



Veiligheid en elektrische personenauto's

Actualisatie factsheet 2020



Committed to the Environment

Veiligheid en elektrische personenauto's

Actualisatie factsheet 2020

Dit rapport is geschreven door:
Denise Hilster, Louis Leestemaker, Anco Hoen

Delft, CE Delft, november 2020

Publicatienummer: 20.200180.145

Auto's / Elektrische auto's / Veiligheid / Batterijen / Schade / Geluid / Brand / Ongevallen / Wetgeving / Regelgeving

Opdrachtgever: Rijksdienst voor Ondernemend Nederland

Alle openbare publicaties van CE Delft zijn verkrijgbaar via www.ce.nl

Meer informatie over de studie is te verkrijgen bij de projectleider Denise Hilster (CE Delft)

© copyright, CE Delft, Delft

CE Delft

Committed to the Environment

CE Delft draagt met onafhankelijk onderzoek en advies bij aan een duurzame samenleving. Wij zijn toonaangevend op het gebied van energie, transport en grondstoffen. Met onze kennis van techniek, beleid en economie helpen we overheden, NGO's en bedrijven structurele veranderingen te realiseren. Al 40 jaar werken betrokken en kundige medewerkers bij CE Delft om dit waar te maken.



Inhoud

	Samenvatting	4
1	Inleiding	6
	1.1 Aanleiding voor het onderzoek	6
	1.2 Doel van het onderzoek	6
	1.3 Leeswijzer	7
2	Onderzoeksaanpak	8
	2.1 Afbakening	8
	2.2 Onderzoeksmethode	9
3	Onderzoeksresultaten	11
	3.1 Meta-analyse literatuuronderzoek	11
	3.2 Voertuigveiligheid	13
	3.3 Batterijschade	19
	3.4 Afwezigheid van geluid	28
	3.5 Brandveiligheid	29
	3.6 Veiligheid in afgesloten ruimtes	35
	3.7 Incident management	41
	3.8 Onderhoud en veiligheid	47
	3.9 Te water geraking	49
	3.10 Laadinfrastructuur	50
4	Wet- en regelgeving	61
	4.1 Voertuigveiligheid	61
	4.2 Batterijschade	62
	4.3 Afwezigheid van geluid	64
	4.4 Brandveiligheid	64
	4.5 Veiligheid van auto's in afgesloten ruimtes	65
	4.6 Incident management	66
	4.7 Onderhoud en veiligheid	66
	4.8 Te water geraking	67
	4.9 Laadinfrastructuur	68
5	Kennislacunes	70
6	Conclusie	74
	6.1 Hoofdconclusie	74
	6.2 Deelconclusies	74
	6.3 Beantwoording onderzoeksvragen	77
7	Bibliografie	80



A	Overzicht geïnterviewde partijen	93
B	Overzicht interviewvragen	94
C	Wet- en regelgeving laadinfrastructuur	99

Samenvatting

Aanleiding voor dit onderzoek

Elektrisch rijden wordt in Nederland en daarbuiten steeds meer gemeengoed. De toenemende populariteit van elektrische auto's heeft de laatste tijd geleid tot meer aandacht in de media voor mogelijke veiligheidsrisico's bij elektrische auto's. Daarnaast zijn naar aanleiding van enkele incidenten met elektrische auto's in september 2019 Kamervragen gesteld over dit onderwerp. Deze toegenomen aandacht voor de veiligheidsrisico's van elektrische auto's heeft RVO ertoe gebracht om CE Delft te vragen om het uit 2014 stammende kennisoverzicht over de (potentiële) veiligheidsrisico's die het gebruik van elektrische personenauto's met zich meebrengen, te actualiseren.

Aanpak onderzoek

Voor dit onderzoek zijn 280 wetenschappelijke, semiwetenschappelijke bronnen en mediaberichten gevonden en bestudeerd over veiligheidsrisico's bij elektrische auto's. Daarnaast zijn er interviews afgenomen met 25 deskundigen. Dit onderzoek geeft daarmee een zeer compleet beeld van de beschikbare kennis op dit terrein.

Hoofdconclusie

Over het geheel genomen lijken elektrische auto's geen hoger veiligheidsrisico met zich mee te brengen dan fossiel aangedreven (oftewel conventionele) auto's. Veiligheidsrisico's die gelden voor elektrische auto's, gelden in veel gevallen ook voor conventionele auto's. Er is bovendien veel (internationale en nationale) regelgeving in relatie tot veiligheid, waar zowel conventionele als elektrische auto's aan moeten voldoen.

Veiligheidsrisico's die uit het onderzoek naar voren zijn gekomen, zijn: het optreden van thermal runaway (een proces waarbij door een verhoogde temperatuur of interne weerstand in de cellen van accupakketten brand kan ontstaan, waarna toxische gassen vrijkomen) en autobranden in parkeergarages (geldt voor zowel elektrische als conventionele auto's). Het daadwerkelijke risico is het product van de kans dat het optreedt en het effect als het optreedt. De literatuur en praktijktesten wijzen niet op een hoge kans van optreden van de genoemde veiligheidsrisico's. Ook zijn er momenteel geen aanwijzingen dat de effecten substantieel groter zijn. Statistieken en praktijkdata moeten in de toekomst uitwijzen of dit beeld overeenkomt met de praktijk.

Het optreden van een brand (als gevolg van een thermal runaway) brengt niet zozeer een hoger veiligheidsrisico met zich mee ten opzichte van een conventionele auto, maar vraagt wel om een andere werkwijze in het incidentmanagement. Specifiek geldt dit voor brand in een parkeergarage. De oorzaken hiervan zijn: accubranden kunnen lang voortduren, een accu kan opnieuw ontbranden en het is niet altijd direct duidelijk waar het accupakket zich in de auto bevindt. De gevolgen hiervan zijn dat er veel bluswater nodig is om brand te bestrijden, dat het wegslepen moeilijk is en eerst moet worden uitgezocht waar het accupakket zich bevindt. Daarnaast zijn er nog openstaande vragen die met name te maken hebben met veroudering van het accupakket en de betrouwbaarheid van het systeem dat wisselingen in spanning en temperatuur in het accupakket monitort door veroudering.

De vragen over mogelijke veiligheidsrisico's bij elektrische auto's in de media en politiek zijn deels ook geuit in de interviews die wij hebben afgenomen. Alhoewel wij op basis van de beschikbare kennis en geldende regelgeving dus concluderen dat de daadwerkelijke extra risico's van elektrische auto's gering zijn, kan aanvullend experimenteel of praktijkonderzoek mogelijk een deel van de vragen en zorgen die er leven, wegnemen.

Deelconclusies

We hebben in het onderzoek negen thema's onderscheiden. De belangrijkste conclusies met betrekking tot relevante veiligheidsaspecten voor elektrische auto's op deze thema's zijn:

1. **Voertuigveiligheid:** op basis van botstesten blijkt dat elektrische auto's minimaal even veilig zijn als fossiel aangedreven auto's. Het is niet mogelijk om de veiligheid van een (elektrische) auto te relateren aan één factor, zoals de massa of het zwaartepunt van de auto. De voertuigveiligheid is afhankelijk van de samenhang tussen verschillende factoren, waarbij moderne beveiligingssystemen een positief effect hebben op de voertuigveiligheid.
2. **Batterij schade:** het grootste risico is het optreden van een thermal runaway. Op basis van praktijktesten lijkt de kans hierop na een incident gering te zijn. Aanvullend onderzoek zou dit kunnen onderbouwen.
3. **(Afwezigheid) van geluid:** verplichte uitrusting met het Acoustic Vehicle Alerting System (AVAS) dekt het potentiële risico van de afwezigheid van geluid bij lage snelheden af.
4. **Brandveiligheid:** op basis van literatuur en interviews is er geen reden om aan te nemen dat er bij elektrische auto's een verhoogde kans op brand is en dat de effecten bij brand groter zijn. Het bijhouden van statistieken en praktijkdata kan helpen om dit beeld in de toekomst te bevestigen.
5. **Veiligheid in afgesloten ruimtes:** het veiligheidsrisico in parkeergarages is de afgelopen decennia vergroot voor alle type auto's. Recente onderzoeken laten zien dat het veiligheidsrisico voor elektrische auto's niet hoger lijkt te zijn dan voor fossiel aangedreven auto's. De duur van de brand en de kans op opnieuw ontbranden in combinatie met de parkeergarage bemoeilijkt het incidentmanagement. Hierdoor is het blussen en het bergen van elektrische auto's lastiger.
6. **Incidentmanagement:** de incident bestrijding van een elektrische auto is anders dan bij een fossiel aangedreven auto, zie hoofdconclusie.
7. **Onderhoud en veiligheid:** er zijn protocollen en trainingen voor garagepersoneel om te werken aan elektrische auto's. Risico is dat deze protocollen niet bekend zijn bij consumenten die sleutelen aan auto's en niet-gecertificeerde garages.
8. **Te water geraking:** er zijn diverse normeringen voor het onder water staan van accu's. Accu's van elektrische auto's zijn dusdanig ontworpen, dat ze volledig onder water kunnen staan. Er is geen literatuur gevonden over risico's van het gedeeltelijk onderwater staan van een accu. De verwachting is dat dit de risico's hiervan beperkt zijn.
9. **Laadinfrastructuur:** de laadmodi met ingebouwde controlesystemen zijn veilig en de bestaande regelgeving en technische standaarden voor laadpunten zijn van voldoende kwaliteit om een veilige laadinfrastructuur te waarborgen. Alle laadmodi zijn in meer of mindere mate kwetsbaar voor aanrijdingen, waarbij de laadmodi met ingebouwde controlesystemen automatisch afschakelen. Verder is de controle op installatie van (semi)publieke en private laadpunten niet centraal geregeld. Onduidelijk is of dit een extra veiligheidsrisico met zich meebrengt.

1 Inleiding

1.1 Aanleiding voor het onderzoek

Elektrisch rijden wordt in Nederland en daarbuiten steeds meer gemeengoed. Afgezet tegen benzine- en diesellootuigen zijn elektrische auto's echter nog steeds betrekkelijk nieuw en onbekend. Zaken die voor (onder meer) de overheid van belang zijn, zijn de algehele veiligheidsrisico's die gepaard gaan met de introductie van een nieuwe technologie als elektrisch rijden.

Om zicht te krijgen op de veiligheidsrisico's van elektrisch rijden is in 2014 door RVO en TNO de 'Factsheet feitenmateriaal elektrische auto's en veiligheid' opgesteld, waarin de veiligheidsrisico's van elektrische auto's en het gebruik ervan beknopt in kaart zijn gebracht (TNO, 2014). Sinds die tijd heeft elektrisch rijden een enorme vlucht genomen. Tussen 2014 en 2020 is het aantal volledige elektrische personenauto's gestegen van 4.620 naar ruim 130.000. Daar komen nog ruim 100.000 hybrides met een stekker bovenop en circa 80.000 andere voertuigen met een stekker zoals bestelauto's, tweewielers en vrachtwagens.

Door de toenemende praktijkervaring en de interesse voor elektrisch rijden vanuit de onderzoekswereld, is er steeds meer informatie beschikbaar over de veiligheidsaspecten die een rol spelen bij elektrisch rijden. Ook heeft de populariteit van elektrisch rijden de laatste tijd geleid tot meer aandacht in de media voor de mogelijke veiligheidsrisico's. Mede naar aanleiding van enkele incidenten met elektrische auto's zijn in 2019 ook Kamervragen gesteld over de veiligheidsrisico's (Ministerie van Justitie en Veiligheid, 2019). Deze gingen onder meer over:

- het opladen van elektrische auto's in parkeergarages;
- de preventie en bestrijding van accubranden al dan niet veroorzaakt door laadapparatuur of schade aan de voertuigen/accu;
- de ernst en gevolgen van accubeschadigingen;
- de ernst en gevolgen van autobranden bij elektrische auto's.

Gezien de ontwikkelingen sinds 2014 en de interesse vanuit de Kamer heeft de Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RvO) aan CE Delft gevraagd een actueel informatie-overzicht op te stellen met betrekking tot de veiligheid van elektrische auto's met een focus op elektrische personenauto's.

1.2 Doel van het onderzoek

Het doel van dit onderzoek was om een zo compleet en actueel mogelijk overzicht te geven van de kennis omtrent veiligheid van elektrisch rijden. Hiertoe is een zeer uitvoerig literatuuronderzoek uitgevoerd. Het literatuuronderzoek is aangevuld met interviews met in totaal 25 deskundigen die op verschillende werkterreinen actief zijn waarin zij te maken krijgen met elektrische auto's en mogelijke veiligheidsrisico's.

In het onderzoek is getracht de volgende onderzoeksvragen te beantwoorden:

1. Welke relevante onderzoeksresultaten in binnen- en buitenland zijn bekend op het gebied van veiligheid en elektrisch rijden?
2. Welke wet- en regelgeving, normen, veiligheidseisen en keurmerken bestaan er op het gebied van elektrisch vervoer en veiligheid? Wordt deze regelgeving nageleefd? Wordt erop gehandhaafd?

3. Is de bestaande wet- en regelgeving afdoende?
4. Hoe lopen de processen binnen het domein EV-veiligheid? Hoe landt de informatie bijvoorbeeld bij de veiligheidsregio's?
5. Welke witte vlekken er nog zijn op het gebied van elektrisch vervoer en veiligheid?
6. Welke adviezen kunnen worden gegeven ten aanzien van de onderzoeksresultaten en kennislacunes?

Een neven doel van het onderzoek was om kennislacunes te inventariseren. Het gaat daarbij zowel om kennislacunes die in de literatuur worden benoemd als kennislacunes, die door de geïnterviewden naar voren zijn gebracht. De belangrijkste kennislacunes die zijn opgenomen in Hoofdstuk 5. Daarbij zijn ook aanbevelingen gedaan voor de wijze waarop de kennislacunes kunnen worden weggenomen.

1.3 Leeswijzer

In Hoofdstuk 2 wordt ingegaan op de onderzoeksaanpak. Daarbij wordt de afbakening van het onderzoek besproken en ingegaan op de verschillende thema's ten aanzien van de veiligheid die in het onderzoek centraal staan. In Hoofdstuk 3 worden de resultaten van het literatuuronderzoek en de interviews behandeld. Ook wordt een meta-analyse van de gevonden/geraadpleegde bronnen gegeven en hoe deze zijn verdeeld over de verschillende veiligheidsthema's. In Hoofdstuk 4 wordt de huidige wet- en regelgeving in relatie tot veiligheid van elektrisch rijden behandeld. In Hoofdstuk 5 worden de geïnventariseerde kennislacunes besproken en worden aanbevelingen gedaan voor manieren om deze weg te nemen. In Hoofdstuk 6 presenteren we de conclusies waarin we een antwoord geven op de onderzoeksvragen.

2 Onderzoeksaanpak

2.1 Afbakening

We kijken in dit onderzoek primair naar elektrische personenauto's die opgeladen worden met een stekker. Dit zijn zowel volledig (batterij)elektrische personenauto's (BEVs) als plug-in hybride personenauto's. Brandstofcel-elektrische auto's (ook wel waterstofauto's) worden ook aangemerkt als elektrische auto's, maar vallen buiten de scope van dit onderzoek.

Aangezien de focus van het onderzoek ligt op elektrische personenauto's is er geen specifiek onderzoek verricht naar andere voertuigtypen zoals tweewielers, bestelauto's, vrachtwagens en andere vervoermiddelen.

In dit onderzoek wordt de veiligheid van elektrische auto's onderzocht op de volgende thema's:

1. **Voertuigveiligheid:** hierbij gaat het om veiligheidsaspecten die spelen bij elektrische auto's ten aanzien van de veiligheid van de bestuurder, andere weggebruikers, monteurs en veiligheidsdiensten en de eisen waar plug-in hybride en elektrische personenauto's aan moeten voldoen.
2. **Batterij schade:** bij dit onderwerp gaat het om welke risico's schade van batterijen met zich meebrengen.
3. **(Afwezigheid van) geluid:** dit betreft de mogelijke risico's van de lagere geluidsproductie van elektrische auto's voor de verkeersveiligheid.
4. **Brandveiligheid:** bij dit thema wordt gekeken naar overeenkomsten en verschillen tussen conventionele¹ en elektrische auto's op het moment dat er een autobrand ontstaat. Het gaat zowel om de risico's van (spontane) ontbranding als de risico's tijdens de brand en de benodigde middelen om de brand te bestrijden.
5. **Veiligheid in afgesloten ruimtes:** dit thema ligt in het verlengde van brandveiligheid algemeen en gaat over de aanvullende risico's wanneer de brand in of om een elektrische auto ontstaat in tunnels of parkeergarages.
6. **Incidentmanagement:** bij dit thema gaat het om de mogelijk andere handelingsinstructies die nodig zijn voor hulpdiensten bij ongevallen met elektrische auto's.
7. **Onderhoud en veiligheid:** hier gaat het om de vereiste kennis bij garagepersoneel, automonteurs en technici en consumenten die sleutelen aan auto's om goed om te kunnen gaan met specifieke veiligheidsrisico's met elektrische auto's.
8. **Te water geraking:** hierbij gaat het over mogelijke risico's van elektrocutie wanneer elektrische auto's gedeeltelijk of geheel onder water belanden.
9. **Laadinfrastructuur:** hierbij gaat het om de veiligheid en de risico's van laadinfrastructuur bij laden of bij een aanrijding met laadvoorzieningen.
- 10.

Ten opzichte van de factsheet uit 2014 zijn de onderwerpen 'batterij schade' en 'veiligheid in afgesloten ruimtes' toegevoegd.

Specifiek voor laadinfrastructuur hebben we in het onderzoek veiligheidsaspecten beschouwd van publieke en semipublieke laadpunten, zowel in pandig als in de buitenlucht.

¹ Met de term 'conventionele auto' bedoelen wij een 'auto aangedreven door een fossiele brandstof'.

Ook veiligheidsaspecten van privé-laadpunten op eigen terrein vallen binnen de scope van dit onderzoek.

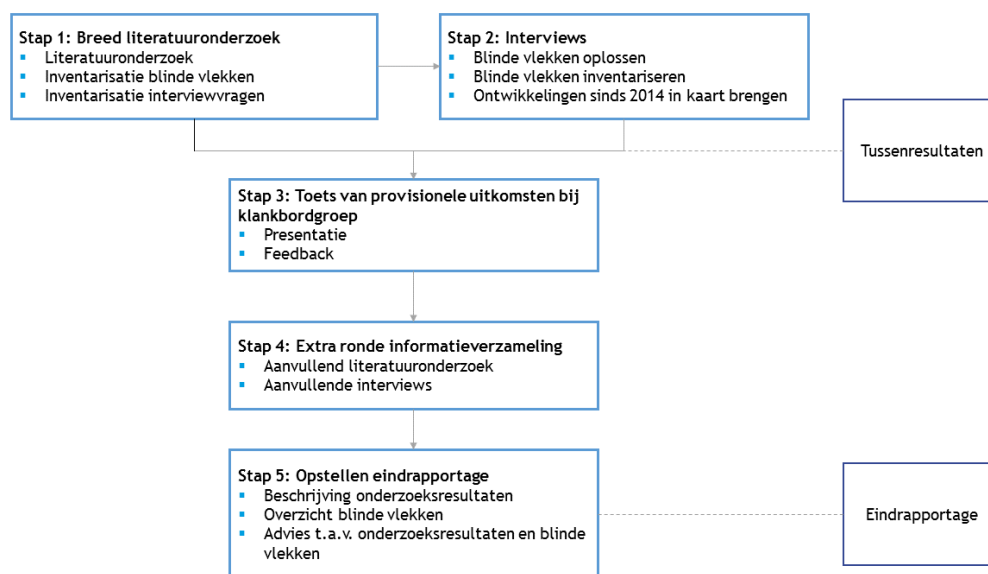
Het accent bij het onderzoek ligt op de fysieke veiligheidsaspecten die in de literatuur en interviews zijn benoemd voor de negen thema's. Daarnaast is er ook in bredere zin gekeken naar:

- wet- en regelgeving: daarbij gaat het om internationale (mondiale en Europese) en nationale wetten en regels die direct en indirect de veiligheid van elektrisch rijden beïnvloeden;
- organisatorische aspecten: hier gaat het om de wijze waarop het waarborgen veiligheid bij de daarvoor verantwoordelijke instanties is belegd en hoe deze partijen met elkaar samen dienen te werken.

2.2 Onderzoeksmethode

De resultaten van het onderzoek zijn verkregen middels een uitgebreid literatuuronderzoek en het afnemen van interviews. In Figuur 1 zijn de verschillende stappen die in het onderzoek zijn doorlopen weergegeven. Onder de figuur lichten we de belangrijkste stappen nader toe.

Figuur 1 - Stappen in het onderzoek



Literatuuronderzoek

Voor het literatuuronderzoek hebben wij zoveel mogelijk gebruik gemaakt van zowel nationale als internationale bronnen. Er is daarbij zoveel mogelijk gebruik gemaakt van wetenschappelijke (peer reviewed) artikelen en grijze literatuur. Deze hebben wij waar nodig aangevuld met nieuwsberichten en andere documentatie. De artikelen hebben wij gevonden in vakbladen, zoals het 'World Electric Vehicle Journal' en we hebben gebruik gemaakt van bijdragen aan vak gerelateerde conferenties (bijvoorbeeld: 'International Conference on Fire in Vehicles'). We hebben gezocht naar bronnen die zoveel mogelijk na 2014 zijn uitgebracht, dus na het verschijnen van de vorige versie van de factsheet.

Er is ook een meta-analyse uitgevoerd naar de kwantiteit en aard (wetenschappelijk of anders) van alle gevonden bronnen en hoe deze zijn verdeeld over de negen veiligheidsthema's. Deze meta-analyse (Paragraaf 3.1) geeft een eerste indruk van het eventuele gebrek aan kennis per veiligheidsthema en vormt een opmaat naar de inventarisatie van kennislacunes (zie ook hieronder).

Interviews

Deels parallel aan de uitvoering van de literatuurstudie zijn interviews afgenomen met 25 verschillende partijen die op diverse werkterreinen actief zijn waarin zij te maken hebben met elektrische auto's en mogelijke veiligheidsrisico's. Een overzicht van de geïnterviewde organisaties en bedrijven is te vinden in Bijlage A en een overzicht van de interviewvragen in Bijlage B.

In de interviews zijn telkens twee hoofdlijnen aan bod gekomen. De eerste hoofdlijn betrof het toetsen van de bevindingen uit het literatuuronderzoek aan de dagelijkse praktijk. Hiermee is inzicht verkregen in de mate waarin de vigerende kennis (uit onderzoek) afwijkt dan wel overeenkomt met de dagelijkse praktijk waar de geïnterviewden mee te maken krijgen.

De tweede hoofdlijn in de interviews betrof het inventariseren van vragen die leven bij experts en waar voor hun (vooralsnog) geen antwoord op te geven is. Deze vragen zijn gebruikt voor de inventarisatie van kennislacunes.

Inventarisatie kennislacunes

Het opstellen van een lijst met kennislacunes was niet eenvoudig, omdat gedurende het onderzoek bleek dat er veel, vaak ongelijksoortige en zeer (situatie)specifieke vragen opkwamen. De bestaande literatuur geeft op zeer (situatie)specifieke vragen doorgaans geen antwoord. Toch kunnen deze tot op heden onbeantwoorde specifieke vragen potentieel belangrijk zijn om mogelijke veiligheidsrisico's in beeld te brengen.

Door de onderzoekers/auteurs van dit rapport is getracht een prioritering te maken van alle vragen die leven onder experts en de meest acute vragen op te nemen in de lijst met kennislacunes. De prioritering is in de eerste plaats gedaan door te kijken of dezelfde (soort) vragen door meerdere geïnterviewden aan de orde werden gesteld. Hoe meer partijen dezelfde (soort) vraag stelden, hoe groter de kans dat deze als kennislacune is aangemerkt. Vervolgens is door de onderzoekers beoordeeld of deze vragen te onderzoeken zijn. Dat wil zeggen dat we een expertoordeel hebben geveld over de mogelijkheid om middels onderzoek (of anderszins) een antwoord te krijgen op deze vragen waarbij de inspanningen in verhouding staan tot het potentiële risico. De uiteindelijke lijst met kennislacunes is besproken in de klankbordgroep en waar nodig/gewenst aangevuld.

3 Onderzoeksresultaten

In dit hoofdstuk beschrijven wij voor elk van de negen veiligheidsaspecten de kennis die in de literatuur is beschreven. Tevens beschrijven we in dit hoofdstuk de bevindingen uit de interviews. Voordat we per veiligheidsaspect de resultaten van het literatuuronderzoek en de interviews bespreken, geven we in een meta-analyse een overzicht van het totaal aantal geraadpleegde bronnen en hoe deze zijn verdeeld over de geïdentificeerde veiligheids-onderwerpen.

3.1 Meta-analyse literatuuronderzoek

Voor dit onderzoek zijn in totaal 280 bronnen gevonden en geraadpleegd die te maken hebben met veiligheid van elektrische auto's (263 daarvan hebben publicatiejaar 2014 of later).

In Tabel 1 is een verdeling gegeven van de gevonden bronnen naar onderwerp per publicatiejaar. Er is te zien dat het aantal bronnen dat we hebben gevonden sterk verschilt per veiligheidsonderwerp. Voor 'te water geraking' en 'onderhoud en veiligheid' zijn weinig bronnen gevonden. Dit betekent echter niet dat de informatie in beide gevallen ontoereikend is. Op basis van de bronnen die zijn gevonden voor 'onderhoud en veiligheid' hebben wij namelijk een duidelijk beeld kunnen vormen van de ontwikkelingen en beschikbare informatie op dit gebied. Bij 'te water geraking' hebben wij specifiek gezocht naar informatie over gedeeltelijke te water geraking, omdat er in de factsheet van 2014 stond geschreven dat er weinig bekend was over het onderwerp en dat er onderzoek gedaan zou moeten worden. We zijn in ons onderzoek geen literatuur tegengekomen waaruit blijkt dat er inmiddels aanvullende informatie over bekend is.

Actueel is de combinatie van 'brandveiligheid', 'laadinfrastructuur' en 'parkeergarages'. Over zowel brandveiligheid als laadinfrastructuur zijn veel bronnen gevonden maar weinig wetenschappelijke bronnen dekken alle drie deze onderwerpen tegelijkertijd af. Daarnaast dekken de bronnen op het gebied van laadinfrastructuur niet alle specifieke vragen af die we van de opdrachtgever hebben gekregen. Er zijn met name weinig wetenschappelijke bronnen gevonden die ingaan op veiligheidsaspecten van laadinfrastructuur.

Tabel 1 - Aantal gevonden publicaties per thema naar publicatiejaar

Publicatiejaar	Voertuig- veiligheid	Geluid	Incident- management	Onderhoud & veiligheid	Brandveiligheid	Te water geraking	Afgesloten ruimtes	Onzichtbare beschadiging batterij	Laad- infrastructuur
2012	3	1	0	0	1	0	0	0	0
2013	2	3	1	1	1	1	1	1	1
2014	4	7	2	4	5	2	2	6	5
2015	0	4	1	0	1	0	0	0	1
2016	1	5	0	0	5	0	1	2	2
2017	1	3	0	0	4	1	1	0	4
2018	7	0	2	1	7	1	1	7	9
2019	14	5	11	2	25	0	9	20	22
2020	27	3	16	3	41	2	26	21	35
Onbekend	1	0	0	2	1	0	0	2	0
Totaal	60	31	33	13	91	7	41	59	79

In Tabel 2 is weergegeven hoe de gevonden literatuurbronnen zijn verdeeld over de onderzoeksdomeinen Fysieke veiligheid, Organisatorische aspecten en Wet- & regelgeving. Het is overduidelijk dat er vooral literatuur is over de fysieke veiligheidsaspecten van elektrische auto's. Over wet- en regelgeving en met name de manier waarop het waarborgen van veiligheid is belegd bij de verantwoordelijke instanties is weinig geschreven. De interviews vormen de belangrijkste bron om de verantwoordelijkheden van partijen in beeld te krijgen en na te gaan hoe zij met elkaar samenwerken.

Tabel 2 - Verdeling van literatuurbronnen over de drie onderzoeksdomeinen

Domein	Voertuigveiligheid	Geluid	Incidentmanagement	Onderhoud & veiligheid	Brandveiligheid	Te water geraking	Afgesloten ruimtes	Onzichtbare beschadiging batterij	Laadinfrastructuur
Fysieke veiligheid	46	28	26	7	89	6	36	47	54
Organisatorische aspecten	1	0	3	0	0	0	0	0	5
Wet- & regelgeving	15	3	4	6	2	1	3	15	20
Totaal	62	31	33	13	91	7	39	62	79

3.2 Voertuigveiligheid

3.2.1 Terugblik factsheet 2014

In 2014 zijn er eisen aan de Wegenverkeerswet 1994 toegevoegd voor elektrisch aangedreven voertuigen, die specifiek betrekking hebben op de elektrische aandrijflijn. Dit zijn Europese typegoedkeuringsregels aangevuld met Nederlandse eisen. Alle nieuwe automodellen moeten veiligheidstesten hebben ondergaan voordat ze op de markt verschijnen. Daarnaast werden in 2014 al de meeste modellen onderworpen aan EuroNCAP botsproeven waarbij elektrische auto's relatief veiliger naar voren kwamen ten opzichte van benzine- en dieselauto's (TNO, 2014). In de factsheet uit 2014 is daarnaast onderzoek gedaan naar de veiligheid van tweewielers (TNO, 2014). Dit valt echter buiten de scope van de huidige studie.

3.2.2 Stand van zaken 2020

De voertuigveiligheid van elektrische auto's is een actueel onderwerp waarover regelmatig berichten verschijnen in de media en waar ook politieke aandacht voor is. In diverse media klinken zorgen door over de veiligheid van elektrische auto's ten opzichte van conventionele auto's. Zo zijn er recent nieuwsberichten verschenen dat de grotere massa van elektrische auto's meer zware ongelukken zou kunnen veroorzaken (FD, 2020; Vos, 2020). Deze berichtgeving is gebaseerd op een recent uitgebracht onderzoek waarin geconcludeerd wordt dat elektrische auto's tot meer schade zullen leiden in de toekomst (Automotive Insiders ; Trend-Rx, 2020). Vanuit de autosector en wetenschap is kritisch gereageerd op dit onderzoek en de verwante berichtgeving (AMWeb, 2020; nu.nl, 2020; Hoekstra, 2020). Er zijn dus verschillende opvattingen over de voertuigveiligheid van elektrische auto's. Daarnaast zijn er meer aspecten dan alleen de massa die de voertuigveiligheid van een elektrische auto kunnen beïnvloeden. Deze sommen we hieronder op. Daarbij gaan we eerst in op de aspecten die we in de literatuur hebben gevonden en daarna op wat we in de interviews hebben gehoord.

