybride aan laadpaal: altijd laadsnoer afkoppelen of laadpunt uitschakelen.
- > Elektrolyt kan reageren met water waarbij knalgas (explosiegevaarlijk mengsel waterstof en zuurstof) gevormd kan worden.

Hybride

- > Houd bij brand rekening met aanwezigheid brandstof/verbrandingsmotor, et cetera.

Brandstofcel

- > Brand in motorcompartiment? Als brandstofcellen betrokken raken kan waterstof vrijkomen (zeer brand- en explosiegevaarlijk).
- > Voor gevaren waterstof tank zie *Voertuigen met gasopslag Waterstof*.

6. Afbouw en nazorg

Algemeen

- > Voertuig en omgeving schoon (laten) maken na overleg met politie (Forensische Opsporing).
- > Afvoer van voertuig via berger.
Als er een hoog voltage-accupakket aanwezig is: waarschuw voor herontsteking en laat minimaal 15 meter afstand houden tot andere voertuigen.
- > Denk aan eventuele vervuiling van oppervlaktewater.

Aandachtspunten

- > Vrijgekomen gevaarlijke stoffen (bijvoorbeeld elektrolyt uit accu(pakketten)) afvoeren als chemisch afval.
- > Let op! Mogelijke verspreiding van composietvezels (MMMF) bij brand. De gezondheidsrisico's van deze vezelmateriaal zijn deels vergelijkbaar met asbest. Hanteer daarom zo nodig in overleg met de AGS de asbestprocedure.
- > Let op mogelijke (her)ontsteking van het accupakket: tot 48 uur na blussen brand, tot 3 weken na crash!

Bijlage 2 Minimale afstanden

Waterstofincidenten

Tijdens een incident met waterstoftoepassingen zullen waarschijnlijk niet de benodigde gegevens aanwezig en beschikbaar zijn en ontbreekt ook de benodigde tijd om detailberekeningen van effectafstanden uit te voeren. Om toch een inschatting te kunnen maken, worden in de volgende tabellen de berekende minimale effectafstanden gepresenteerd bij verschillende lekgrootten/gaten (5 mm, 10 mm en 100 mm).

Tabel B2.1 Minimale afstanden in meters bij het scenario van een gat van 5 mm gevolgd door brand

Druk insluitsysteem (Bar)	Lengte van de fakkel (m)	Hittestraling (m) 35 (kw/m ²)	Hittestraling (m) 10 (kw/m ²)	Hittestraling (m) 3 (kw/m ²)
100	4	4	5	7
200	5	6	8	11
300	6	7	10	13
400	8	9	12	16
500	9	10	14	18
600	10	11	15	20
700	11	12	17	22

Tabel B2.2 Minimale afstanden in meters bij het scenario van een gat van 10 mm gevolgd door brand

Druk insluitsysteem (Bar)	Lengte van de fakkel (m)	Hittestraling (m) 35 (kw/m ²)	Hittestraling (m) 10 (kw/m ²)	Hittestraling (m) 3 (kw/m ²)
100	7	8	9	13
200	10,5	11	15	19
300	13,5	14	19	25
400	14,5	16	22	29
500	17,5	19	25	34
600	19,5	21	28	37
700	21,5	23	31	39

Tabel B2.3 Minimale afstanden bij het scenario van een gat van 100 mm gevolgd door brand

Druk insluitsysteem (Bar)	Lengte van de fakkel (m)	Hittestraling (m) 35 (kw/m ²)	Hittestraling (m) 10 (kw/m ²)	Hittestraling (m) 3 (kw/m ²)
100	56	63	78	95
200	85	95	112	137
300	105	121	143	170
400	125	140	170	200
500	145	158	185	216
600	160	175	205	240
700	170	190	220	260

LPG-incidenten

Tabel B2.4 Berekende effectafstanden voor een BLEVE van een tank met 25 ton LPG met Effects (voor mensen buiten en binnen)²⁸

Ring	Afstand	Schade	Overleefbaarheid (buiten)	Overleefbaarheid (binnen)
1 ^e ring	90 meter	Onherstelbare schade en branden	100% dood	10% dood, veel lichtgewonden
2 ^e ring	140 meter	Zware schade en secundaire branden	20% dood, rest licht- tot zwaargewonden	1% dood, beperkt aantal gewonden
3 ^e ring	230 meter	Beperkt secundaire branden	2% dood, vooral veel lichtgewonden	Geen doden, weinig tot geen gewonden
4 ^e ring	400 meter	Lichte schade	Geen doden, nauwelijks zwaargewonden, redelijk wat lichtgewonden	Geen doden, weinig tot geen gewonden

²⁸ Het gebied met schade door overdruk is veel kleiner. Zware schade tot 30 meter, gemiddelde schade tot 70 meter en lichte schade (glasbreuk) tot 180 meter. In deze afstand is alleen de schade door overdruk meegenomen en niet die van rondvliegende voorwerpen.