Studies en publicaties

Elektrische auto's werken anders dan conventionele auto's. Deze verschillen zijn als volgt:

- Andere aandrijflijn: een elektrische auto wordt (mede) aangedreven door een elektromotor in plaats van door een verbrandingsmotor.
- Zwaartepunt: elektrische auto's hebben een lager zwaartepunt dan conventionele auto's (Office of Energy Efficiency & Renewable Energy, 2020).
- Massa: op dit moment hebben elektrische auto's nog een grotere massa dan vergelijkbare conventionele auto's.
- Acceleratie: elektromotoren kunnen direct maximaal koppel geven waardoor optrekken sneller verloopt dan bij een vergelijkbaar conventionele auto (ev-database, 2020).
- Remmen: bij het afremmen van een auto wordt bewegingsenergie omgezet in een andere vorm van energie. Bij conventionele remmen wordt bewegingsenergie omgezet in wrijvingsenergie en dus warmte. Bij elektrische auto's bestaat de mogelijkheid om de remenergie gedeeltelijk terug te winnen via recuperatie en deze energie terug op te slaan in het accupakket. Elektrische auto's kunnen daardoor een fractie eerder en harder remmen (electrek, 2018).
- Systemen: elektrische auto's zijn doorgaans uitgerust met systemen om veiligheid te waarborgen, zoals het Advanced Emergency Braking System (AEBS) en het Battery Management System (BMS) (Manners, 2020; Battery University, 2019b).

In deze paragraaf bespreken we wat bovenstaande kenmerken voor effect hebben op de veiligheid van de inzittenden en de omgeving van de auto. Het BMS wordt behandeld in Paragraaf 3.3.

Andere aandrijflijn

Een elektrische auto is uitgerust met een elektromotor die wordt aangedreven door een accupakket. Bij incidenten brengt dit andere risico's met zich mee dan bij incidenten met conventionele auto's. In Paragraaf 3.3 bespreken we de veiligheidsrisico's van accupakketten. In Paragraaf 3.5 tot en met 3.7 presenteren we onze bevindingen omtrent de brandveiligheid en het incidentmanagement in relatie tot elektrische aandrijving. Aan de elektromotor zijn componenten gekoppeld met een hoge spanning. Het werken aan en met een elektrische auto behoeft daarom andere eisen dan werken aan conventionele auto's. We lichten dit onderwerp verder toe in Paragraaf 3.8.

Er is bij elektrische auto's tot op zekere hoogte meer ontwerpvrijheid dan bij conventionele auto's: de elektromotor hoeft niet per se voorin de auto geplaatst te worden omdat een elektromotor compact is (Clean Technica, 2018). Nieuw ontwikkelde ontwerpen waar het accupakket op veilige en ruimtebesparende manier kan worden gepositioneerd, biedt de constructeur met de compactere bouwwijze van de aandrijflijn meer flexibiliteit en potentie om optimale veiligheid aan de inzittenden en medeweggebruikers te bieden bij een ongeval. Bij plaatsing van de motor moet bijvoorbeeld rekening gehouden worden met de kreukelzone omdat deze energie absorbeert bij een botsing (Clean Technica, 2018).

Zwaartepunt

Het zwaartepunt beïnvloedt de stabiliteit van de auto (in de lengte, van de zijkant en van boven). Bij elektrische auto's ligt het zwaartepunt meestal lager dan bij conventionele auto's. Hoewel de massa van een elektrische auto hoger is, biedt het lagere zwaartepunt meer stabiliteit waardoor de kans op 'over de kop slaan' vermindert. Daarnaast zorgt een lager zwaartepunt voor een verbetering van de rijkwaliteit (Office of Energy Efficiency & Renewable Energy, 2020).

De botsbestendigheid bij frontale botsingen is vooral afhankelijk van het zwaartepunt en de kreukelzone aan de voorkant van de auto. Een verandering van het zwaartepunt zorgt daardoor voor een verandering van de botsbestendigheid (Mazumder, et al., 2012). Dit speelt met name een rol bij retrofit auto's, waarbij een conventionele auto wordt omgebouwd tot een elektrische auto. Bij het ombouwen van de auto verandert zowel het zwaartepunt als de kreukelzone. Het ombouwen van een conventionele naar een elektrische auto heeft een nadelig effect op het zwaartepunt terwijl de kreukelzone juist verbeterd wordt (Sakurai & Suzuki, 2011). Dit nadelige effect wordt veroorzaakt doordat het accupakket ergens in een bestaande carrosserie, die daarvoor niet ontworpen is, moet worden geplaatst (bijvoorbeeld de bagage- of motorruimte).

Massa

De massa van elektrische auto's is op dit moment groter dan bij vergelijkbare conventionele modellen. In literatuur (over auto's in het algemeen, niet specifiek elektrische) komt eenduidig naar voren dat bij frontale botsingen tussen twee auto's de massa van de betrokken auto's van invloed is op de schade en verwondingen (Titheridge, et al., 2013). De bestuurder en inzittenden van de lichte auto hebben over het algemeen meer letsel dan de bestuurder en inzittenden van de zware auto. De oorzaak hiervan is dat de energie die vrijkomt bij een botsing, grotendeels geabsorbeerd wordt door de lichte auto (EC, 2020b). Dit is bevestigd in een data onderzoek van het Japanse ministerie van transport, waarbij in

bijna alle gevallen de bestuurder en inzittenden van de lichtere auto meer verwondingen hadden². Ook de impactzone was bij de lichte auto dieper dan bij de zwaardere auto (SAE International, 1996). In de onderzochte literatuur komt echter naar voren dat de vorm van de auto bij een frontale botsing en bij een frontale-zijwaartse botsing van grotere invloed is op de gevolgen dan de massa (Fildes, et al., 1993).

De hoge massa is niet altijd in het voordeel van een bestuurder en inzittende van de auto. Zo zijn er negatieve gevolgen voor de impact op de inzittenden van de auto bij een aanrijding met een onvervormbaar object. Daarnaast heeft een hogere massa een negatieve invloed op de stabiliteit van de auto in bochten. Constructief kunnen er aanpassingen gedaan worden aan de auto om deze risico's te beperken.

Het verschil in massa bij een aanrijding tussen een auto en een voetganger of tweewieler is zeer groot, waardoor de schadelijke gevolgen voor voetgangers en tweewielers groter kunnen zijn. De voetgangers of tweewielers absorberen de energie die vrijkomt uit de botsing en hebben veelal geen bescherming zoals bijvoorbeeld gordels en airbags om een gedeelte van die energie over te nemen. Er zijn tegenwoordig wel auto's op de markt waar airbags aan de voorzijde zijn geplaatst ter bescherming van de medeweggebruikers. Bij EURO-NCAP wordt de bescherming van kwetsbare weggebruikers ook beoordeeld, waardoor fabrikanten steeds meer rekening mee houden in het ontwerp. Het verschil in massa tussen een auto en voetganger of fietser is groot. De grotere massa van de elektrische auto is hierbij relatief gezien niet veel groter ten opzichte van een conventionele auto waardoor het effect bij een incident niet veel groter zal zijn. Naast massa speelt vooral snelheid een grote rol voor het letsel bij voetgangers en tweewielers.

In data van de Europese Commissie is te zien dat bij een aanrijding met 64 km/u met een voetganger, het in 85% van de gevallen een fataal incident betreft (EC, 2020b).

Acceleratie

Elektrische auto's kunnen sneller optrekken door het grote koppel van de motor en de koppeling niet aan hoeft te grijpen. Of dit daadwerkelijk gebeurt, hangt af van de rijstijl van de bestuurder. We hebben geen literatuur gevonden over veiligheidsrisico's van versneld accelereren.

Recuperatief remmen

De mate van recuperatief remmen is in de meeste auto's handmatig in te stellen. In principe moet het recuperatief remmen zoveel mogelijk uitgeschakeld blijven om energie te besparen. Het systeem moet alleen worden ingeschakeld als er moet worden afgeremd. De voordelen van recuperatief remmen zijn:

- Het is mogelijk om een fractie eerder te beginnen met remmen om een ongeluk te vermijden ten opzichte van een conventioneel remsysteem (LV, 2019; Office of Energy Efficiency & Renewable Energy, 2020; TNO, 2013). Dit is een technische mogelijkheid. Het is daarnaast afhankelijk van de reactiesnelheid van de bestuurder of er daadwerkelijk eerder geremd wordt.
- Bij recuperatief remmen wordt energie teruggewonnen. Niet alle energie wordt teruggewonnen, er zal altijd een vorm van energieverlies zijn (electrek, 2018).
- In sommige moderne auto's kan de mate van recuperatief remmen automatisch worden aangepast met behulp van een radar die het snelheidsverschil met de voorligger meet en daar de recuperatie op afstelt. Als de weg voor de auto vrij is, dan zorgt het systeem ervoor dat het voertuig kan uitrollen en geen gebruik hoeft te maken van het recuperatieve remsysteem.

² De onderzoeken in deze alinea zijn gebaseerd op auto's in het algemeen en niet specifiek op elektrische auto's.

Mogelijke nadelen van het recuperatieve remsysteem zijn:

- Recuperatief remmen is effectiever naarmate het een grotere auto betreft. Toepassing van een recuperatief remsysteem in kleine auto's zal daardoor minder zinvol zijn (electrek, 2018).
- In sommige systemen kan de mate van recuperatie manueel worden gestuurd. Dit vergt kennis en ervaring van de gebruiker.
- In een test met 90 participanten die een route moesten afleggen in een elektrische auto en daarna in een conventionele auto, is gemeten dat tijdens deze recuperatie fase de auto zeer snel afremt. Dit blijkt een mogelijk een risico voor bestuurders van andere auto's die achter de elektrische auto rijden (Nitsche, et al., 2014).
- Bij veelvuldig gebruik van het recuperatieve remsysteem, kunnen de andere remmen in de auto roesten (electrek, 2018).

Er zijn verder geen studies gevonden die aangeven hoe de algemene veiligheid beïnvloed wordt door recuperatief remmen.

Geavanceerde systemen

Elektrische auto's kunnen net als andere moderne auto's zijn uitgerust met geavanceerde systemen om veiligheid van inzittenden en de omgeving te waarborgen. Dit zijn hulp-systemen zoals een noodremsysteem, rijstrookassistentie en een achteruitkijkcamera. Vanaf 2022 zijn dergelijke systemen verplicht op alle nieuwe personenauto's (EU, 2019; ANWB, 2019). Daarnaast zijn elektrische auto's voorzien van een Battery Management System (BMS). Deze wordt besproken in Paragraaf 3.3. Het noodremsysteem, ook wel Advanced Emergency Braking System (AEBS), rekent uit of er kans op een aanrijding is (Manners, 2020).

Het effect van de toepassing van deze systemen is het beste te illustreren aan de hand van een voorbeeld. Zoals eerder genoemd, heeft de massa een zekere invloed op het letsel van een voetganger of tweewieler bij een aanrijding, maar daarnaast spelen systemen in de auto een rol. Zo is er uit de ongevallencijfers van BRON³ opgemaakt dat voetgangers minder vaak letsel oplopen bij een aanrijding met een SUV dan bij een aanrijding met een gewone personenauto. Bij aanrijdingen tussen fietsers en SUV's is wel meer letsel opgelopen dan bij aanrijdingen met gewone personenauto's. Uit EURO NCAP testen is gebleken dat de veiligheid voor andere weggebruikers bij een SUV goed is. Een verklaring hiervoor is dat SUV's zijn uitgerust met (betere) automatische remsystemen, terwijl gewone personenauto's dat niet altijd zijn (Ministerie I&W, 2020).

Elektrische auto's voldoen aan moderne wetgeving en zijn daarnaast vaak rijk uitgerust om ze aantrekkelijk te maken. Daardoor zijn elektrische auto's doorgaans goed uitgerust met dergelijke veiligheids- en assistentiesystemen. Het effect van de massa op het letsel van voetgangers of tweewielers wordt in het geval dat ze met dergelijke systemen zijn uitgerust gecompenseerd of neemt zelfs af.

Praktijktesten

Autofabrikanten doen er, evenals bij moderne conventionele personenauto's, alles aan om moderne elektrische auto's aan alle veiligheidseisen te laten voldoen. Moderne elektrische auto's doen op het gebied van veiligheid niet onder voor moderne auto's met verbrandingsmotor in botstesten, zowel bij frontale en zijwaartse botsingen als bij aanrijdingen vanachter. Er zijn diverse testresultaten die dit aantonen:

- In de V.S. zijn testen uitgevoerd met 42 (stekker)hybride en elektrische auto's. De testen zijn met verschillende snelheden vanuit verschillende richtingen uitgevoerd.

³ BRON staat voor 'Bestand geRegistreerde Ongevallen in Nederland'.

De hybride en elektrische auto's kwamen crashbestendiger uit de test dan vergelijkbare conventionele auto's (O'Malley, et al., 2015).

- Net als in 2014 hebben meerdere elektrische auto's het EURO New Car Assessment Program (NCAP) doorlopen. Dit bevat onder andere testen met 64 km/h frontale botsing, 50 km/h botsing van de zijkant en 29 km/h 'side pole'-test. Dit laatste kan in de praktijk bijvoorbeeld een boom of lantaarnpaal zijn. Bij deze testen zijn er geen problemen opgetreden in de elektrische systemen of bij de accu (European Road Safety Observatory, 2018).
- Het veiligheidsniveau van de modellen van Tesla is in verschillende proeven getest. Zo is de Model 3 samen met de BMW 3 serie in de EURO NCAP (onder andere botsproeven) in 2019 verkozen als veiligste in klasse van grote familieauto's (Euro NCAP, 2020b). Bij de Tesla Model S zijn bij andere botstesten vanaf de zijkant vergelijkbare resultaten waargenomen als bij vergelijkbare auto's met een verbrandingsmotor en botstesten vanaf de voor- en achterkant gaven betere resultaten voor de bestuurder van de auto (Allen, Allen, Allen & Allen, 2020). Daarnaast heeft Tesla Model S volgens de NHTSA⁴ de hoogst mogelijke veiligheidsscore behaald qua botsveiligheid. In vergelijking tot andere elektrische auto's scoren de Tesla's met name hoog op het gebied van veiligheid voor de bestuurder en safety assist vanuit de auto.
- De veiligheid voor voetgangers en fietsers komt bij elektrische en hybride auto's wisselend naar voren in de EURO NCAP testen (Euro NCAP, 2020c).
- Volvo heeft een botsproef uitgevoerd met een Polestar 2, een batterij elektrische auto. De test bestond uit een frontale offset-botsing waarbij de testauto met een snelheid van 64 km/u tegen een obstakel reed. Bij de test kwam het voorwiel vroegtijdig los waardoor de kans op ophoping van de constructie en vervormingen aan het interieur beperkt werden. De accu bleef daarnaast onbeschadigd en het SPOC-block⁵ bleef intact. Het SPOC-block is een kleine metalen beugel die aan de linker- en rechtervoorkant van het chassis bevestigd is. Deze voorkomt bij een botsing dat er metaal in het interieur terecht komt (Polestar, 2020). Daarnaast is de crashzone breder gemaakt omdat er geen groot motorblok is dat de klap van de botsing op kan vangen. Dit is gedaan door een groot aluminium blok te plaatsen achter de voorwielen. Deze verdeelt de energie bij een botsing beter (RTL Nieuws, 2020).
- De DEKRA heeft in samenwerking met de Universiteit van Göttingen botsproeven uitgevoerd met een Renault ZOE en drie Nissan LEAF auto's. Beide type auto's hebben de maximale score volgens de EURO NCAP systeem. Drie van de vier auto's zijn onderworpen aan een zijwaartse botsproef met een paal bij snelheden van 60 km/u en 75 km/u. Bij de vierde auto is een frontale botsing uitgevoerd bij 84 km/u. Het schade patroon van de botsproeven is vergelijkbaar met conventionele auto's en het spanningssysteem van de auto is automatisch afgesloten. De kans dat iemand een zijwaartse botsing bij de geteste snelheden overleeft, is klein. Dit geldt echter ook voor conventionele auto's (DEKRA, 2019).

Naast de botstesten heeft de Insurance Institute for Highway Safety (IIHS) de Tesla Model 3 en de Audi E-Tron SUV de 'top safety pick +' toegekend. Dit is de hoogst mogelijke onderscheiding. De Tesla Model S heeft hier dan weer net niet de hoogste onderscheiding gehaald (The Verge, 2019).

⁴ NHTSA staat voor 'National Highway Traffic Safety Administration'.

⁵ SPOC-block staat voor 'Severe Partial Offset Crash-block'.

Interviews

Vanuit de interviews zijn ten aanzien van de verschillen tussen elektrische en conventionele auto's geen aanvullende veiligheidsaspecten benoemd op het gebied van voertuigveiligheid. We hebben wel gehoord dat de veiligheidsperceptie op dit moment een groter wordend argument is om niet elektrisch te rijden bij ANWB-leden. Daarnaast hebben we uit de interviews informatie verkregen over typegoedkeuringen.

Fabrikanten nemen veiligheid mee als belangrijk thema in elke fase van de productie, namelijk bij: de vervaardiging van componenten, de materiaalkeuze, de constructie van de componenten en bij volledige auto's. Voordat een elektrische auto op de markt komt, worden er uitvoerige (praktijk)testen gedaan. Bij deze testen wordt getoetst aan wettelijke eisen en daarnaast gekeken naar aanvullende veiligheidseisen van de producenten. Deze testen zijn belangrijk omdat de risico's groot zijn voor de producent indien het misgaat.

In Europa dekt de typegoedkeuring voor elektrische auto's de veiligheidsrisico's voldoende af. Bij individuele goedkeuringen gaat het vaak om kleine series die aan lokale eisen moeten voldoen. Dit voertuig zet de fabrikant niet overal in de wereld af. Zonder afbreuk te doen aan de veiligheid worden bij deze kleinere series dan vaak compromissen gesloten waarmee zoveel mogelijk kosten kunnen worden bespaard veelal uitgaande van een bestaand voertuig dat wordt aangepast. Als een serieproductie nog niet mogelijk is, dan bieden individuele toelatingen een mogelijkheid om de markt open te breken om nieuwe technieken op een veilige manier toe te laten.

Daarnaast verklaarden geïnterviewden dat het kennisniveau bij gebruikers van elektrische auto's vergroot zou kunnen worden. Bij het CBR kan bijvoorbeeld aandacht gegeven worden aan elektrisch rijden. Argument uit de interviews is dat de meeste examinandi in de toekomst veelal elektrisch zullen gaan rijden, terwijl zij momenteel leren hoe een conventionele auto werkt. Daarnaast worden de meeste lessen gereden en examens afgenomen in een geschakelde auto om te voorkomen dat er een aantekening gemaakt moet worden op het rijbewijs dat er alleen in een automaat gereden mag worden. Elektrische auto's rijden als een automaat en worden dus in de meeste gevallen niet ingezet als les- en examenauto. Er zijn inmiddels initiatieven gestart om een gedeelte van autorijlessen uit te laten voeren in een elektrische auto.

Conclusies

De technische verschillen tussen conventionele en elektrische auto's zijn duidelijk in beeld:

- Andere aandrijflijn: bij het ontwerp van een elektrische auto moet rekening gehouden worden met de andere aandrijflijn, bijvoorbeeld in relatie tot de kreukelzone en de veilige positie van het accupakket in de auto. De constructeur heeft meer ontwerp-vrijheid dan bij een conventionele auto om de veiligheid voor de inzittenden en medeweggebruikers te vergroten door de grotere ruimte onder de motorkap.
- Zwaartepunt: elektrische auto's hebben meestal een lager zwaartepunt. Dit is gunstig voor de stabiliteit van de auto.
- Massa: elektrische auto's hebben een grotere massa dan vergelijkbare conventionele auto's. Dit heeft in een aantal gevallen een gunstig effect en in andere gevallen een ongunstig effect.
- Acceleratie: op basis van de literatuur en interviews kunnen wij geen uitspraken doen over veiligheidsrisico's ten aanzien van versneld optrekken.
- Remmen: op basis van de literatuur en interviews kunnen wij geen uitspraken doen over veiligheidsrisico's ten aanzien van recuperatief remmen.

- Systemen: de geavanceerde veiligheids- en assistentiesystemen die in moderne auto's meestal zijn ingebouwd, compenseren bij elektrische auto's deels het nadelige effect van de hogere massa en leveren zo een bijdrage aan de veiligheid van zowel de inzittenden als andere weggebruikers.

De systemen die zijn ingebouwd in elektrische auto's zorgen ervoor dat het letsel in onveilige situaties beperkt kan blijven. Door het AEBS wordt de auto bijvoorbeeld tot stilstand gebracht, wat letselschade bij voetgangers en tweewielers zal beperken. Hetzelfde geldt voor schade aan de minder zware auto bij een frontale botsing omdat, door het remmen, er minder botsenergie vrijkomt en geabsorbeerd hoeft te worden.

Uit de onderzochte resultaten van botstesten komen elektrische auto's vergelijkbaar of beter naar voren op het gebied van veiligheid. Er is wettelijk voorgeschreven dat elektrische auto's aan hetzelfde veiligheidsniveau moeten voldoen als conventionele auto's. Opvallend is de grote variatie in veiligheid voor voetgangers en fietsers tussen verschillende elektrische auto's bij de EURO NCAP rating in 2019. Oorzaak hiervoor is de verschillende vormgeving van de auto's. Deze kan een ongunstig effect hebben op het letsel van een voetganger of fietser bij een aanrijding. Een andere oorzaak is de werking van het AEBS. Bij de slechtst scorende auto werkte het AEBS wel, maar niet optimaal. Bij andere auto's werkte het AEBS goed. De conclusie hiervan is dat niet zozeer de elektrische aandrijflijn, maar verschillen in de vormgeving van de auto en de werking van het AEBS zijn van invloed op de veiligheidsprestaties van elektrische auto's.

Literatuur geeft eenduidig aan dat elektrische auto's moeten voldoen aan eenzelfde veiligheidsniveau als conventionele auto's, dit is wettelijk voorgeschreven. We kunnen concluderen dat het niet mogelijk is om de veiligheid van een (elektrische) auto ter discussie te stellen op basis van één factor. Het is belangrijk om meerdere factoren tegelijkertijd in beschouwing te nemen, en bij het ontwerp van een elektrische auto afwegingen te maken die rekening houden met alle factoren om op die manier veiligheid van de gebruiker te waarborgen. Zo kan het effect van de grotere massa van elektrische auto's niet los gezien worden van de veiligheidssystemen in de auto, zoals het AEBS.

3.3 Batterijschade

3.3.1 Terugblik factsheet 2014

In 2014 is geen specifieke informatie opgenomen over schade aan batterijen.

3.3.2 Stand van zaken 2020

Batterij elektrische auto's hebben de afgelopen tien jaar een sterke ontwikkeling doorgemaakt. De meest toegepaste batterijen in elektrische auto's zijn lithium-ion (li-ion) batterijen (hierna te noemen: 'batterijen'), waarvan verschillende samenstellingen zijn. De batterijen in de voertuigen zijn de afgelopen tien jaar lichter geworden, kunnen meer energie opslaan, kosten minder en de levensduur is langer geworden per eenheid vermogen. De batterijontwikkeling voor elektrische auto's is nog maar net op gang gekomen en er lopen veel onderzoeken naar het verbeteren van batterijen en naar nieuwe typen batterijen (Kessler, 2020). De exacte ontwikkeling van batterijen is moeilijk te voorspellen maar met de doorontwikkeling van batterijen wordt het algemene kennisniveau verhoogd wat kan resulteren in meer inzicht in de veiligheid van batterijen. Er lopen veel studies naar het vergroten van de capaciteit van het accupakket en naar het reduceren van het gewicht per eenheid vermogen. Recent zijn er een aantal onderzoeksresultaten verschenen in relatie tot veiligheid van accupakketten. In deze paragraaf zullen we deze resultaten bespreken.

Studies en publicaties

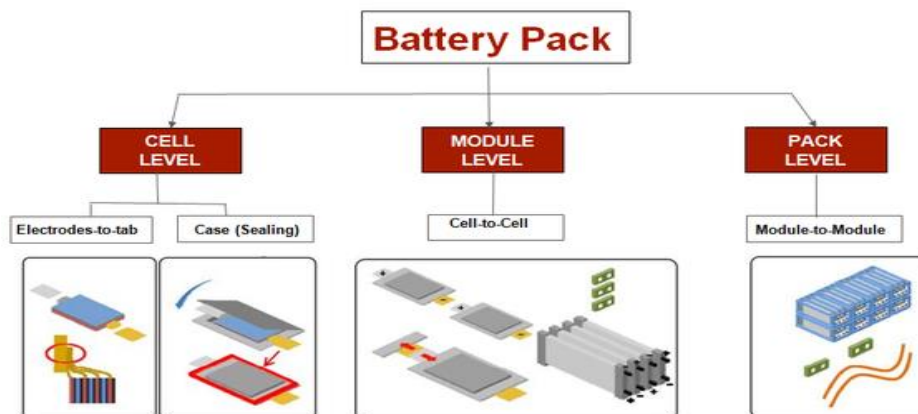
In relatie tot veiligheid van batterijen, behandelen we de volgende onderwerpen:

- Het accupakket: het accupakket werkt als een systeem waarin diverse onderdelen zijn opgenomen. We geven een toelichting op de verschillende onderdelen in het accupakket, beschrijven het begrip levensduur van een accupakket en beschrijven de werking van het BMS.
- Thermal runaway: bij een hoge temperatuur of een verhoogde interne weerstand in de cellen van accupakketten, kan brand ontstaan en kunnen er giftige stoffen vrijkomen. We beschrijven dit proces en presenteren mitigerende maatregelen.
- Praktijktesten: we beschrijven de resultaten van een aantal praktijktesten die zijn uitgevoerd met accupakketten.

Het accupakket

Een accupakket is opgebouwd uit verschillende modules met daarin cellen waarin energie wordt opgeslagen, zie Figuur 2. De specificaties van de cel⁶ hangen af van de opbouw van de cel en van de materialen die zijn toegepast (Samsung SDI, 2016). Door meerdere cellen samen te voegen tot een module, kan er meer energie worden opgeslagen. Modules vormen samen met een spanningsrail, koppelstukken, printplaat, behuizing en andere materialen het accupakket (UFO Battery, 2020). We hebben veel literatuur gevonden over de werking en de samenstelling van het accupakket. Dit varieert van beschrijvingen op het niveau van het accupakket tot aan wetenschappelijke bronnen waarin onderzoek is verricht naar de materialen en componenten in een cel, zoals de anode, kathode en separator⁷ (Zhua, et al., 2018) (Wang, et al., 2020). Voor deze studie voert het te ver om in te gaan op het component- en materiaalniveau in de cellen. We beperken ons daarom tot een algemene beschrijving van de veiligheidsrisico's op cel- en batterijniveau.

Figuur 2 - Opbouw van een accupakket.



Bron: (UFO Battery, 2020).

⁶ Een cel bestaat uit een kathode, anode, separator en elektrolyt.

⁷ Door testen in verschillende richtingen zijn bezwijkmechanismen in kaart gebracht waar rekening mee gehouden moet worden bij het ontwerp van een batterij. Tussen verschillende li-ion batterijen lijken verschillen te zijn in het gedrag bij belasting.

Afhankelijk van de capaciteit kan een accupakket een bepaalde hoeveelheid energie opslaan. De State of Charge (SoC) is het percentage dat de batterij geladen is ten opzichte van de capaciteit. De hoeveelheid energie die in een accupakket opgeslagen is, is bepalend voor de grootte van een brand of explosie. Als een batterij volledig opgeladen is, dan zal er meer energie vrijkomen dan bij eenzelfde type gedeeltelijk opgeladen batterij (Larsson, et al., 2016; Zhua, et al., 2018). Een hoge SoC zorgt voor een hoge Heat Release Rate (HRR), de hoeveelheid energie die per tijdseenheid vrijkomt bij een brand (NIST, 2018; Larsson, et al., 2016).

Het einde van de levensduur van het accupakket in een voertuig is bereikt als een batterij 80% van de capaciteit over heeft. Daarna kan het accupakket nog gebruikt worden voor andere doeleinden. Bij de levensduur van een batterij kan onderscheid gemaakt worden tussen 'calendar aging' en 'capacity fade'. Bij calendar aging bereikt de batterij de einde levensduur door ouderdom; deze veroudering heeft geen relatie met het gebruik van de batterij. Bij capacity fade bereikt de batterij de einde levensduur door het aantal keer volledig opladen van de batterij, dus het aantal keer doorlopen van de volledige cyclus van laden en ontladen (Battery University, 2020a):

- Capacity fade: de accupakketten van nieuw verkochte elektrische auto's gaan op dit moment naar verwachting 1.500-3.000 cycli mee voordat 20% van de capaciteit verloren gaat. De verwachting is dat de levensduur in 2030 zal toenemen naar 5.000-10.000 cycli (Hoekstra, 2019). De levensduur in kilometers is afhankelijk van het bereik van het accupakket. Bij een bereik van 200 km en een levensduur van 1.500 cycli is de levensduur $1.500 \times 200 = 300.000$ km.
- Calendar aging: onder de juiste omstandigheden kan de capacity fade onder de 10% over vijftien jaar gehouden worden.

De capaciteit in de cellen in accupakketten kan, naarmate de tijd verstrijkt, variëren (EV Reporter, 2020). Het verouderingsproces verloopt in het begin snel en na verloop van tijd langzamer (Battery University, 2020a).

Het Battery Management System (BMS) is een elektronisch systeem dat ervoor zorgt dat een oplaadbare batterij veilig en efficiënt functioneert (EV Reporter, 2020). Het is een ingebed systeem met elektronische componenten dat is verbonden met het accupakket en dat signalen geeft aan de gebruiker van de auto door het verzamelen van data, zie Figuur 3.

Het BMS heeft onder andere de volgende doelen:

- Veiligheid: monitoren van temperatuur, voltage en stroom binnen het accupakket op celniveau (EV Reporter, 2020; Battery University, 2019b).
- Prestatie: het BMS communiceert met het laadstation om te bepalen hoeveel stroom er veilig geladen kan worden en kan de stroomtoevoer reguleren. Daarnaast monitort het BMS tijdens het rijden dat het voltage in de cellen niet te laag wordt. Het verschil in capaciteit in de verschillende cellen wordt ook gemonitord en gelijk getrokken door het onttrekken van stroom uit cellen die meer zijn geladen dan andere cellen (cell balancing) (EV Reporter, 2020; Battery University, 2019b).
- Monitoren gezondheid en diagnose: het BMS-systeem schat de SoC en de State of Health⁸ (SoH) op basis van verzamelde data en koppelt dit terug aan de gebruiker van het voertuig (EV Reporter, 2020). Het BMS controleert op afwijkingen in het gedrag van cellen en kan failsafe mechanismen activeren om de gezondheid van het accupakket te waarborgen (EV Reporter, 2020; Battery University, 2019b).
- Communicatie: het BMS communiceert met andere elektronische onderdelen van de auto en met het laadstation (EV Reporter, 2020; Battery University, 2019b).

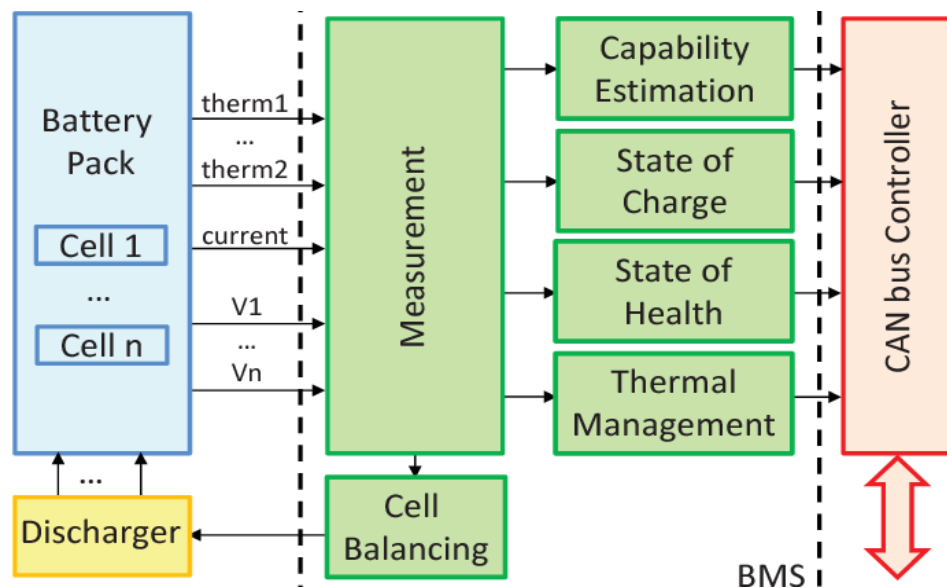
Niet alle punten die hierboven beschreven staan, zijn beschikbaar in elke BMS. Een BMS monitort in ieder geval de totale stroom door het accupakket, het voltage van het

⁸ State of Health is de huidige staat van de batterij ten opzichte van de oorspronkelijke capaciteit.

accupakket en de cellen en de temperatuur binnen een module (Battery University, 2019b). Een BMS bevat doorgaans één temperatuursensor per module om kosten, gewicht en volume te besparen (RISE, 2019). Bij afwijkende parameters, schakelt het BMS de spanning af en is de auto niet opnieuw te starten.

Informatie over de SoC en SoH is nog niet in alle BMS-systemen beschikbaar maar wordt ontwikkeld. De capacity fade is moeilijk meetbaar omdat het voltage en de interne weerstand normaal gesproken niet veranderen door capacity fade. Dit zijn parameters die het BMS juist zou kunnen meten (Battery University, 2019b).

Figuur 3 - Battery Management System (BMS)



Bron (EV Reporter, 2020).

Thermal runaway

Het grootste zorgpunt omtrent de veiligheid van batterijen ligt bij de cellen waarmee het accupakket gevormd wordt. Bij beschadiging van de cellen kan er gas vrijkomen waardoor er energie vrijkomt, wat een explosie kan veroorzaken. Als de spanning of de temperatuur te hoog wordt in de batterij, kan er een chemische reactie ontstaan met interne kortsluiting of interne temperatuuroptocht tot gevolg (RISE, 2019). De kritieke temperatuur verschilt per batterij (de brandweer hanteert hiervoor 60 graden Celsius) en een hete buitentemperatuur kan dit proces versterken (Economic Times of India, 2019) (Brandweeracademie, 2020a; Brandweer.nl, 2018a). De cel kan daarna falen, waardoor vlambare gassen vrijkomen en er brand of een explosie kan ontstaan. Dit proces wordt thermal runaway genoemd en kan enkele seconden of uren voortduren. De batterij kan zelf zuurstof produceren, waardoor het voertuig opnieuw kan ontbranden (Brandweeracademie, 2020b; SP Technical Research Institute of Sweden, 2017).

Bij een thermal runaway kan de hitte uit een cel in het accupakket overslaan naar de volgende cel, waardoor deze cel ook thermisch instabiel wordt. Dit kan een kettingreactie veroorzaken, waarbij elke cel uiteenvalt en het accupakket beschadigt en onbruikbaar is. Dit kan enkele seconden tot enkele uren duren. Het is belangrijk dat er tussen de cellen scheidingen aangebracht worden om dit overslaan te voorkomen (Battery University, 2019a). Het is bij ons op basis van literatuur onbekend in hoeverre er scheidingen worden

aangebracht in de huidige accupakketten. Een thermal runaway kan onder andere veroorzaakt worden bij een botsing doordat er mechanische vervorming optreedt waardoor batterijcellen beschadigd raken. Het effect van een botsing is niet altijd direct zichtbaar, omdat het afhankelijk is van de chemische reacties in de cellen van het accupakket. Kleine beschadigingen kunnen de interne structuur van de batterij veranderen, waardoor onder andere versnelde veroudering en toename van de interne weerstand kan optreden. Als gevolg van deze veranderingen in structuur kan de batterij oververhit raken, kan er energieverlies optreden en kan er een afname zijn van vermogen en capaciteit. Dit wordt gedetecteerd door het BMS. Een botsing die niet ernstig lijkt kan daardoor op langere termijn gevolgen hebben voor het accupakket met mogelijk gevolgen voor de levensduur van de batterij (Simeone, et al., 2018) en de veiligheid van de gebruiker. Risicovol bij een ongeluk is ook het vrijkomen van gassen (HF, POF₃, LiPF₆ en HCl) of vloeistoffen in combinatie met een ontstekingsbron (Battery University, 2019a; RIVM, 2019). De ernst van de interne kortsluiting die kan optreden is afhankelijk van meerdere factoren, zoals warmteontwikkeling en elektrische ontlading (RISE, 2019; Economic Times of India, 2019).

We hebben een aantal recente studies gevonden waarin maatregelen en denkrichtingen beschreven staan om thermal runaway te voorkomen of om thermal runaway te vertragen dan wel te beperken. Op voertuigniveau kan hierbij gedacht worden aan het beperken van het optreden van risicoverhogende situaties zoals botsingen, hoge temperaturen en vandalisme. Indien deze situaties toch optreden, kan extra bescherming van het accupakket voorkomen dat thermal runaway direct of later optreedt.

De mitigerende maatregelen in het accupakket en de batterijcellen kunnen chemisch, mechanisch, elektrisch of thermisch van aard zijn (Feng, et al., 2020). In de literatuur hebben we de volgende maatregelen gevonden om thermal runaway te voorkomen:

- Thermische stabiliteit batterijcel waarborgen bij risico verhogende situaties (Feng, et al., 2020).
- De ontvlambaarheid van de materialen in de batterijcellen beperken (Feng, et al., 2020; RISE, 2019).
- (Smart) Thermisch Management Systeem met blokkades tussen cellen en koelmechanismen in de cel (Feng, et al., 2020).
- Verhogen van de temperatuur waarbij thermal runaway optreedt⁹ (Kolp & Jossen, 2018; RISE, 2019)¹⁰.
- Zorgen voor een toename van de warmteafvoer in de batterij (Kolp & Jossen, 2018).
- Het toevoegen van thermische weerstand tussen cellen (Kolp & Jossen, 2018).
- Het beschermen van aangrenzende cellen (Kolp & Jossen, 2018).
- Plaatsing van cellen in de module op vertakte wijze is veiliger dan in serie geschakelde cellen (RISE, 2019).

De volgende maatregelen hebben we in de literatuur gevonden om thermal runaway te vertragen en het effect beperken:

- Verminderen van energie die vrijkomt bij thermal runaway (Feng, et al., 2020).
- Toepassen elektrische lonten om elektrische energie te reduceren bij interne kortsluiting (Kolp & Jossen, 2018).

⁹ Dit kan door de separator te veranderen in PE, PP/PE/PP, PE met keramische coating.

¹⁰ De meeste zuurstof komt vrij uit de kathode bij een thermal runaway. Door het toepassen van 'transition metals' aan de kathode wordt de temperatuur waarbij thermal runaway optreedt verhoogd.

- Voorkomen van overslaan van thermal runaway tussen cellen door het toepassen van andere materialen tussen batterijcellen¹¹ of door het aanpassen van de module waarin de cellen geplaatst kunnen worden (Lee, et al., 2020). Bij aanpassing van de module kan bijvoorbeeld gedacht worden aan open ruimtes tussen de cellen, het aanbrengen van warmteschilden, isolatie of koelplaten, warmtegeleiders, brandvertragers of coating (RISE, 2019).
- Bij scheiding tussen de modules in het accupakket kan de kans verkleinen op het overslaan van thermal runaway tussen modules (RISE, 2019).

We hebben geen literatuur gevonden over de effectiviteit van de hierboven beschreven maatregelen.

Identificatie van mogelijke thermal runaway en het waarschuwen bij optreden in het beginstadium wordt in de literatuur aangemerkt als risico beperkende maatregel (Feng, et al., 2020). Dit wordt gerealiseerd door monitoring in de cellen of modules via het BMS. Concreet betekent dit dat er sensoren geplaatst worden in de batterijcellen of modules die gekoppeld zijn aan het BMS. Bij chemische of thermische veranderingen geeft het BMS een signaal af aan de bestuurder (Feng, et al., 2020). Dergelijke sensoren worden al toegepast maar er wordt doorgaans slechts één temperatuursensor per module gebruikt. Het risico hiervan is dat een cel die niet in de buurt van de sensor geplaatst is, oververhit kan raken zonder dat er een waarschuwingssignaal afgegeven wordt. Indien het BMS wel veranderingen waarneemt, kan het BMS de module of het accupakket afsluiten om verdere problemen te voorkomen. Er zijn geen BMS-systemen die interne kortsluiting kunnen waarnemen binnen cellen (RISE, 2019). Een verklaring waarom er niet meer sensoren geplaatst worden in de modules of in de batterijcellen, is om kosten, gewicht en volume te besparen. Naast plaatsing van sensoren in cellen hebben wij geen andere concrete oplossingen gevonden om thermal runaway vroegtijdig te signaleren en om waarschuwingen te ontvangen.

De bovengenoemde maatregelen zijn suggesties om thermal runaway te mitigeren maar niet in alle gevallen is onderzocht hoe effectief de maatregelen zijn. In de literatuur wordt genoemd dat de impact van maatregelen kan worden onderzocht door te investeren in simulatietools en door testmethoden te ontwikkelen voor batterijcellen en het accupakket. Het gebruik van simulatietools kan daarnaast zorgen voor een reductie van kosten voor praktijktesten (Feng, et al., 2020).

Er bestaat onduidelijkheid over de relatie tussen veroudering van het accupakket en de kans op thermal runaway. Dit wordt ondervangen door detectie door het meten van afwijkingen door het BMS. In IFV (2020b) staat genoemd dat veroudering mogelijk tot gevolg kan hebben dat thermal runaway sneller ontstaat. De bevinding in het IFV rapport is gedaan op basis van een onderzoek uit 2013. In een recenter onderzoek uit 2019 staat dat veroudering een factor van invloed is op de kans op thermal runaway (Ren, et al., 2019). Deze studie is uitgevoerd op componentniveau. Uit het onderzoek is naar voren gekomen dat vooral de veroudering van lithium platen effect heeft op de prestatie ten aanzien van thermal runaway (Ren, et al., 2019). Dit is echter de enige bron die we tegen zijn gekomen die deze relatie onderschrijft.

We hebben wel verschillende bronnen gevonden die de relatie tussen laden en het verouderen van batterijen beschrijven. Hieruit zijn de volgende punten naar voren gekomen:

¹¹ In deze studie zijn testen uitgevoerd waarbij er tussen batterijcellen kleine perforaties zijn aangebracht die zijn gevuld met verschillende materialen. Geen van de materialen kon de ontwikkeling van thermal runaway volledig voorkomen maar het proces kon wel met meer dan een Factor 17 worden vertraagd.

- Het altijd volledig opladen van de batterij versnelt het capacity fade-proces. Vaker kleine hoeveelheden opladen en laden tot aan de benodigde hoeveelheid kWh voor een bepaalde rit verlengt de levensduur (Battery University, 2020a).
- Snelladen verkort de levensduur en de veiligheid door een toename in warmtegeneratie, versnellen van capacity fading en lithium plating¹² waardoor de kans op een thermal runaway toeneemt (Du, et al., 2019; UPS Battery Center, 2014). Eventuele afwijkingen worden gedetecteerd door het BMS.
- Veroudering treedt sneller op bij het laden bij laagtemperaturen, met name onder het vriespunt. Het opladen van en het gebruik van een koude batterij verlaagt de capaciteit en verkort daarmee de levensduur (Battery University, 2020a; 2020b). Daarnaast heeft het laden bij een laagtemperatuur tot gevolg dat er intern kortsluiting kan optreden. Het BMS kan er voor zorgen dat er niet geladen kan worden bij een koude temperatuur (RISE, 2019).
- De ideale temperatuur van een batterij bij laden is kamertemperatuur (Battery University, 2020a).
- Li-ion batterijen presteren het beste als de SoC tussen de onder- en bovengrens blijft. Deze zijn per batterij verschillend. Als de batterij minder geladen is dan de ondergrens of meer geladen is dan de bovengrens dan veroudert de batterij sneller (EV Reporter, 2020).

Praktijktesten

Accupakketten kunnen gevoelig zijn voor penetratie bij laterale botsingen, frontale botsingen en door puin op de weg (grind, puin van aanrijdingen, etc.). Het uitvoeren van testen aan accupakketten blijkt in de praktijk kostbaar, met als gevolg dat veel data gebaseerd is op numerieke analyses (RISE, 2019). We hebben in de literatuur resultaten gevonden van een aantal praktijktesten in relatie tot het accupakket:

- Bij de botsproeven van de DEKRA en Universiteit van Göttingen (een beschrijving van de test is te vinden in Paragraaf 3.3) zijn de accu's van de auto vervormd maar niet in brand gevlogen (DEKRA, 2019; VROOM, 2020). Op basis van de literatuur is niet duidelijk of dit gebaseerd is op het moment van de botsingen of dat er gekeken is naar het gedrag van de accu gedurende de periode na de botsingen.
- Bij de crashtest met de Polestar 2 (de test staat beschreven in Paragraaf 3.2 bleef de accu onbeschadigd. Volgens Polestar levert dit type botsing meestal geen risico's op voor de accu. Er is gebruik gemaakt van een crashlab waarin een dompelbad aanwezig was om, indien nodig, de elektrische auto daar in te kunnen plaatsen bij het optreden van schade aan de accu of brand (Polestar, 2020). Ook in de beschrijving van deze test is het onduidelijk of het gedrag van de accu gedurende de periode na de botsing gemonitord is.
- In het EVERS SAFE project is een EURO NCAP laterale impact test uitgevoerd op een Mitsubishi iMiEV met 35 km/u. Het batterijpakket van de Mitsubishi iMiEV vertoonde alleen lichte schade aan de behuizing van de batterij. In de weken na de test waren er geen ongebruikelijke temperatuurschommelingen zichtbaar en ook geen toxische chemicaliën buiten de batterij gemeten. Het HV-systeem buiten het accupakket werd automatisch uitgeschakeld na 0,2 seconden na de botsing (RISE, 2019; Robert Thomson, 2014).
- In het OSTLER project is een EURO NCAP laterale impact test uitgevoerd met een hybride Toyota Yaris met 50 km/u. Het batterijpakket van de Toyota Yaris vertoonde een indringing van 154 mm in het batterijpakket. Er is daarnaast getest met een bescherming van de behuizing van het accupakket op een passieve en een actieve manier. De passieve manier was een versterking van de behuizing en de actieve manier

¹² Lithium plating is de vorming van metalen lithium rondom de anode van li-ion batterijen tijdens het laden.

was een opblaasbare constructie op het moment van een crash. De passieve manier leidde tot een reductie van 58% bij indringing en de actieve manier leidde tot een reductie van 26% (RISE, 2019; EC, 2014).

- Bij een laterale impact test van de Mercedes Car Group waren duidelijk beschadigingen zichtbaar aan het batterijpakket maar trad er geen thermische of elektrische reactie op in het accupakket (RISE, 2019).

Interviews

In vrijwel alle interviews is de term thermal runaway door botsingen langsgekomen als het grootste risico van batterijpakketten en als veroorzaker van brand. Daarnaast is thermal runaway genoemd als gevolg bij het optreden van brand in andere voertuigen. Het overslaan van de brand naar een elektrische auto heeft tot gevolg dat de temperatuur toeneemt waardoor er thermal runaway kan optreden. Cijfers over het daadwerkelijk optreden van thermal runaway hebben wij niet gevonden.

Thermal runaway kan ook worden veroorzaakt door een fout in het productieproces. Wij hebben van de DEKRA begrepen dat autofabrikanten in de praktijk eisen stellen aan het productieproces van de toeleveranciers om deze risico's te minimaliseren. Hierbij wordt ook gekeken naar toegepaste materialen in het accupakket en naar de samenstelling van de cellen. Het is ons echter niet bekend of iedere autofabrikant op dit punt vergelijkbare eisen stelt.

Thermal runaway kan worden bestreden door methodes achteraf (blussen) of door het accupakket veiliger te maken om thermal runaway te voorkomen. Dit laatste kan gerealiseerd worden door extra eisen te stellen aan de accupakketten. Genoemde oplossingen om thermal runaway te beperken als het proces van thermal runaway in gang is gezet, zijn:

- Breukpunten plaatsen in koelleidingen in de batterij om thermal runaway vroegtijdig te stoppen.
- Een mechanisme in het accupakket inbouwen dat thermal runaway in een vroeg stadium stopt door het injecteren van water in het accupakket.
- Het aanbrengen van magnesium op de kathode om thermal runaway te vertragen¹³;
- Het aanbrengen van een schil rondom het accupakket gevuld met vloeistof.

Daarnaast kan het toevoegen van extra ribbels aan de behuizing van het accupakket ervoor zorgen dat het accupakket steviger wordt. De cellen in het accupakket raken daardoor minder snel beschadigd waardoor de kans op thermal runaway afneemt. Ook is benoemd dat Tesla bezig is met het plaatsen van warmteschotten tussen de cellen.

Een ander genoemd veiligheidsaspect is de veroudering van batterijen. Onduidelijk uit de interviews is in hoeverre de veroudering van batterijen effect heeft op thermal runaway, dit kwam ook in de literatuur niet duidelijk naar voren. In één interview is ons verteld dat batterijen nauwelijks verouderen en recent onderzoek van de TU/e bevestigt dit (Hoekstra & Steinbuch, 2020). Daarnaast is ons verteld dat het laden van accupakketten automatisch wordt afgeschakeld bij voldoende lading of bij waarneming van afwijkingen door het BMS. Deze factoren samen zouden er voor zorgen dat veroudering weinig risico's met zich meebrengt. In de literatuur hebben wij hier geen onderbouwing voor kunnen vinden.

De ANWB heeft op eigen initiatief zelf crashtesten uitgevoerd met accupakketten. Bij deze testen is gekeken naar de opwarming van het accupakket. Op dit moment wordt het

¹³ De ANWB is hierover in gesprek met leveranciers van batterijen.

accupakket nog niet uit elkaar gehaald om na te gaan welke schade er is aangericht maar dit gaat op termijn waarschijnlijk wel gebeuren. Uit deze testen is naar voren gekomen dat er geen problemen optraden met het accupakket. Daarnaast hebben wij van de DEKRA begrepen dat deze veiligheidsrisico's dermate goed worden afgedekt, dat er alleen gevaarlijke spanningen op kunnen treden als het accupakket in tweeën breekt. Wij hebben hierover geen informatie gevonden in de literatuur.

Conclusies

Ten aanzien van batterij schade kunnen we de volgende conclusies trekken:

- De levensduur van batterijen wordt gedefinieerd door capacity fade (op basis van het aantal keer volledig opladen van de het accupakket) en calendar aging (veroorzaakt door ouderdom). Het BMS waarborgt het veilig en efficiënt gebruiken van het accupakket.
- Thermal runaway komt in de literatuur en interviews naar voren als het grootste risico ten aanzien van het gebruik van accupakketten in auto's. Over het proces thermal runaway is veel gedetailleerde informatie beschikbaar in literatuur. In mindere mate is er informatie beschikbaar over mitigerende maatregelen.
- Het aantal praktijkproeven met accupakketten is schaars.

Op basis van literatuur en interviews is het onduidelijk hoe vaak een thermal runaway in de praktijk optreedt. De mitigerende maatregelen voor het accupakket zijn veelal denkrichtingen en voor zover bekend uit de literatuur en interviews nog niet toegepast. Als belangrijkste punten om thermal runaway tegen te gaan worden genoemd: het voorkomen van overslaan naar andere cellen en het reduceren van de warmte.

Daarnaast is zowel uit de literatuur als uit de interviews geen eenduidig beeld naar voren gekomen over de relatie tussen de veroudering van het accupakket en thermal runaway. Vast staat dat er factoren zijn die veroudering kunnen versnellen, zoals het (verkeerd) laden, laden bij koude temperaturen en een extreem warme omgeving. Deze factoren hebben onder andere tot gevolg dat de interne weerstand in de cellen toeneemt. Een toename van de interne weerstand wordt ook genoemd in relatie tot thermal runaway. Het zou dus kunnen zijn dat factoren die veroudering veroorzaken, een relatie hebben met thermal runaway. Dit is echter niet als zodanig genoemd in de literatuur en behoeft nader onderzoek.

In geen enkele praktijkproef uit de door ons onderzochte literatuur trad thermal runaway op na het uitvoeren van een crashtest. Bij in ieder geval één van de proeven zijn in de periode na de botsing metingen uitgevoerd om uit te sluiten dat thermal runaway op een later moment optrad. In deze proef is ook later geen thermal runaway waargenomen. De kans op het daadwerkelijk optreden van een thermal runaway lijkt op basis van de testen klein. Als we uitgaan van de formule: $r = k * e$, waarbij r het risico is, k de kans dat het optreedt en e het effect bij optreden, dan lijkt het risico op basis van deze testen klein (kleine k , waardoor r klein wordt). Daar staat tegenover dat er nog weinig testen daadwerkelijk uitgevoerd zijn en dat de impact bij het optreden van thermal runaway nog niet kwantitatief in kaart is gebracht. In de interviews zijn door meerdere partijen zorgen geuit over de risico's bij het optreden van thermal runaway. Er is behoefte aan een kwantitatieve risicoanalyse en aan aanvullende eisen aan accupakketten om thermal runaway te voorkomen.

3.4 Afwezigheid van geluid

3.4.1 Terugblik factsheet 2014

Elektrische auto's maken tot rijsnelheden van ongeveer 20 km/u vrijwel geen geluid. Bij hogere snelheden wordt het bandengeluid hoorbaar. Hybride en elektrische auto's moeten voorzien worden van een akoestisch voertuigwaarschuwingssysteem dat werkt tot een snelheid van 25 km/u. De afwezigheid van geluid lijkt geen grotere kans op een ongeval met zich mee te brengen voor voetgangers (TNO, 2014).

3.4.2 Stand van zaken 2020

Studies en publicaties

We behandelen de volgende punten in deze paragraaf:

- Afwezigheid van geluid.
- Het Acoustic Vehicle Alerting System (AVAS): een systeem dat andere weggebruikers een waarschuwing geeft van de aanwezigheid van een elektrische auto door een geluidsignaal (electrived.com, 2019) (The Verge, 2019).

Afwezigheid van geluid

Vervanging van conventionele auto's door elektrische auto's kan een geluidsreductie veroorzaken omdat uit de meeste studies blijkt, net als in 2014, dat een elektrische auto vrijwel geen geluid maakt tot 20 km/u (RVO, 2014; Pallas, et al., 2015; Stelling-Konczak, et al., 2015; Moller Iversen, et al., 2013; Czuka, et al., 2016; Campillo-Davo, et al., 2016; The New York Times, 2019; SWOV, 2011). De meeste studies concluderen dat de afwezigheid van geluid geen extra hinder vormt voor de veiligheid van andere weggebruikers (SWOV, 2011; Dudenhöffer, et al., 2011), terwijl andere studies een verhoogd veiligheidsrisico zien voor voetgangers en fietsers:

- Uit Brits onderzoek blijkt dat elektrische auto's een 40% hogere kans hebben op een aanrijding met een voetganger dan een conventioneel voertuig (Guide Dogs, 2014).
- Bij een onderzoek uit 2013 zijn elektrische en conventionele auto's vanaf 50 meter afstand op beperkte snelheid gaan rijden in de richting van de deelnemers. Deze hoorden de elektrische auto op veertien meter aankomen en een conventionele auto op 36 meter afstand (Altinsoy, 2013). Andere bronnen bevestigen dat voetgangers een elektrische auto van minder ver horen aankomen dan een conventionele auto (EC, 2019a; Dudenhöffer, et al., 2011).

Bij snelheden boven de 20 km/u wordt het verschil in geluid tussen elektrische en conventionele auto's steeds kleiner en vanaf 50 km/u is het verschil volledig verdwenen. Daarnaast is het bandengeluid van een elektrisch en een conventioneel auto ongeveer hetzelfde (Berge, et al., 2015; Ejsmont, et al., 2014). De grootste reductie komt van de toepassing van laag geluid asfalt en niet van de toepassing van speciale banden voor elektrische auto's (Vejdirektoratet, 2015).

Het AVAS-systeem

Vanaf 1 juli 2019 is het AVAS verplicht voor nieuwe type elektrische auto's en vanaf 1 juli 2021 voor alle nieuwe elektrische auto's in de EU (electrived.com, 2019; EC, 2019a). Het AVAS geeft waarschuwingssignalen af aan andere weggebruikers en moet eventuele veiligheidsrisico's indammen.

Onderzoek naar verschillende typen waarschuwingsgeluiden die een AVAS zou kunnen hebben wijst uit dat niet alle geluiden hetzelfde effect hebben. Er werden grote verschillen tussen de waarschuwingsgeluiden gevonden. Sommige signalen leidden tot een verbetering in het tijdig detecteren van het voertuig, met zelfs eerdere detectietijden dan een verbrandingsvoertuig. Voor andere geluiden gold dat niet. Sommige geluiden werden door de bestuurders van de elektrische auto als vervelend ervaren (Poveda-Martínez, et al., 2017). Uit ander onderzoek is daarnaast gebleken dat waarschuwingsgeluiden beter waar te nemen zijn onder droge omstandigheden dan bij regen (Parizet, et al., 2014). In een derde studie werd geen verschil in detectietijd van waarschuwingsgeluiden waargenomen tussen blinde deelnemers en deelnemers met volledig zicht (Swart, et al., 2016).

Interviews

Veilig Verkeer Nederland geeft lespakketten op basisscholen. In de lespakketten zijn elektrische auto's inmiddels opgenomen vanwege het geringe geluid bij lage snelheden. Door de introductie van het AVAS-systeem is dit probleem van tijdelijke aard. Op dit moment maakt controle van het AVAS-systeem geen onderdeel uit van de APK-keuring.

Conclusie

Ten aanzien van geluid spelen de volgende punten:

- Afwezigheid van geluid: er is veel informatie over de (gevolgen van) afwezigheid van geluid bij elektrische auto's. De meeste studies concluderen dat de afwezigheid van geluid geen extra hinder vormt voor de veiligheid van andere weggebruikers maar er zijn ook studies die aangeven dat de afwezigheid van geluid wel veiligheidsrisico's met zich meebrengt;
- Het AVAS-systeem: dit is vanaf 1 juli 2019 verplicht voor nieuwe type elektrische auto's en vanaf 1 juli 2021 voor alle nieuwe elektrische auto's waardoor andere weggebruikers een waarschuwing krijgen van de aanwezigheid van een elektrische auto.

Op basis van literatuur en interviews is de verwachting dat het AVAS-systeem voor voldoende veiligheid zal zorgen bij snelheden lager dan 20 km/u. Voor snelheden hoger dan 20 km/u is het AVAS-systeem niet noodzakelijk, omdat het geluidsverschil tussen een elektrische en een conventionele auto steeds kleiner wordt. Vanaf 50 km/u is dit verschil volledig verdwenen en overheerst het bandengeluid. Controle van het AVAS-systeem maakt geen onderdeel uit van de APK-keuring.

3.5 Brandveiligheid

3.5.1 Terugblik factsheet 2014

Autofabrikanten stellen hoge eisen aan de brandveiligheid van elektrische auto's. In 2014 waren er per autofabrikant gedetailleerde protocollen beschikbaar waarin staat beschreven hoe te handelen bij brand. Ook werden er trainingen ontwikkeld voor de Nederlandse hulpdiensten. Daarnaast waren er vragen over wat de gevolgen zouden zijn bij een calamiteit bij een mogelijke beschadiging van de elektrische installatie of aan het accupakket. In de factsheet is informatie opgenomen over door de DEKRA uitgevoerde brandtesten. Elektrische auto's kwamen goed uit deze testen, met als kanttekening dat de rook bijzonder giftig kan zijn en dat er veel bluswater nodig was om de branden te bestrijden (TNO, 2014).