Tabel B2.5 Schade-afstanden van LPG bij een gaswolkexplosie berekend met de vuistregel

C_i =	4	7	24	36
Massa (kg)	Doden door instortingen of beschadiging apparatuur	Gewonden instortingen	Ruitbreuk	Tijdelijke gehoorschade
100	19	32	111	167
500	32	56	190	286
1.000	40	70	240	360
5.000	68	120	410	616
10.000	86	151	517	776

Bijlage 3

Aanvullende informatie over waterstof

Productie van waterstof

Waterstof kan worden gevormd als bijproduct in de chemische industrie, maar kan ook als hoofdproduct worden geproduceerd. De productie van waterstof kan chemisch, fysisch of biologisch geschieden. Tijdens de productie kunnen er een aantal gevaren ontstaan, zie ook de volgende tabel.

Tabel B3.1 Gevaren van waterstof per productiemethode

Productie	Methode	Gevaren
Chemische productie	<ul style="list-style-type: none">> Omvorming van aardgas met behulp van stoom> Stoom over verhitte koolstof> Afbraak van koolwaterstoffen bij hoge temperatuur> Reactie van natrium- of kaliumhydroxide met aluminium> Reactie van zuren met metalen	<ul style="list-style-type: none">> Opwarming door externe brand> Externe impact> Corrosieve en chemisch agressieve condities> Toxische wolk
Fysische productie	Elektrolyse van water	<ul style="list-style-type: none">> Explosie> Spanning
Biologische productie	Algen die onder bepaalde omstandigheden waterstof produceren	Geen brandgevaar

Transport van waterstof

Onder transport van waterstof wordt verstaan het bulkvervoer van waterstof in transporteenheden groter dan 50 liter waterinhoud, waaronder dus ook buisleidingen. Vervoer van waterstof in het aandrijfsysteem van een voertuig dat door waterstof wordt aangedreven, wordt door de Regeling vervoer over land van gevaarlijke stoffen (VLG) niet gezien als transport van een gevaarlijke stof.

Tabel B3.2 Gevaren van waterstof per transportmethode

Transportmethode	Gevaren
Over weg, water, spoor	<ul style="list-style-type: none">> Opwarming door externe oorzaken, zoals brand, hittestraling door de zon, voedingsstroom> Externe impact> Corrosieve en chemisch agressieve condities> Verlies van isolatie met als gevolg opwarming> BLEVE
Via buisleidingen	<ul style="list-style-type: none">> Opwarming door externe brand> Thermische uitzetting van de ingesloten vloeistof> Vloeistofslag> Externe impact> Bovengrondse belasting op ondergrondse leiding> Corrosieve en chemisch agressieve condities> Verbrossing onder specifieke condities

Opslag van waterstof

Twee opslagvormen voor waterstof zijn vergelijkbaar met die voor aardgas en beschreven in paragraaf 8.1. De mogelijkheden voor opslag van waterstof zijn echter velerlei.

- > Als gecompriemd gas bij drukken van 300 bar en 700 bar (Waterstof Druk Opslag, GH_2 of gaseous hydrogen).
- > Vloeibare waterstof, zoals gebruikt wordt door BMW (Vloeibare Waterstof Opslag, LH_2 of liquid hydrogen).
- > Waterstof in metaalhydrides van verschillende soorten.
- > Opslag in poreuze nano-structuren.
- > Waterstof gekoppeld aan chemische hydrides.

In vergelijking met de huidige brandstoffen is het grootste probleem bij opslag van waterstof het benodigde volume (bij gebruik van gecompriemd gas, vloeibare waterstof of metaalhydrides). Uit informatie van BMW blijkt dat met de getankte waterstof slechts 100 kilometer kan worden gereden, terwijl met een volle tank benzine 700 kilometer wordt gereden. Voor grootschalige toepassing van opslag in het vervoer moet nog veel worden verbeterd. Opslag voor stationaire toepassingen is minder problematisch. Opslag in drukhouders en tanks is een beschikbare technologie.

Waterstofinfrastructuur

Toepassing van waterstof vraagt om veranderingen van infrastructuur. Deze veranderingen zullen zich vermoedelijk langzaam voltrekken. Om nu al ervaring op te doen, wordt kleinschalig begonnen met de introductie van waterstof in het vervoer. Tankstations moeten bijvoorbeeld worden aangepast om waterstofbussen en -personenvoertuigen van brandstof te kunnen voorzien. Waterstof kan worden aangevoerd met tubetrailers of als vloeibare waterstof vanuit de raffinaderijen. Ook kan worden gedacht aan waterstof verkregen door bewerken van aardgas (LNG, CNG) op de tankstations of door elektrolyse (onder andere waterstofgenerator zoals bij de Amsterdamse waterstofbussen van GVB).



Afbeelding B3.3 Bus op waterstof in Amsterdam

Wat in elk geval nodig is voor grootschalig waterstofgebruik, is een dekkende waterstofinfrastructuur. De ervaring van oliemaatschappij BP is dat consumenten pas overschakelen op een nieuwe brandstof wanneer deze op 20-30 procent van de tankstations beschikbaar is. Nederland telt zo'n 3750 tankstations. Dit betekent dat minimaal zo'n 750 tot 1000 stations waterstof moeten aanbieden. Dat kan in verschillende vormen, bijvoorbeeld vloeibaar waterstof, waterstof op 350 bar en op 700 bar. De vraag is of deze verscheidenheid economisch haalbaar is, of dat tegen de tijd dat grootschalige introductie plaatsvindt een keuze gemaakt moet worden tussen deze varianten.

Voor- en nadelen van het gebruik van waterstof

Voordelen

- > Het gebruik van waterstof in brandstofcellen maakt vervoer schoon, stil en zuinig.
- > De brandstofprijs wordt niet meer bepaald door de prijs van ruwe olie en ook als de olie wereldwijd opraakt, kan gereden blijven worden.
- > Brandstofcellen hebben een hoger rendement dan de huidige omzettingen van chemische energie naar elektrische energie. Zo heeft een brandstofcel in een voertuig een hoger rendement dan een verbrandingsmotor en maakt een stationaire brandstofcel efficiënter gebruik van grondstoffen dan een elektriciteitscentrale.

Nadelen

- > De productie van waterstof kost veel energie. Waterstof is geen energiebron maar een energiedrager. Het komt nauwelijks in de natuur voor en moet dus geproduceerd worden. Dat kost veel energie. Wanneer deze energie geleverd wordt door niet-schone energiebronnen als aardgas (LNG, CNG) of kolen, wordt het milieu alsnog belast.
- > De opslag en het transport van waterstof is (nog) niet goed geregeld. Waterstof kan alleen efficiënt worden opgeslagen door gebruik te maken van zeer hoge drukken en extreem lage temperaturen. Met de huidige technologie is het nog moeilijk om voldoende waterstof op te slaan of te vervoeren. Dit wordt veroorzaakt door de lage energie per volume-eenheid die waterstof oplevert in vergelijking met butaan of propaan. Om een gelijke hoeveelheid energie aan waterstof te vervoeren is er dus een veel grotere tank nodig. Men kan dit verhelpen door het waterstof onder hoge druk te zetten, maar bij

grootschalige productie zou er veel energie verloren gaan bij deze compressiestap.²⁹ Waterstof laat zich ook moeilijk bewaren, want de moleculen zijn heel klein en kunnen door veel materialen heen dringen. Opslagtanks moeten dan ook zeer stevig en geïsoleerd zijn.