3.5.2 Stand van zaken 2020

Een brand met een elektrisch auto verloopt in beginsel anders dan een brand met een conventioneel auto, omdat de auto wordt aangedreven door een andere energiebron. Zo kan het uren duren voordat een accupakket geheel is opgebrand, terwijl het brandverloop van een conventionele auto veel sneller is. Oorzaken van branden in elektrische auto's kunnen, net als bij conventionele auto's, extern zijn door bijvoorbeeld brandstichting of een overslaande brand. Anders bij een elektrische auto is dat er thermal runaway kan optreden (zie Paragraaf 3.3 voor uitleg over thermal runaway).

Studies en publicaties

We zullen in deze paragraaf de volgende onderwerpen behandelen:

- Verschillen en overeenkomsten brand conventionele en elektrische auto's: in de literatuurstudie hebben we zowel verschillen als overeenkomsten gevonden bij brand met elektrische auto's ten opzichte van conventionele auto's.
- Brandbestrijding: verschillen bij een brand met een elektrisch auto zorgen voor andere werkwijze van de brandweer.
- Praktijktesten: we hebben diverse praktijktesten gevonden in de literatuur. De resultaten van de testen bespreken we in deze paragraaf.

Verschillen en overeenkomsten brand conventionele en elektrische auto's

Een brand in een elektrische auto kan op een aantal punten vergeleken worden met een conventionele autobrand:

- **Temperatuur:** het Instituut Fysieke Veiligheid heeft literatuuronderzoek uitgevoerd naar temperatuurverschillen bij brand tussen conventionele en elektrische. Uit dit onderzoek is naar voren gekomen dat de hoogte van de temperatuur van de brand bij beide type auto's vergelijkbaar is (IFV, 2020b).
- **Intensiteit van de brand:** de intensiteit van een brand wordt uitgedrukt in het brandvermogen, ook wel de Heat Release Rate (HRR) genoemd. Dit is de snelheid van warmteontwikkeling door brand. Er zijn diverse factoren die invloed hebben op het brandvermogen, waaronder de SoC en de energie in het accupakket of de brandstoftank. Uit verschillende proeven in studies waarbij elektrische en conventionele auto's vergeleken zijn, is gebleken dat de HRR vergelijkbaar is voor beide type voertuigen (Sun, et al., 2020; Lam, et al., 2016; IFV, 2020b).
- **Brandlast:** de brandlast bij een elektrische auto is afhankelijk van de grootte van het accupakket en de SoC op het moment van ontbranden. Voor conventionele auto's geldt in principe hetzelfde: een grote brandstoftank kan meer brandstof en dus energie opslaan. Hoe voller de brandstoftank, hoe hoger de brandlast. Gemiddeld genomen is de brandlast van elektrische en conventionele auto's vergelijkbaar (Sun, et al., 2020).
- **Brandverloop:** hier gaat het om het verloop van een brand bij temperatuur en vermogen in de tijd (IFV, 2020b). Een brand in een accupakket kan uren duren terwijl een brand met een conventionele auto sneller verloopt. Bij een elektrische auto warmt het accupakket langzaam op en ontwikkelt de brand zich in de eerste paar minuten gelijkmatig en trager dan bij een conventionele auto. Bij het optreden van de thermal runaway, neemt de temperatuur snel toe (Sun, et al., 2020; IFV, 2020b). Daarnaast is er na het blussen van een conventionele auto geen kans meer op ontbranding terwijl dit bij een elektrische auto wel het geval is. De oorzaak hiervan is de aanwezigheid van energie in nog niet ontbrande cellen die wel beschadigd zijn of een verhoogde temperatuur hebben (SP Technical Research Institute of Sweden, 2017).
- **Toxische gassen:** bij zowel conventionele als elektrische auto's komen giftige gassen vrij bij brand (Sun, et al., 2020). Veel van deze stoffen komen overeen. Het verschil is dat

bij een accubrand, er meer waterstoffluoriden vrijkomen (1,8 x zoveel) (Lecocq, et al., 2012). Een verhoogde concentratie van waterstoffluoride kan mogelijk leiden tot huidirritatie (IFV, 2020b). Bestrijding van brand kan veilig worden uitgevoerd bij een goede arbeidshygiëne en zonder langdurige inzet met meer dan 20 tot 30 minuten in de rook (IFV, 2020a).

- Warmtestraling: bij de aanwezigheid van brandbare materialen is de warmtestraling de hoeveelheid warmte die vrijkomt per vloeroppervlakte (IFV, 2020a). Uit literatuur blijkt dat bij 100% SoC de warmtestraling van een elektrisch auto vergelijkbaar is met dat van een conventioneel auto (Sun, et al., 2020; IFV, 2020b).
- Brandbestrijding: door het verschil in brandverloop en de aanwezigheid van waterstoffluoride, is de brandbestrijding anders bij elektrische auto's (Brandweeracademie, 2020a; 2020b).

Op basis van literatuur is de conclusie dat de kans op het in brand raken van een geparkeerd elektrisch auto waarschijnlijk niet groter dan bij een conventioneel auto (Sun, et al., 2020). Een data-analyse van WWU Münster over brandincidenten bij conventionele en elektrische auto's tussen 2010 en 2015 onderschrijft dit (WWU Münster, 2018).

De praktijktesten die in Paragraaf 3.3 behandeld zijn, geven goede resultaten voor de brandveiligheid en het optreden van thermal runaway na een botsing (DEKRA, 2019; Polestar, 2020; Robert Thomson, 2014; RISE, 2019).

Brandbestrijding

Het bestrijden van brand bij elektrische auto's is anders door de kans op opnieuw ontbranden door thermal runaway, het lang voortduren van de brand en doordat het accupakket goed is ingepakt (IFV, 2020b; ANWB, sd). Voor het blussen van één elektrische auto, is er meer dan 10.000 liter bluswater nodig om een brand in een accupakket te bestrijden¹⁴ (US Fire Administration, 2020). Een tankautospuiter heeft capaciteit voor 2.000 liter waardoor meerdere bluswagens nodig zijn of een brandkraan om een brand bij een elektrische auto onder controle te krijgen (Brandweer.nl, 2018a). Om deze reden laten hulpdiensten elektrische auto's vaak uitbranden en worden ze geborgen door plaatsing in een salvage- of doppelcontainer. Deze containers worden verderop in de paragraaf toegelicht.

Om een handvat te bieden bij het blussen van brand in een elektrische auto, heeft de brandweer in 2020 een aandachtskaart uitgebracht en een handelingsperspectief gepresenteerd over de bestrijding van brand bij elektrische auto's (IFV, 2020b). Hierin staat beschreven hoe een elektrische auto benaderd moet worden en hoe er gehandeld moet worden bij een risico op brand of bij het optreden van brand. Hierin wordt onderscheid gemaakt tussen twee scenario's:

1. Brandbestrijding: in dit scenario moet de auto geblust worden en zijn er een aantal veiligheidsmaatregelen die genomen moeten worden om risico's te beperken. Het advies is om te blussen met twee stralen met lagedruk, waarvan één bedoeld is voor het blussen van het accupakket en één voor de auto. Daarna dient het accupakket langdurig gekoeld worden door een lagedrukstraal of door het onderdompelen in water (Brandweeracademie, 2020b; Brandweeracademie, 2020a).
2. Beschadigd accupakket: in dit scenario gaat het over het voorkomen van een thermal runaway. Het advies is om een gasmeter te hanteren om toxische gassen te meten en om het accupakket te koelen met een lagedrukstraal (Brandweeracademie, 2020b; Brandweeracademie, 2020a).

¹⁴ De exacte hoeveelheid benodigde bluswater hangt af van de hoeveelheid energie die in de accu aanwezig is op het moment van ontbranden.

In de literatuur hebben wij diverse blusmethoden gevonden voor het bestrijden van brand bij een elektrisch auto. We kunnen hierbij onderscheid maken tussen methoden die reeds worden toegepast en methoden die ontwikkeld (zouden kunnen) worden. De reeds toegepaste methoden zijn:

- Regulier blussen: dit vindt plaats via een tankautospuut (Brandweer.nl, 2018a).
- Dompelcontainer: dit is een container die kan worden gevuld met water waarin een elektrische auto geplaatst kan worden. Deze wordt in de praktijk ingezet als een auto brandt of heeft gebrand maar ook na een botsing waarbij er kans is op ontbranden in de periode na de impact (Vreugdenhil BV, 2020). Een nadeel van het onderdompelen van elektrische auto's is de kostbaarheid vanwege het ingewikkelde bergingsproces en omdat de auto achteraf total loss is.
- Salvagecontainer: een salvagecontainer is een container die is uitgerust met een laadvloer, lier, sprinklerinstallatie en het Condensed Aerosol blussysteem¹⁵. Deze container kan worden ingezet wanneer er wel schade aan het elektrische systeem of batterijpakket is, maar de auto nog niet is ontbrand (Transport Online, 2019).

De blusmethoden die ontwikkeld (zouden kunnen) worden zijn:

- Het aanbrengen van een sprinkler in het accupakket om op celniveau te kunnen koelen en blussen (IFV, 2020b).
- Toepassing van een brandslangaansluiting aan de mantel van het accupakket. Daarop kan direct een brandslang worden aangebracht zodat er water in het accupakket aangebracht kan worden. Renault heeft experimenten uitgevoerd met dit systeem (IFV, 2020b).
- De DEKRA heeft testen uitgevoerd met een thermische lans. Op het accupakket is een markering aangebracht op de locatie waar de stalen mantel van het accupakket kan worden ingeslagen. Het bluswater kan op deze locatie rechtstreeks worden ingebracht (DEKRA, 2019; IFV, 2020b).
- Een bedrijf uit Wijchen heeft een patent aangevraagd voor een plantaardig blusschuim. Het blusschuim bindt zich aan watermoleculen om langdurig te koelen (De Gelderlander, 2019).

Bij de ontwikkeling van deze methoden moet tevens rekening gehouden worden met de incidentbestrijders, zoals het brandweerpersoneel.

Na ontbranding is er lithiumoxide aanwezig in het accupakket. Dit reageert met water tot lithiumhydroxide waardoor de pH-waarde van het water toe kan nemen. Dit proces blijft voortduren zolang het water in contact is met het ontbrande accupakket (RIVM, 2019). Er is een verschil in milieu-impact bij regulier blussen en bij onderdompeling in een dompelcontainer:

- Regulier blussen: uit de literatuur blijkt dat het bluswater dat gebruikt is voor een elektrisch auto, ongeveer dezelfde milieu-impact heeft als bij een conventioneel auto. Het bluswater kan daarom via het riool worden afgevoerd (IFV, 2020b).
- Dompelcontainer: bij een dompelcontainer is dezelfde hoeveelheid water gedurende een lange periode in contact met het accupakket. De pH van het koelwater kan gedurende die periode toenemen. Het gebruik van een dompelbak kan daardoor een grotere impact hebben op het milieu dan een reguliere blusmethode (IFV, 2020a).

Praktijkproeven

Wij hebben de volgende praktijkproeven gevonden ten aanzien van brandveiligheid in elektrische auto's:

¹⁵ Het Condensed Aerosol blussysteem zet, na activatie, een reactie in gang waarbij de vrijgekomen stoffen binden aan de radicalen van de verbranding (FirePro, 2020). Dit is een efficiënte manier van vuur doven, echter werkt het alleen in afgesloten kleine ruimtes zoals een salvage-container.

- In de botsproeven van de DEKRA is getest met een thermische lans, waarmee als het ware in het batterijpakket wordt geprikt om lokaal te blussen. Dit betekent dat het blussen plaatsvindt binnen de batterij, wat moet voorkomen dat de brand overslaat naar andere cellen in het accupakket. Op basis van de testen van DEKRA lijkt dit een methode met potentie maar er is meer onderzoek nodig om duidelijk te maken hoe effectief en veilig deze methode daadwerkelijk is. Geen van de geteste voertuigen is na de botsingen in brand gevlogen en het hoogspanningssysteem werd automatisch ontkoppeld na de botsing waardoor de brandweer geen risico liep op elektrocutie. Omdat er geen brand is ontstaan na het uitvoeren van de crashtesten, hebben de onderzoekers kortsluiting gegenereerd om toch testen uit te kunnen voeren. Met het blussen met CO₂ was de brand goed te bestrijden. De onderzoekers gaven als advies mee om de temperatuur van de accupakketten in de gaten te houden met behulp van warmtecamera's (VROOM, 2020; DEKRA, 2019).
- Voor twee Franse autofabrikanten zijn brandtesten uitgevoerd met accupakketten en brandstofmotoren, en met een volledig opgeladen elektrisch auto en een auto met een volledig gevulde dieseltank. Uitgangspunt voor de test was het uitbreken van brand in de ruimte waar de passagiers zich bevinden. De HRR, de algehele vrijgekomen warmte en de verbrandingswarmte waren nagenoeg gelijk voor accu's en verbrandingsmotoren. De cumulatieve massa van de vrijgekomen gassen CO₂, CO, koolwaterstoffen, NO, NO₂, HCl and HCN waren bij het elektrische auto en de diesel aangedreven auto ongeveer gelijk. De hoeveelheid vrijgekomen HF was groter bij de elektrische auto. De onderzoekers geven aan dat resultaten anders zullen zijn bij interne kortsluiting in het accupakket of bij overladen. Er is niet beschreven wat er anders zal zijn in dat geval (Lecocq, et al., 2012).
- In een onderzoek van het Nationale Onderzoekcentrum van Canada zijn brandproeven gedaan met in totaal zeven elektrische auto's, hybride auto's en conventionele auto's. Ieder voertuig is gedurende 30 minuten blootgesteld aan vuur door een plas benzine. Er zijn metingen verricht naar de temperatuur, warmtestroom, HRR en het voltage in het accupakket. Er is in alle gevallen getest met een volle brandstoftank en er is onderzocht wat de invloed is van de SoC. Conclusie is dat er bij elektrische auto's overall geen groter (brand)gevaar gevormd werd dan bij conventionele auto's. De conventionele auto's lieten hogere pieken zien in HRR en warmtestroom. Deze pieken traden eerder of gelijk op met de pieken van de elektrische auto's. Bij elektrische auto's was een tweede piek te zien in de HRR. De eerste piek had waarschijnlijk te maken met het branden van voertuigcomponenten en de tweede (lagere) piek werd veroorzaakt door het branden van het accupakket. Een hogere SoC zorgde ervoor dat deze piek eerder optrad dan bij een lagere SoC (Lam, et al., 2016).
- In een Zweeds onderzoek naar brand in accupakketten zijn testen uitgevoerd met de twee meest voorkomende li-ion batterijcellen¹⁶ en accupakketten waarin deze cellen zijn opgenomen. De HRR en de vrijkomende toxische gassen zijn gemeten. Conclusie van het onderzoek is dat het moeilijk is om conclusies te trekken over een groter systeem (een elektrische auto) op basis van testen met enkele cellen of een groep cellen. Deze conclusie geldt ten aanzien van het gedrag van waterstoffluoride emissies en de HRR. In de testen is waargenomen dat de massa en het afschermen van cellen hebben invloed op het brandverloop (Struk, et al., 2015).

¹⁶ Dit zijn Lithium Iron Phosphate (LFP) en Lithium Nickel Manganese Cobalt Oxide (NMC) batterijen.

Interviews

In de interviews zijn onze bevindingen uit de literatuur over het algemeen onderschreven. De kans op brand kan niet gekwantificeerd worden, waardoor er geen uitspraken gedaan kunnen worden over daadwerkelijke risico's. Het beeld van de geïnterviewden is dat de kans op brand bij elektrische auto's niet groter is dan bij conventionele auto's, maar dat vooral de bestrijding van een brand anders is. De oorzaken en de gevolgen van het optreden van een brand zijn niet goed te kwantificeren door een gebrek aan statistieken, zowel nationaal als internationaal. Er zijn wel ontwikkelingen op dit gebied. Zo is de brandweer bezig met het opzetten van een database waarin informatie over incidenten met elektrische auto's zal worden opgeslagen.

Tijdens de interviews zijn aanvullende alternatieven voor blusmethoden aan bod gekomen:

- Branddekens die over de auto kunnen worden geslagen om brandoverslag te voorkomen.
- Technieken waarmee direct het chassis gekoeld kan worden.
- Er wordt geïnventariseerd of het mogelijk is om auto's zo te fabriceren dat thermal runaway in een vroeg stadium gestopt kan worden vanuit het accupakket zelf, bijvoorbeeld door de injectie van koelvloeistof in het accupakket.

Naast deze blusmethoden is genoemd om het BMS te koppelen aan eCall¹⁷, waarbij het BMS (risico op) brand signaleert en dit signaal afgeeft aan eCall. eCall maakt vervolgens melding bij de alarmcentrale waardoor hulpdiensten snel ter plaatse kunnen zijn.

Conclusies

De volgende onderwerpen zijn aan bod gekomen:

- Verschillen en overeenkomsten tussen brand met conventionele en elektrische auto's: op basis van de literatuur is te concluderen dat het brandverloop bij een brand met een elektrisch auto anders is (tragere ontwikkeling, wel langduriger) dan bij een conventioneel auto. De vrijkomende giftige gassen komen grotendeels overeen, maar er komt bij een elektrisch auto meer waterstoffluoride vrij. Aspecten zoals de temperatuur en intensiteit van een brand, de brandlast en warmtestraling zijn vergelijkbaar voor beide type auto's.
- Brandbestrijding: bij het bestrijden van een brand met een elektrisch auto is veel meer water nodig dan voor een conventioneel auto. Er zijn diverse blusmethoden in ontwikkeling, waarbij veelal gekeken wordt naar methoden waarbij direct in het accupakket geblust kan worden.
- Praktijktesten: er zijn diverse praktijktesten uitgevoerd met brand bij elektrische auto's om een vergelijking te maken met conventionele auto's. Die bevestigen het beeld dat er bij elektrische auto's over het algemeen geen groter brandgevaar is dan bij conventionele auto's in termen van temperatuur, warmtestraling en brandintensiteit. In de proeven kwam naar voren dat er grotendeels dezelfde gassen vrijkomen, maar dat er meer waterstoffluoride vrijkomt bij een brand met een elektrische auto. Het brandverloop is anders, conventionele auto's lieten hogere pieken zien in intensiteit en warmtestroom. Bij conventionele auto's treedt de piek eerder dan, of gelijk op met de pieken van de elektrische auto's en bij elektrische auto's was ook een tweede piek te zien. Bij botstesten bleek geen van de geteste auto's na de botsingen (direct) in brand te vliegen en het hoogspanningssysteem werd automatisch ontkoppeld.

Op basis van de literatuur en praktijktesten is er geen reden om aan te nemen dat de kans op brand bij elektrische auto's hoger is dan bij conventionele auto's. De praktijkdata die

¹⁷ eCall (Emergency Call) neemt automatisch contact op met de alarmcentrale bij een ongeluk (Rijksoverheid, 2018).

we hebben gevonden onderschrijft dit. Het daadwerkelijke risico is de kans van optreden vermenigvuldigd met het effect als het optreedt. Op basis van de literatuur is het aannemelijk dat de kans van optreden, klein is. Daarmee wordt het risico automatisch ook kleiner. Ook komt het beeld naar voren dat het effect van een brand met een elektrische auto, niet groter is dan bij een conventionele auto. Door het verzamelen van de statistieken kan dit in de toekomst mogelijk onderbouwd worden met meer praktijkdata.

3.6 Veiligheid in afgesloten ruimtes

3.6.1 Terugblik factsheet 2014

Het onderwerp ‘veiligheid in afgesloten ruimtes’ was geen hoofdstuk in de factsheet uit 2014. Er werd destijds slechts genoemd dat ‘brandweerkorpsen niet meer terughoudend hoeven te zijn met het verlenen van vergunningen voor laadpalen in parkeergarages’.

3.6.2 Stand van zaken 2020

Bij een discussie over de veiligheid van elektrisch rijden in afgesloten ruimtes is met name brandveiligheid actueel. Bij zowel conventionele als elektrische auto's brengt een brand in afgesloten ruimtes, zoals tunnels en parkeergarages, relatief grote risico's met zich mee. Dit komt onder meer door de grote kans op het overslaan van de brand vanwege de nabijheid van andere auto's, de giftige rookwolken die blijven hangen en het feit dat de bouwconstructie kan worden aangetast door de hitte en de erg lastige bestrijding door de brandweer. Het voorlaatste punt vormt potentieel een extra groot risico in parkeergarages indien er ook woningen, kantoren of winkels boven gevestigd zijn. Voor een uitgebreide discussie van de risico's op brand (ten opzichte van conventionele auto's) verwijzen wij de lezer naar Paragraaf 3.5. Als er bij een garagebrand elektrische auto's betrokken zijn, blijkt uit de praktijk ook dat het bestrijden van de brand nog ingewikkelder is. Vanwege deze specifieke risico's behandelen wij de veiligheid van elektrisch aangedreven auto's in afgesloten ruimtes als apart hoofdstuk in deze studie. Er is het afgelopen jaar veel aandacht geweest voor de veiligheid van elektrische auto's in parkeergarages. Zo zijn er Kamervragen gesteld over dit onderwerp, welke een aanleiding vormden voor het opstellen van dit rapport (Ministerie Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties, 2020). Ook verscheidene media hebben aandacht aan dit onderwerp besteed (Trends in auto leasing, 2020; NH Nieuws, 2020a; Economic Times of India, 2019; AD, 2020). Zowel in Nederland als internationaal zijn het afgelopen jaar relevante studies en adviezen met betrekking tot dit onderwerp gepubliceerd. Het Instituut Fysieke Veiligheid heeft een uitgebreid rapport gepubliceerd over de brandveiligheid van parkeergarages met elektrisch aangedreven voertuigen (IFV, 2020b). Deze studie noemt dat het algemene risico van branden in parkeergarages flink is toegenomen de afgelopen decennia, omdat zowel elektrische als conventionele auto's steeds groter worden en steeds meer uit brandbare kunststoffen bestaan. Dit betekent dat bestaande parkeergarages niet altijd bestand zullen zijn tegen het optreden van autobranden. Los van deze ontwikkeling is het parkeren en laden van elektrische auto's een nieuwe realiteit in parkeergarages, die andere veiligheidsrisico's met zich meebrengt.

Studies en publicaties

In deze paragraaf behandelen we de volgende onderwerpen:

- Risico's van brand in een afgesloten ruimte: brand met auto's in parkeergarages brengt bepaalde risico's met zich mee. Bij brand met elektrische auto's spelen andere risico's door de verschillen bij brand tussen een elektrisch en conventioneel auto.

- Adviezen risico-beperkende maatregelen en incidentbestrijding: een samenvatting van de opgestelde adviezen ten aanzien van het verminderen van risico's en het bestrijden van incidenten met betrekking tot elektrische auto's in afgesloten ruimtes, inclusief laadinfrastructuur in parkeergarages.
- Praktijktesten: onder dit kopje valt alles wat kan worden geconcludeerd op basis van uitgevoerde praktijktesten en daadwerkelijke garagebranden.

Risico's van brand in een afgesloten ruimte

Brand in een afgesloten ruimte zoals een tunnel of een parkeergarage brengt andere risico's met zich mee dan brand in een open ruimte zoals op straat. Deze risico's zijn te verdelen in risico's die gelden voor alle voertuigen en risico's die specifiek gelden voor elektrische auto's. De risico's die gelden bij brand bij voertuigen in een afgesloten ruimte in het algemeen:

- gevaar voor mensen door hitte en rookgassen;
- ophoping van rookgassen door beperkte rookgasafvoer;
- groot risico op brandoverslag door nabijheid andere voertuigen;
- risico's voor beschadigingen aan de bouwkundige constructie, met als ergste scenario instorting van de garage;
- lastige bestrijdbaarheid door de brandweer.

Zoals in Paragraaf 3.5 is beschreven, zijn er verschillen tussen een brand bij elektrische auto en een brand bij een conventionele auto. Het grootste verschil is voor een afgesloten ruimte is dat het blussen van een accubrand lastig is, waardoor in de praktijk veel bluswater gebruikt wordt of dompelbakken worden ingezet voor de incidentbestrijding. Deze wijze van incidentmanagement is praktisch erg lastig in parkeergarages, omdat het niet mogelijk is om met de dompelbak bij de betreffende auto te komen.

Het Zweedse onderzoeksbureau RISE heeft een studie uitgevoerd naar de specifieke risico's van brand door elektrische auto's in parkeergarages in Noorwegen, met als conclusie dat er geen aanwijzingen zijn dat het laden van elektrische auto's leidt tot een verhoogde kans op brand (RISE, 2019). Het IFV stelt echter dat nader onderzoek nodig is naar de kans op brand door laden van elektrische auto's in parkeergarages, omdat het laden een additionele potentiële brandoorzaak is (IFV, 2020b). Dit geeft aan dat er nog geen overeenstemming is in de literatuur over of, en zo ja in welke mate, het laden van elektrische auto's zorgt voor grotere veiligheidsrisico's in parkeergarages.

Adviezen risico-beperkende maatregelen en incidentbestrijding

Aan de hand van de beschikbare kennis heeft het IFV een rapport uitgebracht met adviezen ten aanzien van het beperken van risico's en eventuele incidentbestrijding (IFV, 2020b). Ten eerste is een aantal algemene categorieën met daarbinnen specifieke maatregelen geformuleerd in het IFV-rapport, die zowel uitkomst bieden voor de brandveiligheid van elektrische auto's als conventionele auto's in garages. Voor een volledige beschrijving van deze adviezen verwijzen wij de lezer naar het rapport van het IFV. Een korte samenvatting van de adviezen specifiek voor het parkeren en laden van elektrische auto's is opgenomen in deze tekst. Deze adviezen dienen te worden gelezen als mogelijkheden die per specifieke locatie overwogen kunnen worden, niet als een optelsom:

- Bouwkundige aanpassingen: hierbij kan gedacht worden aan het aanpassen van de constructie van de parkeergarage voor een betere bescherming tegen brand, mogelijk specifiek op plaatsen waar laadvoorzieningen staan. Daarnaast kunnen laadpalen worden voorzien van aanrijdbeveiliging om de kans op brand te verkleinen en kan ervoor

worden gekozen om in ondergrondse parkeergarages elektrische auto's verdiept te parkeren¹⁸.

- Installatietechnische aanpassingen: ten aanzien van de laadinfrastructuur kan de mogelijkheid om alle laadvoorzieningen in één handeling af te schakelen onderzocht worden. Ook kan worden overwogen om laadpalen en parkeerplaatsen voor elektrische auto's niet op plekken bij ventilatieopeningen en vluchtroutes te plaatsen en verder kan een verdringingsventilatie/rookwarmteafvoer zorgen voor snelle afvoer van toxische gassen.
- Organisatorische maatregelen: in deze categorie moet vooral gedacht worden aan instructies en informatie, zoals: instructies voor het correct gebruik van de parkeergarage en laadvoorzieningen, het informeren van voertuigbestuurders over wat te doen bij brand en hoe om te gaan met storingsmeldingen.
- Repressieve maatregelen: repressieve maatregelen kunnen helpen bij de complexe brandbestrijding. Dit zou bijvoorbeeld kunnen gaan om aanpassingen aan blus- en waterwinningsvoorzieningen zodat kan worden voorzien in de grote benodigde hoeveelheid bluswater voor elektrische auto's. De mogelijkheden voor de brandweer om een brand te bestrijden kunnen worden vergroot door bijvoorbeeld een snelle melding van de brand, een goede rookafvoer, goede bereikbaarheid (vanaf de straat) en het aanbrengen van sprinklerinstallaties. Het herkenbaar maken van plaatsen waar elektrische auto's laden kan de brandweer helpen bij een eerste beeldvorming bij een incident. Ook kan er aandacht besteed worden aan de wijze waarop een elektrisch aangedreven voertuig na het blussen naar buiten kan worden gebracht.

We hebben de volgende maatregelen gevonden in de literatuur om veiligheidsrisico's te beperken in relatie tot laadinfrastructuur in parkeergarages:

- Afschakelen stroomvoorziening: een voorziening waarmee alle laadvoorzieningen in één keer kunnen worden uitgeschakeld (IFV, 2020b).
- Constructieve veiligheid: in een parkeergarage ter plaatse van de laadvoorzieningen eventueel extra bescherming bieden aan de constructie (IFV, 2020b).
- Locatie laadvoorzieningen: niet op plaatsen waar ventilatielucht wordt toegevoerd zodat de verbrandingsproducten niet (verder) naar binnen worden verspreid (IFV, 2020b).
- Afspraken met gebruikers: in private parkeergarages kunnen afspraken gemaakt worden over het veilig gebruik van laadvoorzieningen door middel van een gebruikersovereenkomst. In publieke parkeergarages kan gewerkt worden met een laadinstructie voor gebruikers nabij de laadvoorzieningen.

Praktijktesten

Er is betrekkelijk weinig praktijkonderzoek gedaan naar de effecten van branden met elektrische auto's in afgesloten ruimtes. Dergelijk onderzoek op volledige schaal is kostbaar, wat verklaart dat deze onderzoeken niet vaak worden uitgevoerd. Bij een recente Zwitserse studie is een tunnelbrand met een elektrisch auto nagebootst op verkleinde schaal met een accu van 4 kWh. Uit het onderzoek zijn de volgende conclusies naar voren gekomen (Mellert, et al., 2020):

- giftige gassen bleven onder de drempelwaardes en de vrijkomende stoffen zijn niet schadelijker dan van een brand in een conventioneel auto;
- er is geen corrosie van de constructie waargenomen;

¹⁸ Als auto's verdiept geparkeerd staan in een bouwkundige 'bak' die onder water kan worden gezet, kan op deze manier een eventuele brand worden geblust. Bouwkundig gezien is dit voornamelijk een optie voor parkeerplaatsen die op de onderste verdieping van de parkeergarage zijn gelegen.

- moderne ventilatiesystemen van tunnels en garages kunnen bij autobranden het hoofd bieden aan de afvoer van giftige rook, ook als dat om een brandend elektrisch auto gaat;
- een brandende elektrische auto is niet gevaarlijker dan een conventionele autobrand als het om hitteontwikkeling gaat.

Daarnaast hebben we in de literatuur een studie van het Franse tunnelinstituut gevonden, waarbij experimenten zijn uitgevoerd met betrekking tot de tunnelveiligheid van elektrische auto's. De experimenten zijn uitgevoerd in een tunnel. Er zijn geen botstesten uitgevoerd en er is ook geen onderzoek gedaan naar de waarschijnlijkheid dat er botsingen plaatsvinden met elektrische auto's in tunnels. De conclusies van het onderzoek zijn dat (Mellert, et al., 2018):

- de kans op brand in tunnels van elektrische auto's vergelijkbaar is met conventionele auto's;
- de toxische gassen die vrijkomen bij brand met elektrische auto's wel een gevaar kunnen vormen indien het ventilatiesysteem in de tunnel niet afdoende is;
- op basis van de resultaten verwachten de onderzoekers niet dat bestaande tunnels moeten worden aangepast, maar er zal wel ander incident management nodig zijn dan bij conventionele auto's.

Naast geplande praktijktesten kunnen ook nuttige lessen worden geleerd uit situaties waar daadwerkelijk branden in parkeergarages zijn voorgekomen waarbij elektrische auto's waren betrokken. In Nederland zijn hier twee recente voorbeelden van: de garagebrand in de Singelgarage in Alkmaar en de garagebrand onder het Marktplaatsplein in Epe (NH Nieuws, 2020a; 2020b; De Stentor, 2020). In de Singelgarage in Alkmaar waren twee auto's afgebrand, waarvan één elektrisch was. In de parkeergarage in Epe betrof het een elektrische auto die in brand is gevlogen door een onbekende oorzaak.

Volgens het incidentenonderzoek naar de brand in de Singelgarage is de brand waarschijnlijk ontstaan door brandstichting (IFV ; Brandweeracademie, 2020d). De twee auto's die ontbrand waren bevonden zich op meer dan vijftig meter afstand van elkaar. De elektrische auto stond niet aan een laadpaal. Toen de brandweer na zo'n twee uur de brandende voertuigen had bereikt, waren er alleen nog enkele kleine vlammen zichtbaar, de auto's waren nagenoeg uitgebrand. Beide auto's zijn afgeblust met water. Enige tijd na het blussen produceerde de accu van de elektrische auto opnieuw vlammen, die wederom zijn afgeblust. Omdat de accu van de auto nog warm was en men bang was voor instabiliteit van het accupakket is het elektrische auto met een transportrobot van de Politie Eenheid Den Haag naar buiten verplaatst, waarna deze in een dompelcontainer is afgevoerd. Dit gebruik van transportrobots is betrekkelijk nieuw bij brandbestrijding in parkeergarages. De brand is grotendeels vanzelf gedoofd, waarschijnlijk door de aanwezigheid van branddeuren in de parkeergarage. De brand is beperkt gebleven tot de twee auto's waarin de brand is ontstaan. Verder blijkt uit het incidentenonderzoek dat het beton van het plafond boven beide ontbrande auto's was beschadigd. De beschadigingen boven het conventioneel aangedreven voertuig waren dieper (er is meer wapening van het beton zichtbaar), terwijl de beschadigingen bij de elektrische auto over een grote lengte waren. Het is aan de hand van het incidentenonderzoek niet duidelijk welke beschadigingen ernstiger zijn. Er is geen instortingsgevaar ontstaan als gevolg van de brand. Een ander relevant detail is dat het conventionele auto op drie meter van een Tesla geparkeerd stond. Ondanks de hoge temperaturen is de brand niet overgeslagen naar de Tesla.

De brand in een parkeergarage bij de luchthaven van de Noorse stad Stavanger leidde wel tot het instorten van een groot deel van de constructie. Deze brand was niet veroorzaakt door een elektrische auto, maar er waren wel elektrische auto's bij betrokken.

Het Zweedse onderzoeksinstituut RISE heeft deze brand onderzocht (RISE, 2020). De conclusie van dit onderzoek luidde dat de aanwezigheid van elektrische auto's niet tot een heftigere brandontwikkeling had geleid in vergelijking met wat van conventionele auto's verwacht wordt. Ook werd geconcludeerd dat de giftige stoffen uit de batterijen niet tot vervuiling van nabijgelegen waterbronnen had geleid.

Interviews

De brandveiligheid van elektrische auto's in parkeergarages is tijdens veel interviews ter sprake gekomen. Uit de verschillende interviews komt het beeld naar voren dat er onduidelijkheid is of het parkeren van elektrische auto's een groter risico vormt dan het parkeren van conventionele auto's. Veel partijen gaven aan dat er door gebrek aan statistieken geen goed onderbouwde uitspraken over kunnen worden gedaan, maar dat ze de risico's als vergelijkbaar schatten met conventionele auto's. Verder is er onduidelijkheid over de adviezen en richtlijnen voor het realiseren van laadvoorzieningen en parkeer-gelegenheid voor elektrische auto's in parkeergarages. Aan de ene kant is er de behoefte aan een snelle elektrificatie van het wagenpark, waardoor er een grote vraag naar laadvoorzieningen in parkeergarages is. Aan de andere kant hebben wij uit interviews begrepen dat de vermeende potentiële veiligheidsrisico's kunnen leiden tot een stagnatie van de uitrol van laadinfrastructuur in parkeergarages. Het gevolg hiervan is dat er op dit vlak onduidelijkheid is over potentiële veiligheidsrisico's bij de belanghebbenden zoals parkeergaragehouders.

Verder is er nog niet altijd een duidelijke verdeling van verantwoordelijkheden tussen incidentbestrijders (zie ook Paragraaf 3.7) en is er discussie over de (relatief hoge) kosten van berging van elektrische auto's in parkeergarages. Over deze onderwerpen is momenteel overleg tussen incidentbestrijders, bergers en verzekeraars.

Uit de interviews blijkt dat de meeste van de voorgestelde maatregelen van het IFV in de praktijk nog niet of nauwelijks worden toegepast omdat de rapportage pas recent is uitgebracht¹⁹. Daarnaast speelt dat er vragen zijn over de praktische toepasbaarheid en de kosteneffectiviteit van de verschillende opties voor veiligheidsmaatregelen in parkeergarages. Een voorbeeld hiervan is het maken van speciale compartimenten voor elektrische auto's in parkeergarages. Genoemde bezwaren tegen een dergelijke maatregel zijn dat dit moeilijk te handhaven is, aangezien elektrische auto's ook op een plek zonder laadpalen kunnen gaan staan, en dat een dergelijke maatregel niet meer mogelijk is zodra een groot deel van het wagenpark geëlektrificeerd is.

Daarnaast is er een verschil tussen laden in publieke en private parkeergarages. Zo is het bijvoorbeeld in publieke parkeergarages al normaal dat laadpalen centraal kunnen worden uitgeschakeld, terwijl dit bij een parkeergarage van een VVE doorgaans niet het geval is. Hierbij speelt dat een dergelijke maatregel lastig is om te realiseren bij VVE's omdat de voedingskabels voor laadvoorzieningen vaak vanuit iedere individuele woning komen. Bovendien zijn de meeste laadpalen in parkeergarages geïnstalleerd door gecertificeerde bedrijven en Mode 3 Type 2, terwijl er in private parkeergarages veel minder toezicht is op de kwaliteit van de laadpalen. Het beeld kwam dan ook naar voren dat de kans op een incident bij parkeergarages in de private sfeer groter is.

¹⁹ Het is niet duidelijk in welke mate speciale richtlijnen met betrekking tot elektrische voertuigen worden opgenomen in het nieuwe Bouwbesluit. Dit is een kwestie waar de betreffende normcommissie, die wij niet direct hebben kunnen spreken in een interview, zich ten tijden van deze oplevering nog over buigt.

Verder is er bij de geïnterviewden een grote behoefte aan efficiëntere bergingstechnieken die kunnen worden toegepast in afgesloten ruimtes. Meerdere potentiële oplossingen zijn genoemd, maar deze worden voor zover ons bekend nog niet in de praktijk toegepast. Ten eerste zijn er branddekens in ontwikkeling die in een vroeg stadium van de brand over een elektrische auto kunnen worden geplaatst om brandoverslag te voorkomen. Verder wordt er onderzoek gedaan naar technieken om brandende elektrische auto's uit een garage te kunnen verwijderen met behulp van onbemande elektrische auto's. Een alternatief, dat onder andere door het IFV wordt aangeraden, is om in garages met een hoog risicoprofiel een bak te maken in de vloer die onder water kan worden gezet. Hier zou de auto in kunnen worden gereden om de brand te stoppen, aangezien een doppelcontainer niet in de garage naar binnen kan. Verder zou moeten worden geïnventariseerd of het mogelijk is om elektrische auto's zo te ontwerpen dat thermal runaway in een vroeg stadium kan worden gestopt.

In de interviews is wisselend gereageerd op de rol van de overheid bij veiligheid in parkeergarages. Enerzijds is genoemd dat de overheid een verantwoordelijkheid heeft omdat het om veiligheid van burgers gaat. Daarnaast stimuleert de overheid elektrisch rijden waardoor het logisch lijkt dat de overheid bijdraagt aan het in kaart brengen van de risico's. Anderzijds hebben we gehoord dat marktpartijen juist gestimuleerd worden om zelf met vernieuwende oplossingen te komen als er geen of geringe financiering komt vanuit de overheid.

Conclusies

We kunnen op basis van literatuur en interviews de volgende conclusies trekken:

- Risico's van brand in een afgesloten ruimte: Op basis van de literatuur en interviews kan worden geconcludeerd dat de brandveiligheidsrisico's in parkeergarages in het algemeen vergroot zijn in de afgelopen decennia. Dit is een ontwikkeling die op zich los staat van de introductie van elektrische auto's.
- Adviezen incidentbestrijding: De incidentbestrijding in het geval van een parkeergaragebrand met elektrisch aangedreven auto's blijkt in de praktijk lastig. Dit komt met name doordat accubranden lastig te blussen zijn. Dit wordt mogelijk deels veroorzaakt door de relatieve onbekendheid van de techniek waardoor de meest efficiënte brandbestrijding nog niet bekend is.
- Praktijktesten: Vanwege het beperkt aantal praktijktesten in afgesloten ruimtes dat is uitgevoerd, is het lastig om te beoordelen hoe groot de risico's van een garagebrand precies zijn en of elektrische auto's tot grotere risico's leiden. De praktijktesten die bij ons bekend zijn hadden bemoedigende resultaten: significant hogere risico's ten opzichte van een brand met gewone auto's werden niet geobserveerd. Aangezien het echter niet altijd duidelijk is in hoeverre deze onderzoeken representatief zijn voor situaties in daadwerkelijke garages en tunnels, kan worden geconcludeerd dat er behoefte is aan aanvullend onderzoek.
- Recente branden in parkeergarages: recente branden waarbij elektrische auto's betrokken waren (maar niet de veroorzakers waren), leveren inzichten op met betrekking tot het risico bij branden met elektrische auto's in parkeergarages. Onderzoek van een grote brand in een garage in Noorwegen toonde aan dat de aanwezigheid van elektrische auto's niet tot een heftigere brandontwikkeling had geleid in vergelijking met wat van conventionele auto's verwacht wordt en dat de giftige stoffen uit de batterijen niet tot vervuiling van nabijgelegen waterbronnen had geleid. Bij twee recente branden in Nederlandse garages ontstond geen instortingsgevaar. Bij de ene brand werd het elektrische auto geblust door de sprinklerinstallatie, de andere brand is grotendeels vanzelf gedoofd (mede door aanwezigheid van

branddeuren). Bij deze laatste brand is achteraf onderzoek gedaan en bleek er boven de elektrische auto geen diepere schade te zijn ontstaan aan het plafond dan boven de conventionele auto. Uit deze twee gevallen kunnen nog geen algemene conclusies worden getrokken, maar ze bieden wel inzichten over het brandverloop en impact op het gebouw en de inzet van hulpdiensten in deze cases.

Brandveiligheidsrisico's in parkeergarages zijn in het algemeen vergroot in de afgelopen decennia. Dit is een ontwikkeling die los staat van de introductie van elektrische auto's. Er zijn geen aanwijzingen uit de praktijk of uit beschikbare studies en publicaties dat elektrische auto's een vergroot risico op brand veroorzaken in parkeergarages. Het beperkt aantal praktijktesten en onderzoek naar recente branden in parkeergarages geven eenzelfde beeld. Ook hierbij geldt dat het daadwerkelijke risico de kans is van optreden vermenigvuldigd met het effect als het optreedt.

Door het beperkte aantal praktijktesten en het gebrek aan statistische informatie is het niet mogelijk om hier met zekerheid een uitspraak over te doen. Om deze reden is het belangrijk dat er statistieken worden bijgehouden en de oorzaak van de branden wordt onderzocht zodat de discussie onderbouwd met meer feiten gevoerd kan worden. Er is behoefte aan een actualisatie van regelgeving om risico's in relatie tot brandveiligheid in parkeergarages te beperken.

3.7 Incident management

3.7.1 Terugblik 2014

Er was een veiligheidsrichtlijn 'veiligheidsmaatregelen bij incidenten' met een bijlage voor elektrische auto's. Daarnaast worden elektrische personenauto's opgenomen in het Crash Recovery System (CRS) dat is gekoppeld aan het kentekenregister van de RDW. In het CRS staat onder andere de brandstofsoort van de auto. CRS is een commerciële tool. Voor hulpverleners zijn er cursussen beschikbaar hoe om te gaan met alternatief aangedreven auto's. Het zeer hoge koppel dat bij lage toeren wordt opgewekt bij een elektrische auto zorgt ervoor dat het voertuig volledig moet zijn afgeschakeld om er veilig mee te werken. Daarnaast mag een elektrische auto niet worden weggesleept met de wielen rollend omdat, bij rollen, extra energie in de accu zal worden opgeslagen. Daardoor kan de elektronica en/of de accu beschadigd raken (TNO, 2014).

3.7.2 Stand van zaken 2020

Studies en publicaties

In deze paragraaf gaan we in op de volgende onderwerpen:

- Handelingsperspectief incident management: we geven een beschrijving van beschikbare hulpmiddelen en risico's bij incidentbestrijding van elektrische auto's.
- Berging elektrische auto's: we bespreken het bergingsproces van elektrische auto's.

In deze paragraaf behandelen we geen praktijktesten omdat de praktijktesten uit voorgaande paragrafen een relatie hebben met incident management. Zo is er in gegaan op de bestrijding van thermal runaway in Paragraaf 3.3 en zijn er blusmethoden aan bod gekomen in Paragraaf 3.5.

Handelingsperspectief incident management

De brandweer schetst in de aandachtskaart ‘bestrijding incident e-voertuig’ een scenario voor brand en voor schade aan de batterij, zie ook Paragraaf 3.5. Naast deze scenario’s zijn de volgende risico’s benoemd die op kunnen treden (Brandweeracademie, 2020b):

- een blijvende stroomtoevoer van de laadpaal tijdens een brand;
- spanning op het accupakket en het voertuig met als gevolg een vlamboog;
- spontaan rollen doordat een elektrische auto geen geluid maakt als de motor aan staat.

Het risico van spontaan rollen geldt voor alle auto’s, met als verschil dat elektrische en hybride auto’s weinig tot geen geluid produceren zodra deze gaan rollen, wat extra gevaar op kan leveren. Dit kan worden ondervangen door de wielen te blokkeren. Daarnaast zijn elektrische auto’s voorzien van systemen met een hoge spanning. Bij bestrijding van een brand moet deze spanning van het voertuig afgehaald worden (Brandweeracademie, 2020b; Brandweeracademie, 2020a).

De hulpdiensten ter plaatse identificeren eerst de situatie en het type voertuig. Voor een leek is het niet direct zichtbaar of het om een elektrische auto gaat, omdat alleen de aandrijving anders is. Als het om een elektrische auto gaat waar geen conventionele modellen van beschikbaar zijn (bijvoorbeeld Tesla Model S) dan vormt dit een minder groot risico dan bij auto’s die zowel in een conventionele als elektrische variant beschikbaar zijn (bijvoorbeeld Volkswagen Golf).

Om vast te stellen of het om een elektrisch auto gaat, worden diverse tools en rescue sheets gebruikt, te weten:

- Een warmtebeeldcamera: met een warmtebeeldcamera kan worden gekeken of er warmte ontwikkelt in de auto.
- Crash Recovery System (CRS): het bedrijf Moditech heeft een tool ontwikkeld waarbij op basis van het kenteken een interactieve en modelspecifieke afbeelding wordt weergegeven op het scherm, zie Figuur 4. Het CRS is een commerciële tool waarvoor betaald moet worden. De informatie die wordt aangeboden per model voertuig is gelijk (Moditech, 2020).
- Rescue sheets FIA: de FIA heeft gratis rescue sheets beschikbaar waarin model specifieke informatie beschreven staat. De rescue sheets worden direct aangeleverd door fabrikanten waardoor deze er anders uitzien per model voertuig (ADAC, 2020).
- Euro Rescue: deze app wordt ontwikkeld door de EURO NCAP en het CTIF²⁰. Met deze app kan informatie opgevraagd worden over het voertuig waarmee bijvoorbeeld bepaald kan worden waar de accu van het voertuig geplaatst is (EuroNCAP, 2020a; CTIF, 2020). De interface is afgebeeld in Figuur 4.

²⁰ CTIF is de ‘international association of fire and rescue service’.

Figuur 4 - Interfaces CRS tool (links)



Bron (Moditech, 2020) en Euro Rescue (rechts), bron (CTIF, 2020).

Berging elektrische auto's

Bij een incident met een elektrische auto wordt de auto overgedragen aan een gespecialiseerde berger. Gespecialiseerde bergers zijn in het bezit van dompel- en/of salvagecontainers waarin, indien nodig, een elektrisch auto geplaatst kan worden. Op dit moment bezitten enkele bergers in Nederland een dergelijk systeem waardoor elektrische auto's soms het hele land moeten doorkruizen om ondergedompeld te worden²¹. Uitrol in verschillende regio's kan dit voorkomen. Zo wilde Veiligheidsregio IJsselland dat in de zomer van 2020 alle bergers in de regio zouden zijn voorzien van dompelcontainers (Veiligheidsregio IJsselland, 2019) en zijn er begin 2020 een aantal bergers in het Noorden van Nederland door de brandweer gevraagd om dompelcontainers te ontwikkelen (DvHN, 2020). Onbekend is of de dompelcontainers inmiddels gebruikt worden in beide regio's.

Het onderdompelen van elektrische auto's is kostbaar en niet bij alle incidenten noodzakelijk (AMWeb, 2020). Het verbond van verzekeraars ontwikkelt samen met de brandweer en bergers, een protocol waarin objectieve criteria worden opgenomen wanneer onderdompeling in een container noodzakelijk is (Aftersales Magazine, 2019). Deze criteria worden verwerkt in een beslisboom. Dit protocol moet handvatten geven voor bergers om veiligheid van medewerkers te waarborgen bij het bergen van een elektrische auto en om goede afspraken te maken over de financiële afwikkeling. Een van de redenen om een dergelijk protocol te ontwikkelen, zijn zorgen rondom veiligheid vanuit de branche van bergers (Transport Online, 2019; VBM, 2019).

Bergen van elektrische auto's in parkeergarages brengt nieuwe uitdagingen met zich mee, zie Paragraaf 3.6. Na brandbestrijding moet een elektrische auto verwijderd worden om opnieuw ontbranden in de parkeergarage te voorkomen. Plaatsing van een elektrische auto in een dompel- of salvagecontainer kan niet in de parkeergarage plaatsvinden maar alleen daarbuiten. Samenwerking tussen brandweer en berger is noodzakelijk om de auto uit de parkeergarage te verwijderen. Volgens het Instituut Fysieke Veiligheid is de verantwoordelijkheidsverdeling tussen brandweer en berger een punt van aandacht (IFV, 2020b).

²¹ Momenteel heeft voor zover wij weten hebben verschillende bergers dompel- en salvagecontainers in bezit meer heeft alleen Vreugdenhil Berging B.V. de dompel- en salvagecontainers in gebruik.

Praktijktesten

De praktijktesten die zijn behandeld in voorgaande paragrafen hebben veelal een relatie met incident management.

Interviews

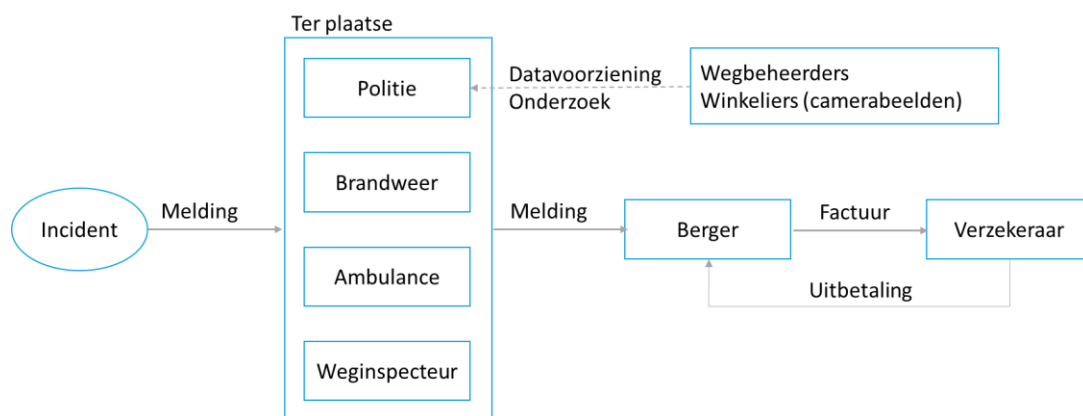
Bij een brand bij een auto hopen de hulpverleners op een snelle melding door passanten. Een melding komt binnen bij een verkeerscentrale of via het bellen met 112 waarna de brandweer gaat rijden. Er is geen speciale meldcode bij 112 om aan te geven dat het om een elektrisch auto gaat. Uit de interviews is niet naar voren gekomen dat hier behoefte aan is, maar wel aan identificatie van de auto door middel van het kenteken. Het eCall systeem draagt daar onder andere aan bij. Van hulpdiensten wordt verwacht dat ze kennis hebben van de REVI-richtlijn en handelen volgens deze richtlijn.

In snelwegsituaties kan de wegverkeersleider indien nodig een rijstrook afsluiten met een rood kruis (Rijkswaterstaat, 2020). Afhankelijk van de locatie en de ernst van het incident komen de wegininspecteur en/of hulpdiensten ter plaatse, zie Figuur 5. De rolverdeling hierbij is:

- De wegininspecteur neemt maatregelen zodat hulpverleners veilig kunnen werken, zoals het afzetten van de weg. De wegininspecteur komt alleen ter plaatse als het een incident op een rijksweg betreft. Bij het onderliggend wegennet of een incident in een parkeer-garage komen regionale handhavers ter plaatse.
- De politie komt alleen ter plaatse bij strafbare feiten, als het een zwaar ongeval betreft en er gesleept moet worden. De politie doet onderzoek naar de oorzaak van het incident, zowel aan het voertuig als in de omgeving. Er wordt onder andere data opgevraagd bij wegbeheerders.
- De brandweer biedt hulp met blussen maar ook met het bevrijden van mensen uit de noodsituaties.
- De ambulance komt alleen ter plaatse als er letsel is opgetreden.

De hulpdiensten ter plaatse besluiten of het voertuig geborgen moet worden en benaderen indien nodig een berger. Nadat het voertuig geborgen is, dient de berger de factuur in bij de verzekeraar waarna de verzekeraar het bedrag terugbetaalt aan de berger.

Figuur 5 - Reguliere keten incidentmanagement



De hulpdiensten ter plaatse identificeren eerst de situatie en het type voertuig. Voor een leek is het niet direct zichtbaar of het om een elektrische auto gaat omdat alleen de aandrijving anders is. Als het om een elektrische auto gaat waar geen conventionele

modellen van beschikbaar zijn (bijvoorbeeld Tesla Model S) dan vormt dit een minder groot risico dan bij auto's die zowel in een conventionele als elektrische variant beschikbaar zijn (bijvoorbeeld Volkswagen Golf). In de interviews zijn de tools die we in de literatuur hebben gevonden, aan bod gekomen. Vanuit de hulpdiensten is in de interviews aangegeven dat het meest ideale scenario zou zijn dat de auto gescand kan worden (bijvoorbeeld via een QR-code op de auto) waarna direct de gegevens van de auto zichtbaar worden. Uitdagingen daarbij zijn dat deze code intact en leesbaar blijft bij een incident en dat een dergelijk systeem uitgerold wordt door alle fabrikanten.

Een van de weinige gespecialiseerde bergers in Nederland hebben wij geïnterviewd ten behoeve van dit onderzoek. Vreugdenhil Berging B.V. heeft één dompelcontainer op locatie en een andere mobiele dompelcontainer die mee kan naar de locatie van een incident. De berger moet daarmee het volledige land doorkruisen om elektrische auto's te bergen. Op langere termijn is dit niet haalbaar omdat, met de toename van het aantal elektrische auto's, er een toename zal zijn in het aantal incidenten met elektrische auto's²². De berger geeft zelf trainingen aan het eigen personeel op basis van normeringen en eigen ervaring en beveelt andere bergers aan om eerst het personeel te trainen alvorens de dompelcontainers in gebruik te nemen. Mede daardoor zijn nog niet alle dompelcontainers bij bergers in Nederland, in gebruik.

Het materieel dat komt kijken bij het bergen van een elektrische auto en het feit dat een elektrische auto total loss is na onderdompeling, zorgt ervoor dat de kosten van het bergen van elektrische auto's 5 á 6 keer zo hoog zijn als bij conventionele auto's. Verzekeraars keren tot nu toe het bedrag uit aan de bergers maar er leven veel vragen op dit gebied. Zo wordt bij een elektrische auto nu vaak gekozen voor onderdompeling maar is het beeld bij geïnterviewden dat dit niet altijd noodzakelijk zal zijn. Daarnaast is er behoefte aan richtlijnen voor het veilig bergen van elektrische auto's vanuit de branche van bergers.

Technische ontwikkelingen gaan sneller dan hulpdiensten bij kunnen houden, waardoor hulpdiensten soms pas weten dat er een nieuwe ontwikkeling is zodra er uitgerukt moet worden om een incident te bestrijden waar een nieuwe ontwikkeling of techniek is toegepast. Risico daarvan is dat kennis bij hulpdiensten achterloopt op de ontwikkelingen. Om dit te voorkomen is de brandweer bezig om eerder in het proces mee te denken over oplossingen ten aanzien van veiligheid bij incidenten. Een ander genoemd probleem is de brede kennis die bijvoorbeeld een politieagent moet hebben. Een politieagent wordt opgeroepen voor diverse incidenten, wat gaat van burenruzie tot een aanrijding met een elektrisch auto. Er wordt daarom voor gekozen om basiskennis bij te brengen, zoals erop letten of een voertuig een uitlaat heeft of niet. Indien er geen uitlaat zichtbaar is, zal het zeer waarschijnlijk gaan om een elektrische auto.

In de interviews is veelvuldig gesproken over het gebrek aan data. Fabrikanten zijn genoemd als bezitters van data, maar deze wordt niet gedeeld. In Nederland houdt de politie gegevens bij van verkeersongevallen. Indien de politie ook het kenteken van bij verkeersongevallen betrokken voertuigen registreert, dan kan een koppeling gemaakt worden met het kentekenregister van de RDW waarin een aantal voertuiggegevens is opgeslagen. Daarmee kan echter nog niet achterhaald worden of het elektrische auto de veroorzaker

²² Met een toename van incidenten met elektrische voertuigen wordt bedoeld dat door de groei van het aantal elektrische voertuigen, meer elektrische voertuigen betrokken zullen zijn. Dit betekent niet dat elektrische voertuigen meer incidenten zullen veroorzaken dan voertuigen met conventionele brandstoffen. Om een dergelijke vergelijking te kunnen maken, is kwantitatief onderzoek nodig op basis van groeiscenario's, data, aannames omtrent ontwikkelingen op het gebied van batterijen en uitgangspunten zoals het gemiddelde jaarkilometrage dat de voertuigen afleggen.

van het ongeval was en of de elektrische aandrijflijn een rol heeft gespeeld bij het ongeval en de ernst daarvan. Dit kan alleen naar boven komen als specifiek onderzoek naar het betreffende ongeval wordt gedaan. Daarnaast is de brandweer bezig om een database op te zetten om incidenten waar de brandweer bij betrokken is, vast te leggen. Het doel van de database is om vast te stellen wat de daadwerkelijke risico's zijn (inschatting) en of verrichte handelingen achteraf juist bleken (evaluatie). Beide dataverzamelingen zullen echter geen volledig beeld geven, omdat de brandweer en politie niet bij alle incidenten ter plaatse zijn. De brandweer zal deze data ook gaan delen met het CTIF, een wereldwijde organisatie waar data gebundeld zal gaan worden. Deze data zal tevens teruggekoppeld gaan worden aan fabrikanten.

De ANWB biedt pechhulp aan leden. Pechgevallen met elektrische auto's hebben meestal twee oorzaken:

1. De auto strandt doordat het accupakket leeg is.
2. De laadkabel zit vast aan een laadpunt en komt niet los.

In het interview met de ANWB is aangegeven dat pechhulp bieden volgens normeringen in de praktijk in bepaalde gevallen lastig is. Bij een auto met pech die gekoppeld is aan een laadpaal, geldt voor het voertuig NEN 9140 en voor het laadpunt NEN 3140. Dat betekent dat er effectief twee monteurs nodig zijn, wat niet werkbaar is. De ANWB is met de wegenwacht bezig om een verdieping te maken op dit gebied. Samen met de DEKRA biedt de ANWB training aan de Wegenwacht en de brandweer aan.

Conclusie

We hebben in deze paragraaf de volgende onderwerpen behandeld:

- Handelingsperspectief incident management: de incident managementketen op onder meer snelwegen werkt op basis van REVI. Bij elektrische auto's zijn andere aandachtspunten voor incidentbestrijders, zoals de hoge spanning op het voertuig. Er zijn diverse tools op de markt om elektrische auto's te identificeren.
- Berging elektrische auto's: de berging van instabiele/brandende elektrische auto's wordt uitgevoerd door een gespecialiseerde berger die dompel- en/of salvagecontainers in bezit heeft. In Nederland zijn nog niet veel bergers met een dergelijke specialisatie. Binnen de branche wordt met verzekeraars en brandweer gewerkt aan een protocol om veilig instabiele/brandende elektrische auto's te bergen. Hierin worden o.a. objectieve criteria opgenomen over wanneer onderdompeling in een container noodzakelijk is en wanneer andere methoden ingezet kunnen worden.