- > Waterstof vormt een explosiegevaarlijk mengsel met zuurstof. Omdat waterstof zo licht is, wordt de explosiegrens zelden bereikt (het volumepercentage waarbij het mengsel ontbranden kan). In vergelijking met andere brandstoffen is dit probleem eigenlijk te verwaarlozen: benzine en LPG zijn ook licht ontvlambaar en blijven doordat zij zwaarder zijn dan lucht, laag hangen, terwijl waterstof sneller verdwijnt.
- > Tankstations moeten aangepast worden om waterstofbussen en andere voertuigen van brandstof te kunnen voorzien. De huidige infrastructuur is niet ingesteld op rijden op waterstof. Aanpassing van de infrastructuur op waterstof en ontwikkeling van technologieën daarvoor, vragen om grote investeringen. Er is nog veel onderzoek nodig en daarnaast moeten ondernemers gevonden worden die hierin willen investeren.
- > De kosten van het voertuig zelf. De kosten van bijvoorbeeld een brandstofcelbus zijn een factor zes keer hoger. Een dieselbus komt op 250.000 euro, bij een brandstofcelbus liggen de kosten rond 1,5 miljoen. De elementen van de brandstofcel zijn duur, met één onderdeel in het bijzonder: de elektroden. Elektroden zijn tot nu toe vaak gemaakt van platina; dit edelmetaal is echter zeer schaars en duur. Er is lang niet genoeg platina beschikbaar om op grote schaal brandstofcellen te kunnen produceren. Er is dus behoefte aan een alternatief.

²⁹ Iedere drukverhoging kost energie, hoe meer er gecompriëerd moet worden hoe meer energie verloren gaat.

Bijlage 4

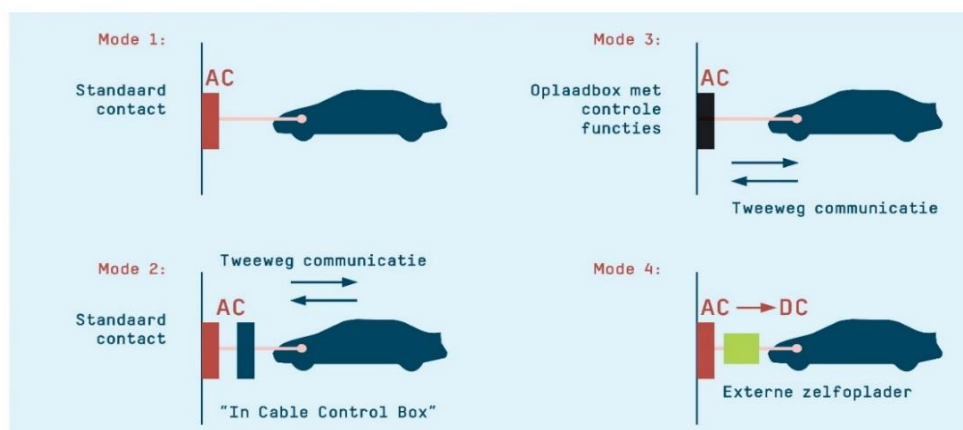
Opladen en risico's

Conductief opladen

Bij de ontwikkeling van conductieve oplaadfaciliteiten is het zo goed mogelijk waarborgen van de veiligheid bij verschillende laadsnelheden essentieel.

Door de International Electrotechnical Commission (IEC)³⁰ zijn vier standaarden voor het opladen gedefinieerd (zie ook figuur B4.1):

- > Mode 1 en Mode 2 voor het langzaam opladen via een standaard contactpunt.
- > Mode 3 voor het gecontroleerd, langzaam of snel, opladen via specifiek voor elektrische voertuigen ontwikkelde oplaadpalen en -boxen.
- > Mode 4 voor DC-snelaadstations waarmee accupakketten snel en direct met gelijkstroom worden opgeladen.



Figuur B4.1 Vier standaardmanieren van opladen

Risico's conductief opladen

Aan het thuis opladen van elektrische voertuigen via het standaard elektriciteitsnet zijn risico's verbonden. Het enkele uren achter elkaar opladen van het hoog voltage-accupakketten vergt het uiterste van de elektriciteitsvoorziening thuis. Als er op dezelfde groep meer apparaten zijn aangesloten die veel stroom vragen, kunnen smeltveiligheden doorslaan. Bovendien verkeren bedrading en schakelingen niet altijd in goede staat. Zo kan brand ontstaan door kortsluiting. Over het algemeen raden de fabrikanten van elektrische voertuigen het opladen via standaardwandcontactdozen en standaardverlengsnoeren af en adviseren zij deze optie alleen in noodgevallen te gebruiken.

³⁰ De IEC is een internationale non-profit standaardisatieorganisatie die internationale standaarden voorbereidt en publiceert op het gebied van de elektrotechniek. IEC standaarden betreffen zowel de productie en transmissie van elektriciteit als specifieke elektrische en elektronische apparatuur en componenten. Alle internationale IEC standaarden zijn volledig gebaseerd op consensus onder de aangesloten landen. Meer dan 10.000 experts, afkomstig uit de industrie, handel, overheid, onderzoeksinstituten en consumentengroepen dragen bij aan de IEC activiteiten.

Mode 1-richtlijnen en kabels

Om de hiervoor genoemde risico's zo veel mogelijk te beperken zijn de Mode 1-richtlijnen opgesteld voor het opladen via standaardwandcontactdozen en krachtstroomaansluitingen.

- > Een maximale stroomsterkte van 13 A wisselstroom, waarbij maximaal 1 fase (via het standaard stopcontact) of 3 fasen 230 V (via een krachtstroom aansluiting) is toegestaan.
- > De aanwezigheid van een aardlekschakeling die de installatie spanningsloos maakt bij een lekstroom van 30 mA.

Houdt men zich aan deze richtlijnen, dan moeten via de standaardwandcontactdoos de meeste elektrische personenvoertuigen acht uur opladen voor een volle accu, oftewel een actieradius van 120 tot 150 kilometer. Met een krachtstroomaansluiting kan dat ongeveer in 4,5 uur. Om de krachtstroom volledig te benutten, moet de oplader aan boord van het voertuig wel over 9 kW laadvermogen beschikken. Er gaan overigens stemmen op om vanwege de veiligheid de maximale stroomsterkte terug te brengen tot 10 A of zelfs 8 A, waardoor de laadtijd met 30 tot 60 procent toeneemt. Mode 1-kabels worden inmiddels niet meer standaard geleverd door fabrikanten, deze kabels zijn vervangen door Mode 2- en Mode 3-kabels.

Mode 2- en Mode 3-richtlijnen en kabels

Mode 2- en Mode 3-kabels worden door vrijwel alle fabrikanten gebruikt en veelal standaard meegeleverd met het voertuig. Mode 2 is voor laden aan de standaardwandcontactdoos (Schuko). Het bevat een veiligheidskastje (In Cable Control Box, ICCB), die tweewegcommunicatie³¹ met het voertuig mogelijk maakt en over een aantal controlefuncties beschikt. De eisen aan de stroomsterkte, voltage en aarding zijn identiek voor Mode 1 en Mode 2. Een Mode 3-kabel is voor gebruik bij laadpunten in de publieke ruimte en voor thuis laden indien er een speciaal thuislaadpunt aangebracht is. De stekker aan de laadpuntzijde is dan vrijwel altijd een zogenaamde 'Mennekes' stekker (zie verderop in deze paragraaf). Bij een Mode 3-kabel zit geen veiligheidskastje in de kabel, er is communicatie tussen voertuig en laadpunt.

Opladen via een openbare oplaadpaal of laadbox

De openbare oplaadpalen die in Nederland met goedkeuring van gemeenten worden geïnstalleerd, voldoen aan de Mode 3-standaard. Deze standaard is bedoeld voor laadpunten waarmee tot 63 A kan worden opgeladen met 2 of 3-fasen 230 V. Met laadpunten die aan deze standaard voldoen kan er tot een vermogen van 43 kW worden opgeladen (dit houdt in dat twee voertuigen tegelijkertijd opgeladen kunnen worden). Bij openbare oplaadpunten gaat men ervan uit dat de oplader aan boord van de voertuigen zit. Deze bepaalt uiteindelijk het laadvermogen. Voor het opladen thuis of op particuliere bedrijfsterreinen kunnen laadboxen worden besteld die aan dezelfde eisen voldoen. Al deze laadpunten beschikken over EVSE (Electrical Vehicle Supply Equipment) gecertificeerde apparatuur, die zich kenmerkt door tweewegcommunicatie met het voertuig en meerdere veiligheidsvoorzieningen.

De volgende aspecten van het opladen worden gecontroleerd.

- > De stroomtoevoer moet voldoen aan de eisen van de oplader in het voertuig enerzijds en de eisen van het laadpunt anderzijds.
- > Elektrische componenten en bedrading moeten van goede kwaliteit zijn (volgens NEN 1010).
- > Er moet een aardlekschakeling zijn met een maximale lekstroom van 30 mA.
- > De stekker moet juist geplaatst zijn.