Bij incidentbestrijding speelt een aantal uitdagingen:

- Identificatie van een elektrisch auto door hulpverleningsdiensten is niet altijd gemakkelijk vanwege het kennisniveau van de hulpverlener (brede kennis, niet alleen elektrische auto's) en de beschikbaarheid van tools. Binnen de hulporganisaties wordt nagedacht over het bijbrengen van kennis bij alle hulpverleners. Met de ontwikkeling van de EURO Rescue app is de verwachting dat identificatie van elektrische auto's makkelijker zal verlopen.
- Doordat er geen databases over incidenten met elektrische auto's beschikbaar zijn, is het moeilijk om het risico van een incident te kwantificeren en om te evalueren of een toegepaste methode effectief is gebleken. De brandweer is zelf een database aan het ontwikkelen en de politie heeft (beperkte) data beschikbaar. Koppeling van deze twee bronnen, eventueel aangevuld met andere bronnen, kan zorgen voor een helder overzicht en goede informatie.
- Vanuit de branche van bergers zijn zorgen omtrent de berging van elektrische auto's in relatie tot de veiligheid. Op dit moment zijn er weinig bergers in Nederland die

elektrische auto's kunnen bergen terwijl het aantal elektrische auto's toeneemt. Het is daarom van belang dat er voldoende materieel komt en voldoende kennis bij bergers. Er is een protocol in ontwikkeling wat een handvat kan bieden om de veiligheid van bergers te waarborgen. Bij voldoende materieel is kennis van veiligheidsrisico's noodzakelijk om veilig te kunnen werken, bijvoorbeeld door het geven van trainingen aan het personeel.

3.8 Onderhoud en veiligheid

3.8.1 Terugblik factsheet 2014

Elektrische auto's stellen andere eisen aan garagepersoneel, monteurs en technici. Een elektromotor heeft minder bewegende onderdelen en heeft daardoor minder onderhoud nodig dan een conventionele personenauto. Bij elektrotechnische werkzaamheden boven de 24 volt is NEN 3140 van kracht. Voor de automobielbranche is NEN 9140 ontwikkeld, een afgeleide van NEN 3140. Er zijn trainingen 'veilig werken aan elektrische en hybride auto's' beschikbaar bij verschillende instituten. Daarnaast zijn er soortgelijke trainingen ontwikkeld voor hulpdiensten, steekproefcontroleurs en andere technisch medewerkers van de RDW. De ANWB is samen met de DEKRA een opleiding gestart voor het verlenen van pechhulp.

3.8.2 Stand van zaken 2020

Studies en publicaties

We behandelen in deze paragraaf de volgende onderwerpen:

- werken aan elektrische auto's: personen die werken met en aan elektrische auto's moeten speciaal gekwalificeerd zijn;
- opleiding wegwacht en andere hulpdiensten om te werken aan elektrische auto's.

Werken aan elektrische auto's

De werkzaamheden aan elektrische auto's zijn in te delen in drie categorieën: onderhoud en reparatie, diagnose en schade. Per categorie worden andere gereedschappen gebruikt. Voor onderhoud en reparatie zijn al gereedschappen aanwezig in de werkplaats waarmee de werkzaamheden uitgevoerd kunnen worden. Zo wordt het afzetmateriaal, zoals een rood-wit gestreept lint, gebruikt om te markeren dat het om een elektrisch auto gaat (AMT, 2019) (Würth, sd). De gereedschappen worden aangevuld met Persoonlijke Beschermingsmiddelen (PBM's) om veilig te kunnen werken aan elektrische auto's. De benodigde gereedschappen en PBM's zijn (AMT, 2019):

- afzetmateriaal, bijvoorbeeld palen en ketting om het voertuig te markeren als hoogspanningsgevaarlijk;
- geïsoleerde set gereedschap;
- tweepolige spanningszoeker met veiligheidsisolatie;
- veiligheidsschoenen voor elektromonteurs;
- veiligheidshelm;
- hydraulische aflegtafel voor het batterijpakket.

Ten opzichte van conventionele auto's wordt in elektrische auto's een veel hogere spanning toegepast. Bij veel werkzaamheden moet die spanning volledig van de auto af volgens een voorgeschreven protocol. De elektrische bedrading waar een hoge wissel- of gelijkspanning

op staat, is oranje van kleur (OOMT, 2018). Er zijn volgens de Arbocatalogus zes stappen om een voertuig spanningsvrij te maken (Arbocatalogus, 2015):

1. Het in- en weer uitschakelen van het contact van het voertuig.
2. Zorgvuldig opbergen van de contactsleutel.
3. Los nemen van de 12V accu.
4. HV Service schakelaar uitzetten c.q. verwijderen (per fabrikant op een andere plek geplaatst).
5. Tien minuten wachten tot ontlading van condensatoren compleet is.
6. 0 Volt check uitvoeren met een geschikt meetinstrument.

Om het voertuig spanningsvrij te kunnen maken is training noodzakelijk. De training ‘Veilig werken aan e-voertuigen basis (ev-VOP NEN 9140)’ is beschikbaar bij verschillende instituten. In de training wordt geleerd hoe er volgens de NEN 9140 procedure veilig gewerkt kan worden aan, met of nabij elektrische auto’s. In deze training komen de volgende aspecten aan bod (Innovam, 2020; VOC, 2020):

- leren wat hoogspanning is inclusief bijbehorende gevaren;
- het hoogspanningssysteem, andere specifieke componenten voor elektrische auto’s (batterij, omvormers, lader, bedrading) en aandrijfvormen;
- spanningsvrij maken van het elektrische auto;
- PBM’s en andere veiligheidsmaatregelen voor het werken met elektrische auto’s, inclusief het controleren van de toestand van PBM’s;
- eisen waaraan (meet)gereedschappen moeten voldoen;
- inschatting dreiging elektrisch gevaar;
- mogelijkheden om reparaties wel of niet uit te voeren volgens fabrikant;
- diagnose voertuig op basis van foutcodes.

Opleiding wegenwacht en andere hulpdiensten om te werken aan elektrische auto’s

Inmiddels is de opleiding beschikbaar voor de wegenwacht en andere hulpdiensten om veilig aan elektrische auto’s te kunnen werken. De opleiding is ontwikkeld door de ANWB in samenwerking met de DEKRA en al gegeven aan 900 medewerkers van de wegenwacht en aan leden van de brandweer.

Interviews

In de interviews is een aantal aanvullende punten op de literatuurstudie aan bod gekomen:

- Er wordt op dit moment bij een APK-keuring niet gekeurd op het punt van accuonderhoud en -status. De vervanging van een accu wordt wel geregistreerd maar de kwaliteit niet. Zo wordt er niet gekeken naar hoe vaak een accu is opgeladen en dus in welk stadium van de levensduur de accu zich bevindt. Volgens de ANWB is het lastig om dit op te nemen in de APK omdat de conditie van het batterijpakket moeilijk meetbaar is. Er kan wel met temperatuurmetingen gekeken worden naar de actuele staat van de accu en dit wordt in de praktijk ook gedaan door de wegenwacht bij auto’s die betrokken zijn geweest bij een ongeval. Er is echter aan ons aangegeven dat deze methode meer geschikt is voor het controleren van auto’s waar iets mee aan de hand is dan voor een jaarlijkse APK-keuring. Daarnaast kan het BMS zelf aangeven wat de status is van het accupakket.
- Het is onduidelijk of veroudering van de batterij van invloed is op de veiligheid van het accupakket en het elektrische auto.
- Een risicofactor bij het onderhoud van voertuigen is ondeskundigheid. Dit geldt bijvoorbeeld bij hobbyisten die sleutelen aan voertuigen.

Conclusie

In deze paragraaf zijn de volgende onderwerpen aan bod gekomen:

- Werken aan elektrische auto's: Voor garagepersoneel zijn specifieke opleidingen beschikbaar over het veilig werken met, aan en nabij een elektrisch auto. De belangrijkste veiligheidsaspecten zijn de hoge spanning en brandveiligheid van de elektrische auto.
- Opleiding wegwacht en andere hulpdiensten om te werken aan elektrische auto's: deze is ontwikkeld door de ANWB in samenwerking met de DEKRA en al gegeven aan 900 medewerkers van de wegwacht en aan leden van de brandweer.

Er lijken vooralsnog geen voorschriften te zijn voor consumenten om veilig te werken en sleutelen aan elektrische auto's. Naast voorschriften zou gedacht kunnen worden aan het informeren en bewust maken van consumenten en kleine garagehouders over de veiligheidsrisico's bij het werken aan elektrische auto's omdat het een hoogspanningsinstallatie betreft. Dit kan bijvoorbeeld door aandacht te schenken aan elektrische auto's bij rijexamens van het CBR of door een voorlichtingscampagne.

3.9 Te water geraking

3.9.1 Terugblik factsheet 2014

Tijdens het maken van de vorige factsheet waren de risico's van volledig onder water gedompelde elektrische auto's goed bekend. Het risico op elektrocutie is nihil maar er is een kleine kans dat waterstof- en zuurstofgas zich ophopen door elektrolyse. Bij verwijdering uit het water dienen daarom de deuren van het voertuig te worden geopend of de ruiten worden ingetikt. Er was in 2014 weinig bekend over de risico's van gedeeltelijke onder water dompeling.

3.9.2 Stand van zaken 2020

Studies en publicaties

Er is niet veel nieuw onderzoek gevonden over de risico's van te water geraking van elektrische auto's. Dit is te verklaren omdat de risico's van volledige te water geraking al in 2014 goed bekend waren (TNO, 2014). Specifiek op het gebied van het gedeeltelijk onder water staan van voertuigen is weinig informatie beschikbaar. De Nederlandse bronnen over te water geraking verwijzen allemaal naar de factsheet van 2014 waardoor dit nationaal de meest recente bron van informatie lijkt te zijn (TNO, 2014).

In de V.S. biedt de NFPA een overzicht aan met uit te voeren handelingen en gevaren bij overstromingen. Onduidelijk is of hier specifiek gekeken is naar het gedeeltelijk onder water staan van voertuigen. Het overzicht is onderdeel van 'NFPA's Alternative Fuel Vehicles Safety Training' voor incidentenbestrijders. In het overzicht staat dat de problemen bij te water geraking afhankelijk zijn van het soort water. Zo geleidt zout of vervuild water beter waardoor er sneller kortsluiting zou kunnen ontstaan. Daarnaast wordt er in handelingen onderscheid gemaakt tussen 'te water geraakte auto's' en 'voorheen te water geraakte auto's'. In de eerste categorie wordt geadviseerd om contact te vermijden met bekabeling en HV-onderdelen en om, indien mogelijk, de motor uit te schakelen. Bij voorheen te water geraakte auto's wordt geadviseerd om de beschadigde auto of batterij niet aan te raken en om de batterij los te koppelen. Als er kleine bubbeltjes uit het

accupakket komen betekent dit niet dat er een verhoogd risico voor schokgevaar is. Voor de brandweer worden veiligheidskleding en ademluchtflessen geadviseerd (NFPA, 2017).

Interviews

Uit de interviews blijkt dat voor te water geraking van elektrische auto's weinig speciale voorzorgsmaatregelen nodig zijn. In principe is de accu goed geïsoleerd maar bergers werken wel met hoog voltage beschermingshandschoenen omdat het risico op spanning lastig is vast te stellen. Bij te water geraking is dit voor zover bekend nog nooit misgegaan. Net als bij andere incidenten wordt er altijd rekening gehouden met het spontaan gaan rollen van het voertuig terwijl en nadat het uit het water wordt gehaald. Een elektrisch auto kun je zonder gevaar onder water zetten en bij een overstroming zal het laden als eerste afslaan.

Over het gedeeltelijk onder water staan van een elektrische auto is minder bekend. Een verschil zou kunnen zijn dat er geen zuurstof bij de accu kan komen bij het volledig onder water staan en dat dit bij gedeeltelijk onder water staan wel kan. Er zijn echter geen praktijkervaringen waarbij dit een probleem is geweest.

Conclusie

De accu's van elektrische auto's zijn ontworpen om volledig onder water te kunnen staan, hier zijn diverse normeringen voor (zie Paragraaf 4.8). Er is ten opzichte van 2014 niet meer bekend over het gedeeltelijk onder water staan van de auto al wordt er in normeringen wel onderscheid gemaakt tussen het diep onder water staan van de accu en het oppervlakkig onder water staan van de accu. Een verschil kan zijn dat bij het volledig onder water staan van het voertuig er geen zuurstof bij de accu kan komen en bij gedeeltelijk onder water staan wel. Daarnaast brengen zout en vervuild water meer risico met zich mee ten aanzien van de brandveiligheid, omdat dit beter geleidt. De verwachting is echter dat het geen groot risico zal vormen omdat voorschriften mede zijn ontwikkeld voor een situatie waarbij er een overstroming optreedt. Bij een overstroming zal de auto en daarmee het accupakket niet altijd volledig onder water staan.

3.10 Laadinfrastructuur

3.10.1 Terugblik 2014

In 2014 is in de factsheet geen specifieke informatie opgenomen over laadinfrastructuur.

3.10.2 Stand van zaken 2020

In de Nationale Agenda Laadinfrastructuur (NAL) is geschat dat er in 2030 een totaal aantal van 1,7 miljoen (semi)publieke en private laadpunten nodig zijn voor het laden van elektrische personenauto's (RVO, sd). Bij de toename van het aantal laadpunten zal de veiligheid van laadinfrastructuur steeds belangrijker gaan worden.

Studies en publicaties

In deze paragraaf behandelen we de volgende punten:

- systeemopbouw laadinfrastructuur: hierin beschrijven we de verschillen tussen laadmodi en geven we een beschrijving van de digitale architectuur van laadstations en laadpunten.
- veiligheidsrisico's laadinfrastructuur: we gaan in op de veiligheidsrisico's van laadinfrastructuur, uitgesplitst naar gebruik, fysieke veiligheid en digitale veiligheid.
- praktijktesten.

Systeemopbouw laadinfrastructuur

Een elektrische auto kan op verschillende manieren worden opgeladen, doordat er verschillende manieren van laden zijn. Daarnaast kent een laadlocatie een diversiteit aan locaties en verschijningsvormen. Zo is het mogelijk om thuis te laden, maar ook onderweg (publiek) en op locatie zoals in parkeergarages of op het werk (semipubliek). Ook zijn er op een aantal locaties in Nederland laadpleinen gerealiseerd waar meerdere elektrische auto's geplaatst kunnen worden en tegelijkertijd of achtereenvolgens worden opgeladen (De Nieuwe Stad, 2020).

Er zijn momenteel meerdere laadtechnieken in ontwikkeling of toegepast, zoals inductieladen en het laden via een pantograaf (Lanova laadpalen, 2020; The Verge, 2019). In dit onderzoek beperken we ons tot het laden via een stekker en laten we deze ontwikkelingen buiten beschouwing omdat deze in de praktijk niet of nauwelijks worden toegepast voor elektrische personenauto's. Laadinfrastructuur is complex en bevat veel verschillende componenten, zowel fysiek als digitaal. Voor de terminologie in deze paragraaf verwijzen we naar het rapport 'Laden van elektrische Auto's' van de Rijksdienst van Ondernemend Nederland (RvO) waarin definities met toelichting zijn beschreven ten aanzien van het laden van elektrische auto's (RVO, 2019).

Aanvullend op de rapportage van de RvO zullen wij een toelichting geven op de ingebouwde veiligheidssystemen in een elektrische auto en de laadpunten aan de hand van Tabel 3. In Tabel 3 is te zien dat de Laadmodi 2, 3 en 4 ieder zijn voorzien van verschillende ingebouwde veiligheidssystemen, terwijl er bij Mode 1 geen veiligheidssystemen zijn ingebouwd. Mode 1 laden wordt echter niet gebruikt voor elektrische personenauto's. Door de ingebouwde veiligheidssystemen wordt er gecommuniceerd tussen de auto en het laadpunt. Deze communicatie zorgt ervoor dat de stroomtoevoer wordt gestopt bij een volgeladen accu en dat de hoeveelheid stroom begrensd kan worden tot een niveau dat past bij de auto. In Mode 2 wordt de communicatie gerealiseerd door de In-Cable Control Box (ICCB), een mobiele veiligheidsvoorziening ingebouwd in de laadkabel. In Mode 3 en 4 vindt de communicatie plaats via het BMS (EV Reporter, 2020):

- Bij Mode 3 laden: het BMS communiceert met de lader in de auto om het laden van het accupakket te monitoren en te controleren.
- Bij Mode 4 laden: er wordt een link gelegd tussen het laadstation en het voertuig. Het BMS communiceert over de benodigde voltage en stroomtoevoer dat vanuit het laadstation moet komen. Het BMS geeft instructies aan het laadstation over het starten en stoppen van het laadproces.

Tabel 3 - Overzicht laadmodi gebaseerd op (RVO, 2019; The Driven, 2018)

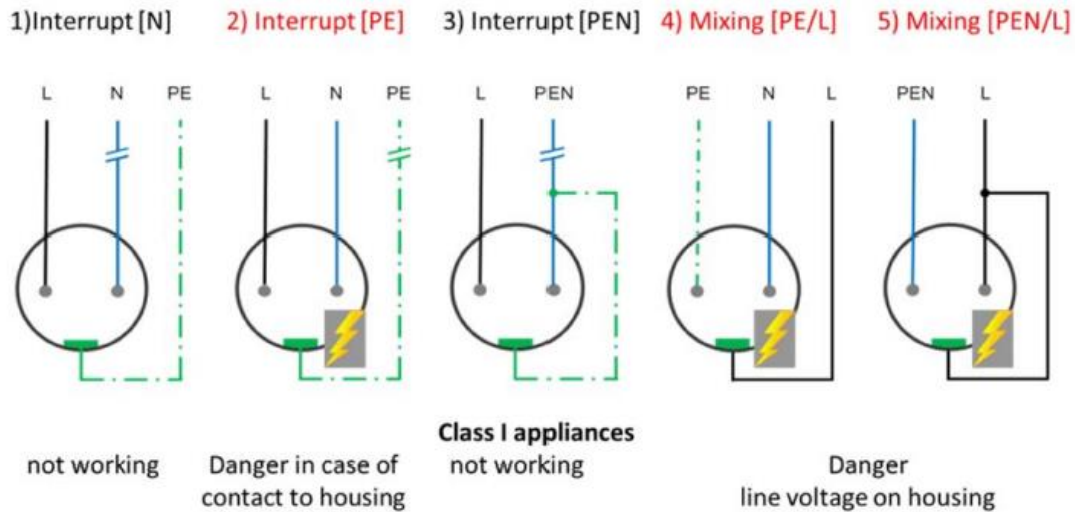
	Mode 1	Mode 2	Mode 3	Mode 4
Wordt gebruikt voor elektrische personenauto's	Nee	Ja	Ja	Ja
Type laden	Privaat	Privaat	Privaat en publiek	Privaat en publiek
Laadpunt	230 V stopcontact	230 V stopcontact	Laadstation	Laadstation
Laadvermogen	2,3 kW (1-fase, 10A)	In de praktijk: 2,3 kW (1-fase, 10A) In theorie: 7,4 kW (1-fase, 32A) 22 kW (3-fase, 32A)	Private laadstations meestal 3,7 of 11 kW Publieke laadstations: 11 kW of, 22 kW Soms 43 kW	50 kW - 350 kW
Communicatie EV - laadpunt	Nee	Via ICCB	Via BMS	Via BMS
Schakelt af bij volgeladen accu	Nee	Ja	Ja	Ja
Limiteren stroom niveau	Nee	Ja	Ja	Ja
Locatie omvormer AC naar DC	In de auto	In de auto	In de auto	In het laadstation

Privaat laden gebeurt in de meeste gevallen via AC-laden. Mogelijke gebreken van elektrische bedrading in huis zullen we illustreren aan de hand van Figuur 6 (Hanauer, 2018):

1. Een defecte fase- of nuldraad: dit kan ontstaan doordat de verbinding gedurende de tijd loslaat. Dit is een zichtbare fout en kan eenvoudig worden opgelost door een elektricien;
2. Een defecte aardedraad: dit is niet zichtbaar en kan daardoor soms langer aanwezig zijn voordat het ontdekt wordt en kan leiden tot elektrische schokken. Installatie van een aardlekschakelaar kan dit risico voorkomen.
3. In oudere huizen kunnen de aardedraad en de nuldraad gekoppeld zijn. Als er een defect is aan deze koppeling of aan een van deze draden dan werkt het laadpunt niet meer. Dit gebrek kan eenvoudig door een elektricien gerepareerd worden.
4. Incorrecte installatie van de fase- en aardedraad 4) of aard- en nuldraad 5) kan leiden tot gevaar. Plaatsing van een aardlekschakelaar heeft in deze situaties geen effect omdat de stroom door alle draden hetzelfde is.

Bovenstaande illustreert waarom laadkabels met ingebouwde controle en bescherming noodzakelijk zijn om veilig te laden en waarom Mode 1 laden in veel landen bij elektrische auto's verboden is (Hanauer, 2018; The Sun, 2019). Mode 1 laden laten we daarom in de rest van deze paragraaf buiten beschouwing. Mode 2 en 3 laden worden momenteel wel toegepast bij privaat laden. Bij deze laadmodi is een dergelijk controlesysteem ingebouwd.

Figuur 6 - Mogelijke faalmechanismen bij laadpunten thuis met N = nuldraad, L = fasedraad en PE = aarddraad



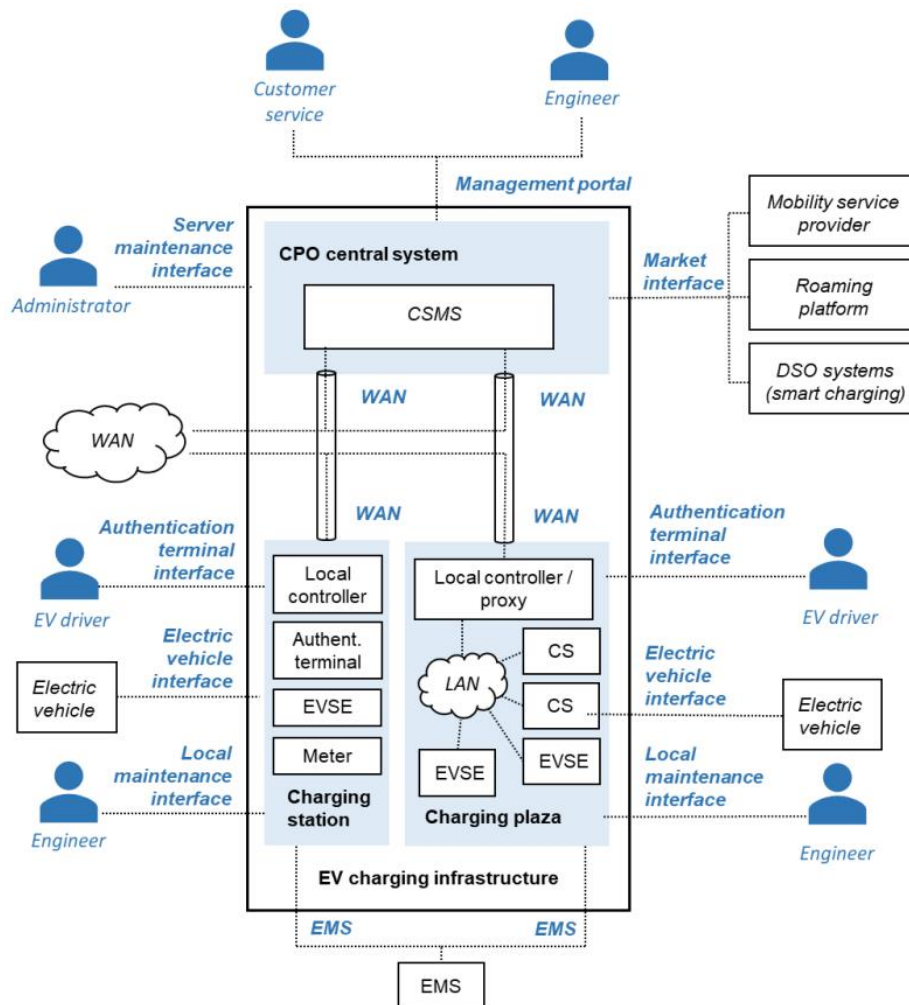
Bron (Hanauer, 2018).

De volgende partijen zijn betrokken bij de operatie van laadstations:

- TSO: systeembeheerder (TenneT).
- DSO: regionale elektriciteitsnetbeheerder.
- Charge Point Operator (CPO): een bedrijf dat laadpunten operabel houdt en waarborgt dat het netwerk goed werkt (Virta, 2018). Een CPO bezorgt de laadpalen en verzorgt de installatie, het onderhoud en de distributie van elektriciteit naar laadpalen. CPO's hebben ook aan pechservice (Allego, 2019). Niet alle laadpunten worden door een CPO beheerd. Sommige particulieren kiezen voor een laadpunt zonder hostingabonnement bij een CPO.
- (E)Mobility Service Provider ((E)MSP): een bedrijf dat producten en service verkoopt aan elektrische rijders, zoals laadpassen en -abonnementen (Virta, 2018; Allego, 2019). Een EMSP geeft toegang tot een aantal laadpunten binnen een bepaald gebied en helpt elektrische rijders om laadstations te vinden, te starten met laden en maakt betalingsverkeer mogelijk. Meestal helpt een EMSP alleen geregistreerde klanten (Virta, 2018). Een CPO en een EMSP kunnen hetzelfde bedrijf zijn maar dat is niet altijd het geval (Virta, 2018; Allego, 2019).

Het Charging Station Management System (CSMS) is het systeem waarin data uit laadstations en -punten verzameld wordt in het backofficesysteem van CPO's. In Figuur 7 is te zien dat het CSMS via internet of GPRS verbonden is aan lokale monitoren, veiligheidssystemen en meters in laadstations en -punten die vervolgens weer gekoppeld zijn aan een elektrische auto indien deze is gekoppeld aan het laadpunt.

Figuur 7 - Digitale architectuur van laadstations



Bron (ElaadNL, 2019).

Aandachtspunten bij het gebruik van kabels en het ontwerpen, plaatsen en gebruiken van laadpunten

De veiligheidsrisico's in relatie tot laadinfrastructuur zijn afhankelijk van het gebruik, de fysieke eigenschappen van de laadinfrastructuur en de digitale aspecten van de laadinfrastructuur. De veiligheidsrisico's van alle laadmodi hebben een fysieke component, waarbij Mode 3 en 4 veiliger zijn dan Mode 2 laden door meer ingebouwde veiligheidssystemen. Digitale veiligheidsrisico's (bijvoorbeeld: risico op hacken) spelen alleen bij Mode 3 en 4 door de digitale componenten in de laadinfrastructuur en auto. Veiligheidsrisico's ten aanzien van gebruik spelen met name bij privaat laden bij Mode 2 waarbij het voornaamste risico is dat de laadkabel wordt aangesloten op een elektrische huisinstallatie die niet geschikt is om de gevraagde stroomsterkte langere tijd te leveren.

In Paragraaf 4.9 gaan we in op internationale geldende richtlijnen voor laadinfrastructuur. Aanvullend daarop geven wij hier een overzicht van veiligheidsrisico's die wij gevonden hebben in de literatuur op basis van richtlijnen die zijn opgesteld in Nieuw-Zeeland voor het gebruik van laadkabels en laadstations, omdat deze richtlijnen inzichtelijk maken welke

veiligheidsrisico's er zijn. De richtlijnen gelden voor Mode 1 t/m 4 tot een maximaal laadvermogen van 150 kW. De richtlijnen sluiten aan op internationale richtlijnen in Paragraaf 4.9 en zijn daarnaast aangevuld met nationale richtlijnen op het gebied van aansluitingen en voorwaarden voor onderhoud (Worksafe, 2019). In de richtlijnen is een lijst gepresenteerd van situaties die veiligheidsrisico's met zich meebrengen. Deze lijst geeft een beeld van de veiligheidsrisico's en komt overeen met andere literatuur die wij gevonden hebben:

- Gebruik van adapters die niet zijn uitgegeven door de fabrikant van het voertuig of door een fabrikant van beveiligingsapparatuur voor elektrische auto's (Worksafe, 2019).
- Gebruik van een regulier stopcontact (Worksafe, 2019).
- Het gebruik van meerdere voedingskabels achter elkaar (Worksafe, 2019).
- Het gebruik van een draagbaar stopcontact (Worksafe, 2019).
- Het gebruik van een verlengsnoer (Worksafe, 2019; IFV, 2020b).
- Het laden van meer dan één voertuig tegelijkertijd via hetzelfde stopcontact (Worksafe, 2019).
- Het gebruik van apparatuur die geen aanduiding heeft met compatibiliteit met een 230V en 50 Hz voorziening (Worksafe, 2019).
- Het laden van andere elektronica dan een elektrisch auto via laadpunten bestemd voor elektrische auto's (Worksafe, 2019).

Er is een verhoogd risico bij slijtage van laadkabels en bij het gebruik van verlengsnoeren. Deze risico's zijn brandgevaar en elektrische schokken (IFV, 2020b). Regen kan de risico's vergroten, omdat er kortsluiting op kan treden ter plaatse van de beschadigde kabel en/of het aansluitpunt met het verlengsnoer. In een studie van het Electrical Safety First (ESF) kwam naar voren dat 74% van de 1.500 ondervraagde gebruikers ooit wel eens een verlengsnoer heeft gebruikt om te laden (The Sun, 2019).

Daarnaast hebben wij in de literatuur de volgende aspecten gevonden waar rekening mee moet worden gehouden bij het veilig ontwerpen, plaatsen en gebruiken van laadpunten:

- Aanrijdingen: op straat en in parkeergarages is het aanbrengen van aanrijdbeveiliging rondom laadpunten belangrijk om de kans op incidenten te reduceren (IFV, 2020c). Er zijn diverse praktische oplossingen op de markt om aanrijdbeveiliging te waarborgen (Boplan, 2018; Opladpaal-kopen.nl, 2020)²³. Bij aanrijding van een publieke laadpaal schakelt een laadpaal automatisch af indien de scheefstands sensor (indien aanwezig) dat bepaalt en wordt er een signaal gestuurd naar de CPO.
- Spanningsvrij bij incident: bij een incident is het voor incidentbestrijders noodzakelijk dat elektrische auto's losgekoppeld kunnen worden van laadpalen en om het systeem spanningsvrij te maken. Laadpalen die zijn voorzien van een scheefstand- of temperatuursensor kunnen automatisch afschakelen bij een incident. Dit kan bijvoorbeeld door het plaatsen van een noodschakelaar-/knop maar kan ook via beveiligingssensoren die communiceren tussen een elektrische auto en laadpunten om de verbinding, de energieoverdracht en het loskoppelen veilig te laten verlopen (Milicic, et al., 2016; IFV, 2020b).
- Fysieke restrictie van toegang tot elektrische onderdelen tegen vocht om kortsluiting te voorkomen (Milicic, et al., 2016; IFV, 2020b).
- Monitoring: door spanningen door laadkabel en verbinding met de aarde te monitoren, kunnen de systemen in laadpalen ervoor zorgen dat de laadpalen automatisch afschakelen bij het losraken van een verbinding of bij een te hoge spanning (Worksafe, 2019; Hanauer, 2018).