³¹ Verzenden en ontvangen.

De stroomvoorziening wordt onderbroken zodra één van deze aspecten tekortschiet. Andersom werkt de oplader in het voertuig niet als het oplaadpunt niet aan de Mode 3-eisen voldoet.

Opladen via een laadbox

De laadboxen, die veelal op privéterrein worden geïnstalleerd, voldoen aan NEN 1010. In de meterkast wordt een extra groep geplaatst voorzien van een 16 A 'automaat' of smeltzekering (meestal automaat).³² De laadbox wordt aangesloten op een 230 V groep die tot 3.680 watt belast kan zijn. Er zullen in de toekomst ook 3-faseladers (krachtstroom) geïnstalleerd worden. BMW, Renault en Mercedes komen met elektrische personenvoertuigen die 3-fase kunnen laden.

Sommige laadpunten hebben een aardlekbeveiliging in het laadpunt. Dan zit er geen extra aardlek in de meterkast. Als het laadpunt geen eigen aardlekbeveiliging heeft, dan hoort deze vanuit de meterkast met een aardlek beveiligd te zijn. De groep wordt door de installateur meestal gemerkt met een sticker met daarop 'laadpunt' of 'lolo' (loadlocation) en dit hoort ook in de groepenverklaring te staan.

Mode 3 maakt het mogelijk om in één uur voor meer dan 200 kilometer op te laden.

Vooralsnog is de mogelijkheid om Mode 3 volledig te benutten beperkt door het:

- > maximale laadvermogen van de oplaadpalen en boxen
- > laadvermogen van de opladers aan boord van de voertuigen en de capaciteit van accu's.

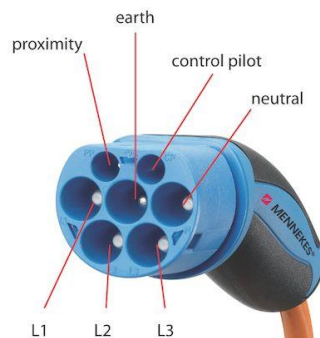


Afbeelding B4.2 Diverse soorten laadpalen

³² Het komt bij sommige laadpunten voor dat er nog een extra automaat in het laadpunt zit. Dit stamt uit oude voorschriften (2010) van Nissan en Renault, die laadpunten verplichtten om een beveiliging in het laadpunt zelf te hebben.

De Mennekes-stekker

Aan Mode 3-opladen is ook een bepaald type standaardstekker verbonden³³: de Mennekes stekker (genoemd naar de fabrikant). Formeel wordt het type stekker aangeduid als VDE AR-E 2623.2.2, soms wordt ook de aanduiding type 2.2 gebruikt. Deze stekker is geschikt voor 1 fase 230 V en 3 fasen 400 V.



Afbeelding B4.3 Mennekes-stekker

Naast de fasedraden (L1, L2 en L3), de aarddraad (earth) en de nuldraad (neutral) heeft deze stekker draden voor de besturing van het oplaadproces. Met de control pilot kan worden bepaald of een voor Mode 3 geschikt voertuig is aangesloten, of dit voertuig gereed is om op te laden en of, als er binnen wordt opgeladen, er wel de juiste ventilatie is om het opladen veilig te kunnen starten. Het managementsysteem van het accupakket bepaalt via de proximity draad de stroomsterkte waarmee geladen wordt. Er komt alleen spanning op de stekker te staan wanneer de laadkabel op de juiste manier is aangesloten. Ook de volgorde van verplichte handelingen bij het laden maakt het laden veilig. Zo moet eerst de kabel op het voertuig worden aangesloten, dan op het oplaadpunt en pas als de stekker in de oplaadpaal is vergrendeld komt er spanning op de kabel en begint het laden. Als tijdens het laden de stekker onverwacht toch uit het voertuig wordt getrokken, wordt de spanning onmiddellijk afgesloten en is de kabel veilig.

DC-snellaadstations (Mode 4)

Om nog sneller te kunnen opladen zijn snelladers ontwikkeld die veel meer vermogen kunnen leveren. Door de kosten en de omvang worden deze laders niet in voertuigen geïnstalleerd, maar in oplaadstations. Terwijl bij alle andere opties de oplader in het voertuig wisselstroom uit het elektriciteitsnet omzet in gelijkstroom, leveren de snellaadstations gelijkstroom aan het voertuig. Daarom wordt ook gesproken van DC-snellaadstations (DC betekent Direct Current).

³³ Beschreven in IEC 62196.



Afbeelding B4.4 Snelladen langs de snelweg

De DC-snellaadstations hebben meer dan 50 kW vermogen (400V/125 A) beschikbaar om op te laden. Een gebruikelijk accupakket van ongeveer 20 kWh kan hiermee binnen een half uur worden opgeladen.

Niet alle elektrische personenvoertuigen zijn ingericht voor het DC-snelladen. Bijvoorbeeld de Nissan Leaf, Mitsubishi i-MiEV, Peugeot ION en Citroën Ion kunnen DC-snelladen. Ook de elektrische Doblo's van MicroVett bieden deze mogelijkheid.

Door de hoge kosten en het ontbreken van geschikte stroomvoorzieningen in woonbuurten wordt met deze laders niet gemikt op de consumentenmarkt. Deze laadstations staan langs de weg, bijvoorbeeld bij wegrestaurants of voor bedrijfswagens die vrijwel altijd rijden en tijdig opgeladen moeten worden.

Het grote vermogen en de snelheid waarmee opgeladen wordt, vereisen nog strengere richtlijnen dan de Mode 3. Voor het snelladen zijn Europese Mode 4-richtlijnen nog volop in ontwikkeling. Ondertussen wordt de in Japan ontwikkelde CHAdeMO-standaard in toenemende mate overgenomen of overwogen door fabrikanten van snellaadstations en de automobiellindustrie. De Zweedse energieproducent Vattenfall, zeer actief op het gebied van elektrisch vervoer, gaat bij de ontwikkeling van een netwerk van snellaadstations in Scandinavië, in afwachting van Europese ontwikkelingen, uit van de CHAdeMO standaard.

Laadpalen en maximale capaciteit

Een enkele laadpaal zal de stroomvoorziening van een gebouw niet of nauwelijks overbelasten. Wanneer echter meerdere laadpalen aanwezig zijn en tegelijkertijd in gebruik zijn, kan het voorkomen dat de lokale voorzieningen de maximale grens benaderen. Een gevolg kan zijn dat een complex zonder stroom komt te zitten. Om die reden is het mogelijk om (lokaal of met het beheersysteem) een slimmer net te bouwen. De laadpunten worden dan voorzien van informatie over de actuele en maximale belasting van het lokale net. Wanneer dit maximum bereikt wordt, kan vanuit een beheersysteem of volautomatisch bijgestuurd worden, waardoor langzamer geladen wordt.

Deze techniek kan ook worden toegepast om de veiligheid van een complex te vergroten. In geval van een noodsituatie zullen bijvoorbeeld de waterpompen ingeschakeld worden. Ook is het mogelijk de ventilatie van een parkeergarage in te schakelen, bijvoorbeeld als veel uitlaatgassen geproduceerd zijn binnen een korte tijd. Zowel waterpompen als ventilatie

vergen grote elektrische capaciteit en zijn, zeker bij calamiteiten, belangrijker dan het laden van voertuigen. Wanneer een noodsituatie zich voordoet kan het systeem van het slimmere net op drie verschillende wijzen bijdragen aan de veiligheid. Alle laadpalen:

1. worden afgesneden van energievoorziening
2. staken onmiddellijk de stroomtoevoer naar de aanwezige voertuigen (hetzelfde effect als optie 1)
3. sturen bij tot een niveau waarop zowel waterpompen, ventilatie en laadinfrastructuur kunnen blijven functioneren.

Optie 1 is effectief, maar kan schade aanrichten aan de laadpunten omdat deze tijdens functioneren 'onveilig afgesloten' zijn (zoals dat bij pc's en laptops ook kan gebeuren). Optie 2 geeft de 'mooiste' oplossing voor laadinfrastructuur en het gebouw. Wanneer de calamiteit voorbij is of onterecht is gebleken, kunnen de laadtransacties met aanwezige voertuigen herstart worden. Uit veiligheidsoogpunt is de laatstgenoemde optie niet relevant, omdat bij calamiteiten het laden van de voertuigen niet voortgezet hoeft te worden. Het geeft echter wel de mogelijkheid om bij onterechte meldingen zonder onderbrekingen te laden.