²³ Aanrijdbeveiliging kan bijvoorbeeld worden gerealiseerd door het plaatsen van horizontale kunststof balken voor de laadpunten, door het plaatsen van veiligheidsplinten of wielstoppers op de parkeerplaats bij een laadpaal of door een RVS buis rondom de laadpaal te plaatsen.

- Installatie: de richtlijn uit Nieuw-Zeeland beveelt aan om de uitgang van het contact van een Mode 3 of Mode 4 laadpunt, minimaal 800 mm boven vloerniveau te plaatsen (Worksafe, 2019). De installatie van laadpunten moet worden gedaan door competente, gecertificeerde installateurs (Worksafe, 2019; Allego, 2019).
- Onderhoud: regulier onderhoud en inspectie verkleint de kans op het optreden van veiligheidsrisico's (Worksafe, 2019; Allego, 2019; Wang, et al., 2019).
- Vlambogen: bij kortsluiting ontstaat er een vonk welke kan leiden tot een vlamboog. Het risico op een vlamboog wordt bepaald door de hoeveelheid energie (Wang, et al., 2019).
- Brandveiligheid (Wang, et al., 2019).

Voor Mode 3 en Mode 4 laden spelen er naast fysieke ook digitale veiligheidsrisico's. Laadpalen zijn vaak verbonden met bijvoorbeeld internet of GPRS waardoor deze een doelwit vormen voor cyberaanvallen (ElaadNL, 2020; Wang, et al., 2019). ElaadNL heeft samen met het ENCS²⁴ veiligheidseisen opgesteld voor een veilige digitale laadinfrastructuur. In het document zijn maatregelen benoemd om risico's binnen acht categorieën te beperken (ElaadNL, 2019). Deze categorieën geven een beeld van digitale veiligheidsrisico's:

1. Toegangscontrole: hierbij moet worden gedacht aan het ontlenen van toegangsrechten aan en verificatie van gebruikers in Figuur 7 (ElaadNL, 2019).
2. Cryptografie: dit wordt toegepast voor het versleutelen van informatie voor gebruikers (mensen en digitaal), het verifiëren van firmware en het beschermen van een vertrouwelijk en integer communicatieverloop (ElaadNL, 2019).
3. Fysieke veiligheid: beveiligen van de fysieke toegang tot bijvoorbeeld de geheugenkaart en processor (INCIBE, 2020).
4. Operatie: hierbij moet gedacht worden aan veiligheidsaspecten om operatie mogelijk te maken. Hierbij gaat het om ontwerpen voor de toekomst (denk aan voldoende RAM en flash geheugen voor het uitvoeren van updates), back-up, monitoren en het maken van logs (ElaadNL, 2019). Dit geldt bijvoorbeeld ook voor betalingsverkeer (inNOVE, 2020);
5. Communicatie: het waarborgen van een veilige communicatie (ElaadNL, 2019).
6. Systeem ontwikkeling en onderhoud: tijdens het ontwerp van de laadinfrastructuur en de bijbehorende digitale architectuur, moet rekening gehouden worden met veiligheid (ElaadNL, 2019).
7. Informatie veiligheid voor CPO's: belangrijke informatie voor CPO's moet niet toegankelijk zijn voor derden (ElaadNL, 2019).
8. Continueren informatie veiligheid: hierbij gaat het om het minimaliseren van de impact bij het falen van het beveiligingssysteem (ElaadNL, 2019).

Praktijktesten

We hebben in de literatuur geen praktijktesten gevonden met aanrijdingen van of brand bij laadstations. We kunnen daardoor geen uitspraken doen over daadwerkelijk optredende risico's bij het laden van elektrische auto's.

Interviews

In de interviews is aangegeven dat er een groot verschil in veiligheid is tussen de verschillende manieren van laden. Mode 3 en Mode 4 laden zijn in de interviews als heel veilig aangemerkt en Mode 2 laden niet. De stopcontacten die worden gebruikt in combinatie met Mode 2 laders zijn niet voorzien op duurlast waardoor er meer risico's optreden. Dit wordt veroorzaakt aan de kant van het voedingspunt en niet aan de kant van

²⁴ ECNS staat voor 'European Network for Cyber Security'.

de auto. Bij Mode 3 laden is er een systeem in het laadpunt ingebouwd waarbij het zichzelf uitschakelt indien er iets mis gaat. Daarnaast is er een detectiesysteem dat ervoor zorgt dat, bij plaatsing van een verkeerde kabel, een lagere stroomsterkte wordt gegeven.

Voor Mode 3 laden hebben gebruikers volgens de geïnterviewden geen extra kennis nodig. Voor Mode 2 laden, het laden in Mode 2 in combinatie met een verlengsnoer en voor het gebruiken van oude stekkers zou het kennisniveau wel verbeterd moeten worden. Echter, niet alle autofabrikanten leveren standaard een Mode 2 laadkabel mee bij aanschaf van een elektrische auto waardoor extra kennis over Mode 2 laden in toekomst minder relevant wordt. In gebruiksaanwijzingen staat al vermeld dat adapters niet zijn toegestaan en de ANWB geeft het advies mee om niet te laden via bijvoorbeeld een haspel. Daarnaast zou kennis van risico's bij beschadigde connectoren voor alle laadmodi welkom zijn.

Specifieke risico's voor snelladen zijn de hoge stroomsterkte en het hoge voltage dat gebruikt wordt. Daarnaast vindt er door het snelladen, meer warmteontwikkeling plaats in de lader, de connector, de kabel en in het accupakket zelf. Het beheersen van die warmte is belangrijk, bijvoorbeeld door een ingebouwd koelcircuit in de auto waarbij de warmte actief afgevoerd kan worden. Nieuwe auto's zijn meestal voorzien van een dergelijk systeem en bij oudere modellen verschilt het of dit is ingebouwd. Thermal management is essentieel bij snelladen om veroudering tegen te gaan. Vanwege deze warmteontwikkeling is brand het grootste risico.

Bij langzaam laden komt er minder spanning op de lader te staan. Bij AC-laden wordt er niet aangesloten op de accu maar op de interne boordlader, welke problemen kan detecteren. Bij snelladen voert de lader de controles uit.

Het is voor de veiligheid belangrijk dat kwaliteit geborgd blijft. CPO's zijn verantwoordelijk voor installatie van publieke laadpunten. Bij de installatie van private laadpunten is meestal de gebouweigenaar of -beheerder verantwoordelijk. De meeste CPO's hebben geen eigen installateurs in dienst maar screenen vooraf op gecertificeerde installateurs. De laadpuntfabrikanten leveren trainingen aan installateurs voor veilige installatie van laadpunten. In de training komt ook communicatie met de back-end aan bod. In Nederland moeten installateurs bekend zijn met de regelgeving die van toepassing is (zie Paragraaf 4.9) maar er is geen instantie die controle uitvoert op installatie van de laadpunten, zowel publiek, semipubliek als privaat. In andere landen zoals in België is dit wel het geval. Daar komt een onafhankelijk bedrijf de installatie van laadpunten keuren. Een dergelijke keuring zou als nadeel kunnen hebben dat er mogelijk hoge kosten mee gemoeid zijn. Ook verzekeraars beoordelen niet in alle gevallen of de installatie correct is uitgevoerd. Verzekeraars bepalen zelf en per geval of er een controle plaatsvindt.

We hebben in de interviews onder andere gesproken met de MRA-E²⁵. Ter illustratie geven wij een overzicht hoe zij omgaan met laadinfrastructuur:

- Contractmanagers zien toe op veiligheid van publieke laadpunten.
- De MRA-E waarborgt kwaliteit door eisen te stellen aan het verloop van de installatie bij publieke laadpunten. De laadpunten moeten een zogenoemde 'Factory acceptance test' doorstaan en er moeten certificaten van installateurs meegeleverd worden. Bij oplevering moet de exploitant of aannemer een opleverdocument opstellen en bevestigen dat het conform de eisen is verlopen.
- De MRA-E stelt de eis dat een laadpaal onderhoudsarm moet zijn, maar heeft geen aanvullende eisen ten aanzien van onderhoud.

²⁵ MRAe staat voor 'Metropoolregio Amsterdam elektrisch'.

De controles en het onderhoud van laadstations is bij de geïnterviewde CPO's verschillend geregeld:

- Bij twee CPO's vinden er jaarlijks visuele controles plaats en er wordt preventief onderhoud uitgevoerd aan de laadpunten. Daarnaast vindt er controle en eventueel een reparatie plaats als er een signaal afgegeven wordt vanuit het laadpunt naar de operator.
- Bij een andere CPO (van snelladers) worden de laadstations driewekelijks schoongemaakt. Tijdens deze schoonmaak wordt alles gecontroleerd. Daarnaast wordt er via een app of telefonisch melding gemaakt door gebruikers indien er iets mis is (bijvoorbeeld over een beschadigde connector, het laden werkt niet). Oorzaken van niet kunnen laden zijn bijvoorbeeld vuil in de inlet van de auto of een barstje in de inlet van de auto.

Voor de installatie van laadstations worden gecertificeerde installateurs ingezet door de CPO's. De installateurs zijn soms in dienst en worden in andere gevallen ingehuurd. Bij installatie worden de noodknop (indien aanwezig), het laadproces en de aansluiting van de kabel gecontroleerd door de installateur.

Uit de interviews zijn wisselende reacties gekomen ten aanzien van brandveiligheid bij verbinding met het laadpunt. Er is ons verteld dat bij een incident (brand of een aanrijding) de spanning automatisch afgeschakeld wordt door het laadpunt indien er een scheefstand- of temperatuursensor aanwezig is. Bij publieke laadpunten zijn deze sensoren aanwezig, bij private laadpunten niet altijd. Het BMS in de auto schakelt ook automatisch de spanning af bij een afwijkend signaal. Daarnaast hebben we een praktijkervaring gehoord, waarbij dit afschakelen niet gebeurde en, alvorens er geblust kon worden, de spanning van het laadpunt afgehaald moest worden. Bij de ANWB zijn er pechgevallen bekend waarbij de auto niet losgekoppeld kon worden van het laadpunt. Het is onbekend om welk type laadpunt dit ging. Snellaadstations zijn vaak voorzien van een noodknop om de spanning af te schakelen en ook bij sommige AC laadstations is dit het geval. Vanuit de interviews zijn ons geen gevallen bekend waarbij het afschakelen niet gelukt is.

De gemeente bepaalt de locaties van publieke laadpalen. Bij bouwplannen wordt de laadinfrastructuur in principe niet getoetst door een brandpreventiecommissie. De eisen voor laadpalen worden bij aanbestedingen vastgesteld en zijn verschillend per gemeente. Deze eisen ontwikkelen zich met de tijd. Er valt te denken aan eisen op het gebied van: omvang laadpaal, vandalismebestendigheid, waterbestendigheid, vermogen, storing, onderhoud, prijs, ICT veiligheid, etc.

Ten aanzien van nieuwe laadtechnieken wordt laden via lantaarnpalen als veilig gezien mits deze zijn voorzien van een volwaardig Mode 3 oplaadpunt is. Inductieladen lijkt verder weg en zal naar verwachting pas rendabel gaan worden bij zelfrijdende auto's.

De voornaamste boodschap uit het interview met specialisten van snelladen is dat laadstations voorzien zijn van veel systemen waardoor de veiligheid gewaarborgd wordt. De systemen voeren constant controles uit en als er een afwijking optreedt binnen het laadstation of het laadproces, dan wordt het laden direct stopgezet. De systemen zijn zo ontworpen dat deze te actualiseren zijn om veiligheid te garanderen. De specialisten hebben aangegeven dat de gebruiker een groter risico vormt dan het laadstation zelf, door het risico op aanrijdingen, vandalisme of verkeerd gebruik van connectoren. Uit data²⁶ van een CPO is bekend dat aanrijdingen met snellaadstations regelmatig voorkomen. Dit risico

²⁶ Deze data is in bezit van de CPO en niet openbaar toegankelijk. De conclusie is in het interview door de CPO genoemd op basis van de eigen data.

wordt door de CPO's gereduceerd door gebruik te maken van een eiland opstelling en deze verder van de weg af te plaatsen. Indien er toch een aanrijding optreedt, dan moet de hoofdzekering afgeschakeld worden, fysiek of op afstand. De hulpdiensten hebben hier niet altijd toegang toe maar kunnen wel contact opnemen met de CPO's. Bij de specialisten zijn geen gevallen van elektrocutie bekend of van brand bij laden met een elektrische auto.

Als extra punt is uit de interviews naar voren gekomen dat het laden van elektrische auto's anders dan auto's een groter risico vormt dan het laden van elektrische auto's. Dit heeft ermee te maken dat er voor elektrische auto's regelgeving bestaat maar voor het laden van bijvoorbeeld elektrische fietsen nog nauwelijks. Dit betekent dat bijvoorbeeld de kans op thermal runaway bij elektrische fietsen als aanzienlijk groter wordt geschat. Daarnaast treedt er een risico op als andere elektrische auto's (zoals een Biro) gebruik maken van Mode 3 laadpunten. De laadpaal krijgt dan het signaal dat er geladen wordt via Mode 3 terwijl dit niet het geval is, aangezien de Biro alleen bepaalde onderdelen van Mode 3 gebruikt en niet de veiligheidsaspecten van Mode 3.

Conclusie

We hebben in deze paragraaf de volgende punten behandeld:

- Systeemopbouw laadinfrastructuur: de vier laadmodi bestaan uit verschillende componenten, waarbij Mode 3 en Mode 4 meer ingebouwde veiligheidssystemen hebben;
- Veiligheidsrisico's laadinfrastructuur: de veiligheidsrisico per laadmodus verschillen. Er is onderscheid te maken in risico's door (verkeerd) gebruik, risico's door fysieke eigenschappen van laadinfrastructuur en risico's door digitale eigenschappen bij Mode 3 en Mode 4;
- Praktijktesten: er zijn geen praktijktesten gevonden waarbij de veiligheid van laadinfrastructuur, fysiek dan wel digitaal, getest is. De benoemde risico's in dit hoofdstuk kunnen we daarom niet kwantificeren.

Laadinfrastructuur is complex en bestaat uit veel componenten, zowel fysiek als digitaal. De complexiteit brengt uitdagingen met zich mee om risico's te beperken. De specifieke vragen die leven, hebben we niet allemaal kunnen beantwoorden door middel van literatuuronderzoek en het afnemen van interviews. Op basis van de vragen die gesteld zijn door de opdrachtgever vooraf en door informatie van geïnterviewden, hebben we gemerkt dat er wel behoefte is aan het beantwoorden van deze specifieke vragen. Een voorbeeld van een vraag die wij niet hebben kunnen beantwoorden maar waar veel over gesproken is, is: hoe kan de veiligheid van installatie van laadpunten in de thuissituatie gewaarborgd worden?

In de literatuur hebben we geen praktijktesten gevonden in relatie tot de veiligheid van laadinfrastructuur, zowel fysiek als digitaal. De benoemde risico's in dit hoofdstuk kunnen we daarom niet kwantificeren. Ons beeld op basis van het literatuuronderzoek en de interviews is dat Mode 3 en Mode 4 laden veilig zijn door de ingebouwde systemen. Alle laadmodi zijn in meer of mindere mate kwetsbaar voor aanrijdingen, hoewel een laadpunt met ingebouwde scheefstandsensoren vanzelf af zal schakelen bij een aanrijding. Daarnaast kunnen defecte connectoren risico's met zich meebrengen of ervoor zorgen dat een laadpunt niet begint met laden (ingebouwd beveiligingssysteem). Daarbij geldt wederom dat het risico het product is van de kans dat het optreedt en het effect als het optreedt. Op basis van interviews (en daarmee op basis van data bij CPO's) lijkt de kans dat risico's optreden in meer of mindere mate aanwezig is, maar dat het effect klein is als het risico optreedt.

Op basis van de literatuur en de interviews zien we dat een juiste installatie belangrijk is voor de veiligheid. Aanbestedende overheden stellen hier eisen aan. Controle op installatie is verschillend geregeld per land en in Nederland is geen onafhankelijke controle achteraf op installatie. Per CPO wordt een eigen protocol gehanteerd voor het controleren van een juiste installatie en het uitvoeren van (preventief) onderhoud en visuele controles. De frequentie van het uitvoeren van visuele controles van laadstations loopt uiteen van driewekelijks (bij snellaadstations) tot jaarlijks bij de door ons geïnterviewde CPO's.

4 Wet- en regelgeving

In dit hoofdstuk beschrijven wij voor elk van de negen veiligheidsaspecten de wet- en regelgeving of standaarden en normering die wij hebben gevonden in de literatuur en die benoemd is in interviews. Uit zowel de literatuur als uit de interviews blijkt dat er veel regelgeving bestaat en dat er de laatste jaren steeds meer standaarden zijn gekomen, specifiek gericht op elektrische auto's en accupakketten. Deze standaarden worden ook nu nog verder doorontwikkeld of opgenomen in regelgeving. Daarnaast zijn er nieuwe standaarden in ontwikkeling om de veiligheid van elektrische auto's te waarborgen.

Een groot deel van de regelgeving is van toepassing op zowel elektrische als conventionele auto's. Zo is bijvoorbeeld dagrijverlichting verplicht in alle nieuwe type auto's sinds 2011 (EC, 2020a) en is er regelgeving in ontwikkeling voor semiautomatische remondersteuning (AEBS) (UNECE, 2019). In dit hoofdstuk bespreken we de belangrijkste verordeningen, richtlijnen en reglementen die van kracht of in ontwikkeling zijn, specifiek voor elektrische auto's. Ook geven wij per thema in een conclusie aan of er regelgeving ontbreekt op basis van ons literatuuronderzoek en de interviews.

4.1 Voertuigveiligheid

Alle voertuigen in Europa moeten worden voorzien van een typegoedkeuringscertificaat dat voldoet aan de richtlijnen van de EU. De richtlijnen zijn opgesteld per voertuigcategorie (RDW, 2020). De typegoedkeuring kan in Nederland aangevraagd worden bij de RDW. In Nederland is de Wegenverkeerswet 1994 van kracht. Deze wet is sinds de vorige versie van de factsheet niet aangepast maar de regelgeving die daarbinnen valt heeft wat kleine wijzigingen ondergaan. De volgende regelgeving is voor elektrische auto's van kracht (TNO, 2014) (RDW, 2020):

- Uniforme voorschriften voor de goedkeuring van elektrische auto's (VN/ECE-reglement nr. 100 (ECE 100), deze is in 2015 geactualiseerd).
- Testen en eisen m.b.t. elektromagnetische compatibiliteit (EMC, richtlijn UN/ECE Regulation R10 of voor de L categorie voertuigen 97/24, richtlijn 72/245/EEG is niet langer van kracht) (EUR-Lex, 2014).
- Testen en eisen met betrekking tot het weggedrag (beleidsregel weggedrag).
- Eisen aan de bekabeling, voorziening uitschakeling hoogspanning en plaatsing van het accupakket. (Bijlage IV, Annex 4, Regeling voertuigen).
- Vanaf 2011 moeten kabels met een hoog voltage een oranje kleur hebben zodat ze voor monteurs en hulpdiensten snel en eenvoudig te detecteren zijn. Vóór dit jaartal kunnen de kabels met een hoog voltage ook een andere kleur hebben.

Het reglement ECE 100 is in 2015 aangepast. In dit reglement zijn uniforme bepalingen voor de goedkeuring van voertuigen opgesteld met daarin specifieke voorschriften voor de elektrische aandrijflijn voor voertuigcategorieën M (personenauto's en bussen) en N (bedrijfsauto's) (EU, 2018; RDW, 2020). De nieuwe versie bevat nieuwe eisen voor fabrikanten van oplaadbare batterijen met betrekking tot testen (TUV SÜD, 2014). Daarnaast is er een nieuw goedkeuringsschema toegevoegd (European Road Safety Observatory, 2018). Volgens de DEKRA worden er in de praktijk aanvullende eisen gesteld aan de ECE 100 door fabrikanten en worden er meer veiligheidsmaatregelen toegepast dan in ECE 100 worden voorgeschreven.

Daarnaast is er op het gebied van elektrische auto's internationale regelgeving in ontwikkeling. Zo zijn er binnen de Verenigde Naties (VN) diverse werkgroepen actief (geweest) met betrekking tot (extra) maatregelen voor veiligheid van elektrische auto's:

- IWG Electric Vehicle Safety (EVS);
- IWG Electric Vehicles and the Environment (EVE);
- IWG on Cyber Security and (OTA) software updates (CS/OTA);
- IWG Vehicle Interior Air Quality (VIAQ).

Er wordt bijvoorbeeld gediscussieerd over de 'long-term fire-resistance test', de 'rotation test' en de 'REESS Overcurrent protection'. Mogelijk worden deze in de volgende fase toegevoegd aan de Global Technical Regulations²⁷ (GTRs) number 20 (Electric Vehicle Safety) (UNECE, 2020).

Vanuit Nederland begeleidt de NEN commissie NEC 69 'elektrische auto's' internationale normalisatie voor elektrische auto's in mondiale en Europese normcommissies. De commissie treedt op als inspraakplatform voor (NEN, 2018c):

- CLC/TC 69X: 'Electrical systems for electric road vehicles' met als werkgebied: "To prepare European standards related to electrical systems for road vehicles, totally or partly propelled from self-contained power sources".
- IEC/TC 69: 'Electric road vehicles and electric industrial trucks' met als werkgebied: "To prepare international standards for road vehicles, totally or partly electrically propelled from selfcontained power sources, and for electric industrial trucks".

Conclusie

Op basis van de onderzochte literatuur en de interviews zijn er geen openstaande vragen met betrekking tot de wet- en regelgeving voor voertuigveiligheid van elektrische auto's.

4.2 Batterijschade

De afgelopen jaren zijn diverse normeringen ontwikkeld die specifiek testen beschrijven voor het accupakket in voertuigen. Er wordt hierbij onderscheid gemaakt tussen testen op voertuig-, accupakket-, module- of celniveau. Testen op deze verschillende niveaus kunnen anders uitpakken. Bijvoorbeeld: de gevolgen voor het accupakket kunnen verschillend zijn bij een botstest op het niveau van het accupakket als bij een botstest op voertuigniveau als gevolg van de voertuigsamenstelling. De bestaande normeringen bestaan op verschillende niveaus. In (Ruiz, et al., 2018) is een vergelijking gemaakt van deze normeringen. In Tabel 4 presenteren we een overzicht van deze vergelijking voor de normen die van toepassing zijn voor Nederland (NEN, 2018d; 2019e; Ruiz, et al., 2018).

Aanvullend op deze normeringen zal in januari 2021 de PGS-37 richtlijn opgeleverd worden waarin eisen gesteld zullen worden ten aanzien van de opslag van li-ion batterijen (Publicatie gevaarlijke stoffen, 2020). Het doel van deze richtlijn is om de veiligheid in de omgeving van toepassingen van de batterijen te verhogen en is dus niet uitsluitend bedoeld voor elektrische auto's. Voorafgaand aan het uitkomen van de richtlijn is er in juli 2020 een beleidscirculaire uitgebracht met adviezen. De circulaire zal worden ingetrokken zodra de PGS-37 van kracht wordt (Staatscourant, 2020).

²⁷ Verordening met voorschriften over typegoedkeuringen.

Tabel 4 - Overzicht inhoud normeringen voor het accupakket in voertuigen op basis van (Ruiz, et al., 2018).
V = voertuigniveau, A = accupakketniveau, M = module niveau en C = celniveau

	ISO 12405-4	IEC 62660-2:2019	ECE 100	Behoefte aan regelgeving o.b.v. literatuur en interviews
Mechanisch				
Mechanische schok	A	C	C/M/A/V	
Valtest				X
Penetratietest				
Onderdompeling	A			
Crush/crash	A/V	C	C/M/A/V	
Omrollen				
Triltest	A	C	C/M/A	
Elektrisch				
Externe kortsluiting	A	C	C/M/A	
Interne kortsluiting		C		
Overladen/ontladen	A	C	C/M/A/V	
Omgeving				
Thermische stabiliteit		C		X
Thermische schok en cycli	A	C	C/M/A	
Oververhitting			C/M/A/V	
Extreem koude temperatuur				X
Brand	A/V		C/M/A/V	
Chemisch				
Toxische gassen				X
Ontvlambaarheid				

Uit het interview met de DEKRA kwam eenzelfde beeld naar voren als in Tabel 4. In het interview werd wel nog gesteld dat de testprogramma's voor accupakketten de afgelopen 10-15 jaar zijn verbeterd waardoor de kans op thermal runaway verkleind is. Andere partijen geven echter aan dat er onvoldoende zicht is op thermal runaway (zie hieronder). In de testprogramma's komt de werking van het BMS positief naar voren. Een openstaande vraag hierbij is wat de betrouwbaarheid van het BMS is gedurende de levensduur, oftewel: blijft het BMS optimaal functioneren bij veroudering? Dit is een punt dat in meerdere interviews naar voren is gekomen en waar wij in de literatuur geen uitsluitsel over hebben kunnen vinden.

De testen in de normeringen in Tabel 4 zijn statisch. We hebben op basis van de literatuur en interviews een behoefte geïdentificeerd voor het uitvoeren van dynamische testen:

- Bij een botsing beweegt het accupakket in de richting van de impactzone. In de testen volgens de regelgeving in Tabel 4 is deze beweging niet meegenomen (Ruiz, et al., 2018).
- Bij werkzaamheden aan de auto is er in de standaarden niets opgenomen over dynamische belasting bij het installeren van het accupakket en het laten vallen van een accupakket op de grond. Dit laatste kan voorkomen bij het verwisselen van de accu.

Daarnaast zijn er een aantal aspecten van belang bij elektrische auto's die momenteel niet worden afgedekt in regelgeving, namelijk: toxische emissies, brandbare emissies en koude temperaturen waardoor kortsluiting kan ontstaan (Ruiz, et al., 2018). Ook regelgeving over thermische stabiliteit ontbreekt. Daaraan is bij veel geïnterviewden behoefte vanwege het

risico op thermal runaway. Er is bij ons geen regelgeving bekend over mitigerende maatregelen voor thermal runaway.

Vanuit Nederland ontwikkelt de NEN commissie NEC 21-35 ‘cellen en batterijen’ nationale normen en beïnvloedt de ontwikkeling van Europese en internationale normen voor cellen en batterijen. De commissie is betrokken bij de ontwikkeling van (NEN, 2018a):

- IEC/TC 21: secundaire cellen en batterijen (o.a. veiligheid, testen, veilige toepassing) (IEC, 2020a).
- IEC/TC 35: primaire cellen en batterijen (o.a. specificaties, dimensionering, veiligheidsaspecten) (IEC, 2020b).

Conclusie

Op basis van het literatuuronderzoek en de interviews identificeren wij een aanvullende behoefte aan regelgeving aan accupakketten voor:

- thermische stabiliteit (er bestaat al wel een IEC norm);
- extreem koude temperatuur;
- toxische gassen;
- regelgeving op grond van resultaten uit dynamische testen.

Er is met name behoefte aan regelgeving ten aanzien van de thermische stabiliteit vanwege het risico op thermal runaway. Wij hebben geen regelgeving gevonden met betrekking tot mitigerende maatregelen voor thermal runaway. Daarnaast is er onduidelijkheid over de betrouwbaarheid van het BMS naarmate het systeem veroudert.

4.3 Afwezigheid van geluid

Europese regelgeving stelt dat iedere nieuwe elektrische en hybride auto een Acoustic Vehicle Alerting System (AVAS) moet hebben (Regulation 2017/1576). Dit systeem genereert waarschuwingsgeluiden vanaf het moment dat de auto start tot circa 20 km/u. Het systeem is verplicht in alle nieuwe type elektrische en hybride auto's sinds 1 juli 2019. Vanaf 1 juli 2021 zal het verplicht worden in alle nieuwe elektrische auto's. Bestuurders van de auto hebben echter wel de mogelijkheid om het systeem te deactiveren indien ze dat nodig vinden (BBC, 2019; EC, 2019a).

Conclusie

Op basis van de onderzochte literatuur en de interviews zijn er geen openstaande vragen met betrekking tot de wet- en regelgeving voor de afwezigheid van geluid bij elektrische auto's. De verwachting is dat veiligheidsrisico's met AVAS voldoende ondervangen worden (zie ook Paragraaf 3.4).

4.4 Brandveiligheid

Brandveiligheid is een onderwerp dat raakvlak heeft met veel andere vormen van veiligheid. Er zijn specifieke eisen voor het accupakket, zoals besproken in Paragraaf 4.2. Daarnaast zijn er eisen ten aanzien van de brandveiligheid van laadinfrastructuur, zoals besproken wordt in Paragraaf 4.9. Ook heeft brandveiligheid raakvlakken met de voertuigveiligheidseisen zoals besproken in Paragraaf 4.1. We zijn geen andere wet- en regelgeving ten aanzien van de brandveiligheid tegengekomen.

Conclusie

Wij zien geen behoefte voor aan aanvullende regelgeving voor brandveiligheid bij elektrische auto's. Wel zou onderzocht kunnen worden welke aanvullende eisen er gesteld worden door autofabrikanten en of deze eisen aanleiding geven om deze op te nemen in verplichte regelgeving.