Inductief opladen

Het inductief (draadloos) opladen van elektrische voertuigen is gebaseerd op het principe van elektromagnetische inductie. Inductie wordt toegepast in inductiemotoren en transformatoren, maar ook al jaren voor het opladen van elektrische tandenborstels. Er zijn ook al mobiele telefoons die door inductie worden opgeladen.

Het opladen door inductie gaat uit van twee stroomspoelen die zich op korte afstand van elkaar bevinden, maar geen contact met elkaar hebben: een zendspool die verbonden is met het elektriciteitsnet en een ontvangstspool die in zich in het voertuig bevindt. De wisselstroom in de zendspool genereert een wisselend magnetisch veld dat door de ontvangstspool in het voertuig loopt. Het wisselend magnetisch veld genereert vervolgens in de ontvangstspool een wisselstroom. Deze wisselstroom wordt ten slotte omgevormd tot een gelijkstroom waarmee het hoog voltage-accupakket wordt opgeladen.

Voordelen van inductief laden

In tegenstelling tot het conductief opladen, kan de bestuurder vanuit het voertuig opladen. Hij of zij hoeft niet uit te stappen om een oplaadsnoer aan te sluiten. Omdat er geen snoeren gebruikt worden is inductief opladen veiliger dan conductief opladen: er is geen gevaar voor kortsluiting. Daarnaast hoeft de bestuurder niet met zijn of haar handen een stekker van een kabel aan te raken waar 380 volt op staat. Bovendien neemt de kans op vandalisme af. Inductie bespaart ook handelingen: 's nachts volladen is goedkoper en makkelijker dan een voertuig voltanken. Bovendien zijn geen oplaadpalen nodig zoals bij conductief opladen.

Experimenten met inductief laden

Al sinds de jaren negentig van de vorige eeuw wordt geëxperimenteerd met inductief laden van voertuigen. Bij de eerste experimenten ging het vooral om voertuigen die vaste routes rijden. Zo zijn proeven gedaan met bussen en kleine treintjes op een pretpark. De experimenten met bussen zijn zo succesvol, dat in Italië door inductie geladen elektrische bussen al enige jaren operationeel worden ingezet. De bussen in Turijn en in Genua rijden sinds 2003. De succesvolle demonstratie van de inductiebus vond in Utrecht in 2010 plaats, elf maanden lang. Het doel is vooral om te bewijzen dat openbaar vervoer zonder brandstoffen veilig en eenvoudig mogelijk is. Tijdens het halteren kan de bus op beginpunt Utrecht Centraal via inductie bijgeladen worden.



Afbeelding B4.5 Inductief opgeladen bus in Utrecht

In Den Bosch rijdt vanaf 2012 een omgebouwde Volvo 7700, die wordt opgeladen bij de P&R Pettelaarpark. De ambitie is om in 2025 alle bussen in binnensteden in Nederland elektrisch te laten rijden. De laatste vijf jaar is het concept ook beproefd met personenvoertuigen. De eerste commerciële producten zijn op de markt.

Er wordt geëxperimenteerd met twee vormen van inductief opladen.

1. De parkeervariant: het personenvoertuig wordt draadloos opgeladen op een parkeerplaats of in een garage.
2. De rijvariant: het personenvoertuig wordt al rijdende opgeladen via stroomspoelen die onder het wegdek aangelegd zijn.

Het voordeel van de rijvariant ten opzichte van de parkeervariant is dat de wagen niet eens meer hoeft te stoppen als er tijdens het rijden voldoende opgeladen kan worden. De investeringen om voldoende inductiegeleidingen onder het wegdek aan te leggen, zullen echter veel hoger liggen dan bij lokale inductieladers op parkeerplaatsen. Bovendien zullen zeer hoge eisen gesteld moeten worden aan de robuustheid van het regelsysteem dat zorg draagt voor het juiste hoogteverschil.

Als op lange termijn over lange trajecten, al rijdende, inductiestroom beschikbaar is, dan kan men ook toe met kleinere accupakketten in voertuigen. Dit leidt tot minder gewicht, lager energieverbruik en kostenbesparing. Bovendien zal ook de vraag naar het schaarse lithium voor accupakketten afnemen.