4.5 Veiligheid van auto's in afgesloten ruimtes

Parkeergarages moeten in Nederland voldoen aan het Bouwbesluit 2012 (Rijksoverheid, 2011). De voorschriften uit het Bouwbesluit 2012 gelden voor bestaande en nieuw te realiseren bouwwerken. In het Bouwbesluit 2012 staan prestatie-eisen voor parkeergarages, bijvoorbeeld met betrekking tot de maximale grootte van brandcompartimenten. Deze voorzieningen op grond van het Bouwbesluit 2012 voldoen aan de NEN1010 over de veiligheid van elektrische voorzieningen, waarin ook eisen voor laadpalen zijn opgenomen. Sinds maart 2020 zijn in het Bouwbesluit 2012 eisen opgenomen voor het verplicht aanleggen van laadinfrastructuur voor elektrische auto's. (Rijksoverheid, 2020). De verplichting geldt op dit moment alleen nog maar bij ingrijpende verbouw of nieuwbouw (over paar jaar ook voor bestaande bouw) van gebouwen met een parkeergelegenheid van meer dan tien parkeervakken:

- bij utiliteitsbouw moet minimaal één laadpunt worden aangelegd en leidingdoorvoeren voor één op de vijf parkeerplaatsen;
- bij woningbouw gaat het alleen om leiding doorvoeren voor de aanleg van laadpunten;
- bij bestaande utiliteitsbouw met een parkeergelegenheid met meer dan twintig parkeervakken moet met ingang van 2025 één oplaadpunt zijn aangelegd.

Hiermee is invulling gegeven aan de verplichtingen die voortvloeien uit de Europese richtlijn EPBD III betreffende de energieprestatie van gebouwen (RVO, 2020). Er zijn naast de eis dat elektrische installaties (waaronder ook laadpunten) moeten voldoen aan NEN1010 in het Bouwbesluit 2012 geen specifieke brandveiligheidseisen opgenomen voor het laden of parkeren van elektrische auto's in parkeergarages. Het huidige Bouwbesluit zal naar verwachting in 2022 opgaan in het Besluit bouwwerken leefomgeving bij intreding van de Omgevingswet.

In opdracht van het ministerie van BZK werkt het normalisatie instituut NEN aan een NEN-norm voor integrale brandveiligheid van parkeergarages. Het ministerie van BZK beziet aansluitend hierop mogelijke aanpassingen van de bouwregelgeving. De verwachting is dat de nieuwe norm in 2021 van kracht zal worden, waarna deze in bouwregelgeving kan worden opgenomen. Deze nieuwe versie zal waarschijnlijk alleen gelden voor nieuwbouw maar gemeenten kunnen ervoor kiezen om deze ook verplicht te stellen voor bestaande bouw. In de nieuwe versie zullen elektrisch (en andere alternatief) aangedreven voertuigen worden meegenomen. Hoe dit wordt vormgegeven is niet naar voren gekomen uit literatuur en interviews.

Er zijn daarnaast regionale verschillen in eisen en voorschriften: momenteel stellen bijvoorbeeld niet alle gemeentes dezelfde eisen aan parkeergarages waarin laadpalen zijn gerealiseerd²⁸.

²⁸ De gemeente Rotterdam gaf aan dat zij sprinklerinstallaties verplichten, terwijl dit bij andere gemeentes nog niet vereist is.

Conclusie

Ons beeld is dat de regelgeving voor (brand)veiligheid in parkeergarages in relatie tot voertuigen mogelijk niet afdoende is. Echter geldt dit voor auto's in het algemeen en niet alleen voor elektrische auto's. Het ministerie van BZK heeft opdracht gegeven voor het opstellen van een norm over integrale brandveiligheid van parkeergarages. Bij ons is niet bekend hoe de norm wordt vormgegeven.

4.6 Incident management

In 2019 is de richtlijn eerste veiligheidsmaatregelen bij verkeersincidenten (REVI) opgesteld door Rijkswaterstaat in samenwerking met de politie, de brandweer, een berger en ANWB. De richtlijn is bedoeld voor politie, brandweer, ambulancezorg, wegbeheerders, bergers, ANWB Wegenwacht en de Koninklijke Marechaussee. In de richtlijn worden vier categorieën beschouwd bij incidenten met elektrische auto's, namelijk (Rijkswaterstaat, 2019):

- Categorie A: geen schade;
- Categorie B: alleen blik schade;
- Categorie C: geactiveerde airbags;
- Categorie D: ernstig vervormde kooiconstructie.

In de richtlijn staat dat alleen voertuigen in Categorie D 'ernstig vervormde kooiconstructie' een mogelijk direct gevaar vormen. Bij deze vervorming kan het in uitzonderlijke gevallen zo zijn dat het accupakket vlam vat en daardoor de carrosserie ook. Persoonlijke Beschermingsmiddelen (PBM's) zijn nodig bij elektrische auto's die in deze categorie vallen. Bij brand met een elektrisch auto waarbij het accupakket niet in brand staat, kan het voertuig op dezelfde manier benaderd worden als een conventioneel auto. Bij brand aan het accupakket dient de incidentbestrijder bovenwinds te blijven en het blussen over te laten aan de brandweer (Rijkswaterstaat, 2019).

In de norm ISO 6469-4:2015 staan veiligheidseisen beschreven van elektrische auto's na een incident. De norm bevat geen procedure voor crashtesten en biedt geen uitgebreide informatie voor hulpverleners, bergers en monteurs (NEN, 2015b; ISO, 2015).

Conclusie

Wij hebben geen behoefte voor aanvullende regelgeving geïdentificeerd.

4.7 Onderhoud en veiligheid

In mei 2019 is er een herziene versie verschenen van de NEN 9140, welke nu meer gericht is op de automobielbranche. Aan de norm zijn onder andere twee stroomschema's toegevoegd met werkprocedures voor hulpverleningsdiensten langs de wegen en voor personeel van reparatie- en onderhoudsbedrijven. In de norm wordt beschreven welke personen er in de werkplaats mogen werken aan elektrische auto's. In de norm wordt de volgende onderscheiding gemaakt:

- ev-VOP: ev-Voldoende Opgeleid Persoon;
- ev-VP: ev-Vakbekwaam Persoon;
- ev-WV: ev-Werkverantwoordelijke.

De ev-WV is verantwoordelijk voor de veiligheid bij werkzaamheden aan elektrische auto's die elektrisch gevaar met zich mee kunnen brengen. De ev-WV stelt Persoonlijke Beschermingsmiddelen (PBM's) beschikbaar aan collega's en houdt toezicht op het juiste

gebruik ervan (Innovam, 2020). Daarnaast hebben fabrikanten voorschriften bij het werken aan de producten.

Daarnaast is er een branchenorm ‘Veilig werken aan Elektrische Voertuigen (EV) en Hybride Elektrische Voertuigen (HEV)’ in garagewerkplaatsen en stellen autofabrikanten zelf ook eisen bij elektrische auto’s aan opleiding personeel, inrichting werkplaats en veilig werken aan elektro voertuigen.

Het is onduidelijk of de aandachtspunten en normeringen bekend zijn bij hobbyisten. Onder hobbyisten verstaan wij hierbij consumenten die graag sleutelen aan auto’s en daarnaast kleine garages zonder EV-gecertificeerd personeel.

Conclusie

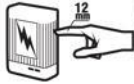
Ons beeld is dat de normeringen en bijbehorende trainingen voor garagepersoneel afdoende zijn om veilig aan elektrische auto’s te werken. Het is onduidelijk of de aandachtspunten en normeringen bekend zijn bij hobbyisten, wat potentieel risico’s met zich mee zou kunnen brengen.

4.8 Te water geraking

Een test om het accupakket van een voertuig onder te dompelen in water is niet standaard opgenomen in de meeste normen (Ruiz, et al., 2018). Het hoogspanningssysteem van elektrische auto’s is geïsoleerd en dusdanig ontworpen dat het systeem geen schokken kan geven of het omringende water onder spanning kan zetten. Daarmee is het ontwerp van de auto’s veilig bij te water geraking. In ISO 12405 is sinds 2014 is een test opgenomen voor het volledig of grotendeels onder water dompelen van het accupakket. De test is niet tot in detail beschreven en geeft vooral aan dat kortsluiting ervoor kan zorgen dat er mogelijk gevaarlijke gassen vrijkomen (NEN, 2018d; NFPA, 2017).

Het Ingress Protection (IP) rating system (zie Figuur 8) wordt in Europa gebruikt om te specificeren hoe elektronica beschermd is tegen invloeden van buitenaf. De elektronische onderdelen in een elektrisch auto moeten minimaal voldoen aan IP66. Dit betekent dat de onderdelen volledig beschermd moeten zijn tegen indringing van stof en tegen water dat met hoge druk op de onderdelen komt (NEN, 2019c; NEMA enclosures, 2013; Gaton, 2018; The Enclosure Company, sd).

Figuur 8 - IP ratings guide

IP (Ingress Protection) Ratings Guide	
SOLIDS	WATER
1  Protected against a solid object greater than 50 mm such as a hand.	1  Protected against vertically falling drops of water. Limited ingress permitted.
2  Protected against a solid object greater than 12.5 mm such as a finger.	2  Protected against vertically falling drops of water with enclosure tilted up to 15 degrees from the vertical. Limited ingress permitted.
3  Protected against a solid object greater than 2.5 mm such as a screwdriver.	3  Protected against sprays of water up to 60 degrees from the vertical. Limited ingress permitted for three minutes.
4  Protected against a solid object greater than 1 mm such as a wire.	4  Protected against water splashed from all directions. Limited ingress permitted.
5  Dust Protected. Limited ingress of dust permitted. Will not interfere with operation of the equipment. Two to eight hours.	5  Protected against jets of water. Limited ingress permitted.
6  Dust tight. No ingress of dust. Two to eight hours.	6  Water from heavy seas or water projected in powerful jets shall not enter the enclosure in harmful quantities.
Rating Example: IP65 INGRESS PROTECTION	
	7  Protection against the effects of immersion in water between 15 cm and 1 m for 30 minutes.
	8  Protection against the effects of immersion in water under pressure for long periods.

Bron: (NEMA enclosures, 2013).

Conclusie

De regelgeving voor te water geraking lijkt op basis van de literatuur en interviews afdoende te zijn.

4.9 Laadinfrastructuur

Laadinfrastructuur is een complex systeem dat bestaat uit verschillende fysieke en digitale componenten. Daarnaast is er privaat en publiek laden, waar verschillende regelgeving voor is. Dat maakt dat de regelgeving voor laadinfrastructuur uitgebreid is.

Alle fysieke componenten van de laadinfrastructuur moeten gecertificeerd zijn, van connectoren en kabels tot aan de laadpaal waarin alle componenten samenkomen. Er is daardoor sprake van een ketenverantwoordelijkheid om de veiligheid van het hele systeem te waarborgen.

We onderscheiden voor laadinfrastructuur regelgeving de volgende categorieën:

- Fysieke componenten (laadkabels, connectoren): in deze normen wordt beschreven aan welke eisen de losse componenten aan moeten voldoen.
- Laadstations: in deze normen staan algemene eisen beschreven voor laadstations en specifieke eisen voor AC- en DC-laadstations.
- Installatie: er zijn normen beschikbaar voor installatie van laadpunten waarbij onderscheid te maken is tussen privaat en publiek laden.
- Informatie-uitwisseling: hierbij wordt beschreven aan welke veiligheidseisen de communicatie tussen het voertuig, het laadstation, en de operatoren moet voldoen om een veilige informatie-uitwisseling te waarborgen.

In Bijlage C staat een overzicht van regelgeving per categorie.

De TRAN Committee²⁹ heeft in 2018 een onderzoek gepresenteerd over laadinfrastructuur. In het onderzoek is bekeken wat er aangepast moet worden in bestaande regelgeving om een veilige laadinfrastructuur te waarborgen voor het wegverkeer. Een van de bevindingen was dat de technische standaarden voor laadpunten voldoende kwaliteit waarborgen. Er zijn veel protocollen die de communicatie tussen het laadstation en het voertuig waarborgen maar deze ondersteunen niet allemaal toekomstige ontwikkelingen zoals slim laden (Ecofys ; Navigant Research, 2018).

In Nederland is NEN1010 van kracht voor de installatie van private laadpunten. De norm vereist de aanwezigheid van een aardlekschakelaar gekoppeld aan het laadpunt. Daarnaast zijn er voor privaat laden geen specifieke eisen gericht op installatie. Voor publiek laden is NEN3140 van kracht, een richtlijn voor laagspanning en installatieverantwoordelijkheid. Er is geen regelgeving ten aanzien van controles achteraf op de installatie van laadpalen, zowel publiek of privé. In diverse interviews is dit aangemerkt als zorgpunt, zeker in relatie met de verwachte toename van het aantal laadpalen.

Volgens het merendeel van de geïnterviewden is NEN1010 niet afdoende voor het installeren van private laadpunten en controle op installatie wordt nauwelijks uitgevoerd. De laadpunten vallen onder de reguliere opstalverzekering en de installatie moet voldoen aan NEN1010, waarbij het laadpunt geaard is. Daarnaast dient de installateur daarnaast te kijken naar onder andere de capaciteit van de netaansluiting. In de polisvoorwaarden zijn meestal geen extra eisen opgenomen, al heeft een aantal verzekeraars voorwaarden opgenomen voor een deugdelijke installatie.

Conclusie

Naast de behoefte voor aanvullende eisen voor installatie van private laadpunten hebben wij op basis van de literatuur en interviews geen behoefte voor aanvullende regelgeving geïdentificeerd. Openstaande vraag is of het zorgpunt over controle op installatie achteraf, kan worden weggenomen met aanvullende regelgeving.

²⁹ TRAN staat voor 'Transport and Tourism'. De TRAN committee valt onder het Europees Parlement.

5 Kennislacunes

Eén van de doelen van dit onderzoek was het inventariseren van kennislacunes op het gebied van veiligheidsrisico's ten aanzien van elektrisch rijden. Dit bleek geen eenvoudige opgave. Gedurende het onderzoek bleek dat er veel, vaak ongelijksoortige en zeer (situatie)specifieke vragen opkwamen. De bestaande literatuur geeft op dergelijke vragen doorgaans geen antwoord. Toch kunnen deze tot op heden onbeantwoorde specifieke vragen potentieel belangrijk zijn om mogelijke veiligheidsrisico's in beeld te brengen.

Om toch tot een lijst met kennislacunes te komen, hebben we getracht een prioritering te maken van alle vragen die leven onder experts en de meest acute vragen daarin op te nemen. De prioritering is in eerste plaats gedaan door te kijken of dezelfde (soort) vragen door meerdere geïnterviewden aan de orde werden gesteld. Hoe meer partijen dezelfde (soort) vraag stelden hoe groter de kans dat deze door ons als kennislacune is aangemerkt. Vervolgens hebben we beoordeeld of deze vragen te onderzoeken zijn. Dat houdt in dat we een expertoordeel hebben geveld over de mogelijkheid om middels onderzoek (of anderszins) een antwoord te krijgen op deze vragen waarbij de inspanningen in verhouding staan tot het potentiële veiligheidsrisico. De uiteindelijke lijst met kennislacunes is besproken in de klankbordgroep en waar nodig/gewenst aangevuld.

In het vervolg van dit hoofdstuk bespreken we één voor één de belangrijkste kennislacunes. We komen per kennislacune ook met globale oplossingsrichtingen en aanbevelingen over de wijze waarop de kennislacune kan worden weggenomen.

Kennislacune 1: Voertuigveiligheid in relatie tot acceleratievermogen

Met betrekking tot voertuigveiligheid is het relatief hoge acceleratievermogen van elektrische auto's in de literatuur relatief onderbelicht gebleven. Deze factor lijkt in beginsel van invloed op de verkeersveiligheid en de ernst van letsel bij ongevallen, bijvoorbeeld bij congestie. Op dit moment is er geen goed zicht op de grootte van de risico's. Een onderzoek op basis van data en statistieken is in dit geval lastig omdat daarin waarschijnlijk niet wordt geregistreerd hoe snel de auto optrok vooraf aan het incident.

Een alternatieve onderzoeksmethode is om een gedragsonderzoek te ontwerpen waarbij automobilisten tijdens het rijden in elektrische en conventionele auto's worden geobserveerd en de ritkarakteristieken (samen met de voertuigkenmerken zoals gewicht) worden gelogd. Op deze manier kan (met een representatieve steekproef van deelnemers) worden geanalyseerd of het rijgedrag in een EV wordt beïnvloed door (onder meer) het hogere acceleratievermogen en het voertuiggewicht.

Kennislacune 2: Mitigerende maatregelen thermal runaway

Uit ons onderzoek blijkt dat er, mede gezien de potentiële risico's, op het gebied van mitigerende maatregelen bij thermal runaway meer kennis nodig is over de werking en effectiviteit van de maatregelen. Er zijn veel studies beschikbaar waarin het proces thermal runaway wordt beschreven en onderzocht. Echter, studies die betrekking hebben op het beperken van veiligheidsrisico's zijn voornamelijk denkrichtingen om de risico's te beperken en zijn (voor zover wij hebben kunnen ontdekken) veelal nog niet doorgevoerd in accu-pakketten.

Wij zien de volgende vervolgstappen:

- inventariseren bij accufabrikanten in hoeverre mitigerende maatregelen onderdeel uitmaken van de ontwikkeling van batterijen;
- investeren in testen om de denkrichtingen door te zetten in concrete oplossingen die kunnen worden ingebouwd in accupakketten;
- internationale veiligheidseisen formuleren met fabrikanten van batterijen, incident-bestrijders, en de autobranche ten aanzien van thermal runaway, denk hierbij bijvoorbeeld aan het expliciet maken van de tijd tussen optreden van thermal runaway en het overslaan naar naburige cellen.

In deze studie hebben we ons beperkt tot literatuur/kennis die gaat tot het celniveau van de batterij en het accupakket zelf. Batterijen en cellen bestaan echter uit vele componenten waarover meer literatuur beschikbaar is. Het gaat dan over bijvoorbeeld de thermische stabiliteit bij de toepassing van verschillende materialen. Een verdieping in de kennis van batterijen/accu's op componentniveau zou meer inzicht kunnen geven op de risico's en daarmee op mogelijk mitigerende maatregelen bij thermal runaway, aanvullend op deze studie. Daarbij is het wat ons betreft ook van belang om te kijken naar de effecten van productiefouten in en veroudering van batterijen en hoe dit de kans op thermal runaway beïnvloedt.

Een inventarisatie onder autofabrikanten en de manier waarop zij maatregelen treffen om thermal runaway te voorkomen is wat ons betreft van meerwaarde. Autofabrikanten kunnen (in de rol van afnemer) immers eisen stellen aan de producenten van accupakketten. In hoeverre dat nu plaatsvindt en welke richtingen autofabrikanten daarbij verkennen is nog niet goed in beeld. Tegelijkertijd zijn er autofabrikanten die zelf accupakketten produceren waardoor deze autofabrikanten zowel als producent als afnemer optreden. Het formuleren van eisen en deze naleven wordt hierdoor intern bepaald.

Kennislacune 3: Effecten van veroudering

Alhoewel er op dit moment veel meer elektrische auto's rondrijden dan ten tijde van het opstellen van de 'Factsheet feitenmateriaal elektrische auto's en veiligheid' (TNO 2014), zijn er nog steeds relatief weinig oude elektrische auto's in het straatbeeld. Het gevolg is dat er ook relatief weinig bekend is over de effecten van veroudering van elektrische auto's op de veiligheid op basis van statistieken. Er zijn drie aspecten die wij met name interessant achten om nadere informatie over te verzamelen:

1. De kwaliteit van het accupakket bij de aanschaf van een elektrische occasion.
2. De invloed van veroudering op de kans dat thermal runaway optreedt.
3. De betrouwbaarheid van het BMS over de levensduur.

Eventuele risico's van veroudering van het accupakket en het BMS zouden onderdeel kunnen worden gemaakt van de jaarlijkse APK waarbij er ook eisen worden opgenomen ten aanzien van de prestaties van het batterijpakket. In de interviews zijn wisselende geluiden naar voren gekomen over de haalbaarheid hiervan. Dit zou een punt zijn om nader te onderzoeken.

De invloed van veroudering op thermal runaway zou wat ons betreft onderdeel moeten zijn van het onderzoek dat meer zicht biedt op de kans op en de effecten van mitigerende maatregelen om thermal runaway te voorkomen (zie Kennislacune 2).

Kennislacune 4: Risico's in afgesloten ruimtes

Er is een debat gaande in media en politiek over risico's die brand in of nabij elektrische auto's met zich meebrengt wanneer ze zich begeven in afgesloten ruimtes. In de meeste gevallen gaat het dan om extra risico's die zouden kunnen optreden wanneer elektrische auto's parkeren in parkeergarages. Ook kan het gaan om veiligheid in tunnels. Er zijn ten aanzien van risico's in afgesloten ruimtes meerdere aspecten waar aanvullende kennis gewenst is:

1. Onderzoeken of er meer constructieschade optreedt en daarna eventueel de ernst daarvan, in het geval er bij een brand in een afgesloten ruimte een elektrisch auto is betrokken.
2. De beste manier om branden in afgesloten ruimtes te bestrijden.
3. Een afwegingskader om voor- en nadelen van oplossingen om risico's op branden van elektrische auto's in afgesloten ruimtes te kunnen beoordelen.

Bij Punt 1 is de potentieel grote nevenschade van een brand van belang, omdat parkeergarages vaak in bewoond gebied of zelfs direct onder woningen gevestigd zijn. Brand kan in theorie tot constructieschade leiden die in aanvulling op de brand zelf extra schade kan toebrengen aan omwonenden. Wanneer een brand aan een elektrische auto relatief meer schade toe kan brengen dan een brand van een conventionele auto, kan ook deze nevenschade groter zijn. Op dit moment is er behoefte aan meer kennis om uit te sluiten of elektrische auto's meer schade kunnen veroorzaken.

Bij Punt 2 geldt dat nog onvoldoende bekend is of het brandverloop van elektrische auto's voor een groter of minder groot risico zorgt in vergelijking met het brandverloop van een conventionele auto. In afgesloten ruimtes kunnen de gevolgen potentieel groter zijn dan in de buitenruimte. Ook is er nog onvoldoende kennis over de effectieve bestrijding van branden met elektrische auto's: uit zowel de interviews als literatuur blijkt dat veel oplossingen nog niet worden toegepast omdat deze moeilijk toepasbaar zijn, soms vanwege hoge kosten. Momenteel wordt brand bestreden of vermeden door blussen met veel bluswater of de toepassing van dompel- of salvagecontainers. Dit is kostbaar, omdat de auto na onderdompeling total loss is en de containers zijn niet in alle gevallen handig inzetbaar.

Met betrekking tot Punt 1 en 2 zien we een aantal oplossingsrichtingen om meer te weten te komen over de gevolgen van branden in afgesloten ruimtes:

- Experimenteel onderzoek: de brandweer kan testlocaties of (schaal)opstellingen maken met elektrische auto's en daarin onder gecontroleerde omstandigheden een brand starten en analyseren. Dergelijk onderzoek kan hoge kosten met zich meebrengen. Met deze experimenten kan ook gekeken worden naar de effectiviteit van blusmiddelen.
- Computersimulaties: er kan verkend worden of met behulp van computersimulaties kan worden onderzocht wat het effect is van branden op constructieschade, rookontwikkeling en bepaalde blusmethoden.

Punt 3 is meer algemeen van aard en komt voort uit de behoefte om de veiligheidsrisico's van elektrische auto's en de voordelen van maatregelen om die tegen te gaan op een redelijke manier af te kunnen wegen tegen de nadelen die deze maatregelen met zich mee brengen. Bij grote infrastructurele projecten is het wettelijk verplicht om vooraf een maatschappelijke kosten-batenanalyse te doen waarbij de voordelen (baten) van een maatregel goed worden afgewogen tegen de nadelen (kosten). Ook zaken die niet direct in geld worden uitgedrukt, worden in een MKBA van een prijskaartje voorzien. Dit stelt besluitvormers beter in staat om de voor- en nadelen van een project met elkaar te vergelijken. Op dit moment is het voor de veiligheidsrisico's van elektrische auto's niet goed mogelijk om de kosten en baten van mitigerende maatregelen tegen elkaar af te

wegen. Het recente IFV rapport bijvoorbeeld geeft een reeks van mogelijk oplossingen om risico's te beperken en eventuele incidentbestrijding te vergemakkelijken (IFV, 2020b). Het rapport geeft echter nog geen zicht op de kosten van toepassing en een kosten-baten afweging tussen vermeden risico's en benodigde investeringen.

Kennislacune 5: Toezicht op installatie laadpunten

In de interviews zijn veel en zeer uiteenlopende gedetailleerde/specifieke vragen gesteld over de installatie en het onderhoud van laadpalen. Deze individuele vragen bleken niet goed te beantwoorden aan de hand van literatuuronderzoek. Er is een gebrek aan kennis over de mate waarin er na installatie gecontroleerd wordt op de installatie om een veilige werking en gebruik te waarborgen.

Wij zien de volgende methoden om inzicht te krijgen of de mate waarin er na installatie gecontroleerd wordt, afdoende is:

- In dit onderzoek hebben wij een aantal CPO's gesproken en hebben we een eerste beeld kunnen vormen van het installatieproces van laadpunten. Verdiepende interviews met meer CPO's zouden dit beeld kunnen verscherpen. Ook kan verduidelijkt worden of de aanpak bij alle CPO's hetzelfde is. Na de interviews kan op basis van de verkregen informatie beoordeeld worden of de mate van controle en toezicht na installatie afdoende is. Het is belangrijk om in dit onderzoek onderscheid te maken tussen privaat en publiek laden. Daarbij is het belangrijk om te realiseren dat niet alle private laadpunten een CPO hebben (zoals beschreven in Paragraaf 3.10).
- Er kan een vergelijking gemaakt worden tussen verschillende landen en de gehanteerde methoden om toe te zien op installatie van laadpunten. Een vergelijking met de Nederlandse situatie waarin kosten en baten tegen elkaar worden afgezet, kan hiervoor uitkomst bieden.

6 Conclusie

6.1 Hoofdconclusie

Over het geheel genomen lijken elektrische auto's geen hoger veiligheidsrisico met zich mee te brengen dan conventionele auto's. Veiligheidsrisico's die gelden voor elektrische auto's, gelden in veel gevallen ook voor conventionele auto's. Er is bovendien veel (internationale en nationale) regelgeving in relatie tot veiligheid, waar zowel conventionele als elektrische auto's aan moeten voldoen.

Veiligheidsrisico's die uit het onderzoek naar voren zijn gekomen, zijn: het optreden van thermal runaway (een proces waarbij door een verhoogde temperatuur of interne weerstand in de cellen van accupakketten brand kan ontstaan, waarna toxische gassen vrijkomen) en autobranden in parkeergarages (geldt voor zowel elektrische als conventionele auto's). Het daadwerkelijke risico is het product van de kans dat het optreedt en het effect als het optreedt. De literatuur en praktijktesten wijzen niet op een hoge kans van optreden van de genoemde veiligheidsrisico's. Ook zijn er momenteel geen aanwijzingen dat de effecten substantieel groter zijn. Statistieken en praktijkdata moeten in de toekomst uitwijzen of dit beeld overeenkomt met de praktijk.

Het optreden van een brand (als gevolg van een thermal runaway) brengt niet zozeer een hoger veiligheidsrisico met zich mee ten opzichte van een conventionele auto, maar vraagt wel om een andere werkwijze in het incidentmanagement. Specifiek geldt dit voor brand in een parkeergarage. De oorzaken hiervan zijn: accubranden kunnen lang voortduren, een accu kan opnieuw ontbranden en het is niet altijd direct duidelijk waar het accupakket zich in de auto bevindt. De gevolgen hiervan zijn dat er veel bluswater nodig is om brand te bestrijden, dat het wegslepen moeilijk is en eerst moet worden uitgezocht waar het accupakket zich bevindt. Daarnaast zijn er nog openstaande vragen die met name te maken hebben met veroudering van het accupakket en de betrouwbaarheid van het systeem dat wisselingen in spanning en temperatuur in het accupakket monitort door veroudering.

De vragen over mogelijke veiligheidsrisico's bij elektrische auto's in de media en politiek zijn deels ook geuit in de interviews die wij hebben afgenomen. Alhoewel wij op basis van de beschikbare kennis en geldende regelgeving dus concluderen dat de daadwerkelijke extra risico's van elektrische auto's gering zijn, kan aanvullend experimenteel of praktijkonderzoek mogelijk een deel van de vragen en zorgen die er leven, wegnemen.

6.2 Deelconclusies

In deze paragraaf geven we een overzicht van de conclusies per thema.

Voertuigveiligheid

Op basis van botsttesten blijkt dat elektrische auto's minimaal even veilig zijn als conventionele auto's. Niet zozeer de elektrische aandrijflijn, maar verschillen in de vormgeving van de auto en de werking van het AEBS zijn van invloed op de veiligheidsprestaties van elektrische auto's. Wettelijk is voorgeschreven dat elektrische auto's aan hetzelfde veiligheidsniveau moeten voldoen als conventionele auto's. De vormgeving van de auto is, net als bij conventionele auto's, van invloed op de veiligheid voor fietsers en

voetgangers bij een incident. De systemen die zijn ingebouwd in elektrische auto's (zoals het AEBS) zorgen ervoor dat het letsel in onveilige situaties beperkt kan blijven. Het is niet mogelijk om de veiligheid van een (elektrische) auto ter discussie te stellen op basis van één factor, zoals de massa. De voertuigveiligheid is afhankelijk van de samenhang tussen de verschillende factoren.

Batterijschade

Bij batterijschade bestaat de kans op het optreden van een thermal runaway. Op basis van praktijktesten, lijkt het echter een klein risico omdat de kans dat het optreedt, klein is. Daar staat tegenover dat er nog weinig testen zijn uitgevoerd waardoor dit niet met zekerheid gezegd kan worden. Er zijn diverse mogelijkheden voor mitigerende maatregelen in de literatuur gevonden waarbij de meeste gericht zijn op het voorkomen thermal runaway ofwel het overslaan naar andere cellen en het reduceren van warmte in het accupakket, de module of cellen. Verder is er weinig bekend over de relatie tussen veroudering van het accupakket en de kans van optreden van een thermal runaway.

Afwezigheid van geluid

Op basis van literatuur en interviews is de verwachting dat het AVAS-systeem veiligheidsrisico's als gevolg van de afwezigheid van geluid zal beperken bij snelheden lager dan 20 km/u. Voor snelheden hoger dan 20 km/u is het AVAS-systeem niet noodzakelijk omdat het geluidsverschil tussen een elektrische en een conventionele auto steeds kleiner wordt. Vanaf 50 km/u is dit verschil volledig verdwenen en overheerst het bandengeluid.

Brandveiligheid

Bij brand zijn aspecten zoals de temperatuur, de intensiteit van de brand, de brandlast en warmtestraling vergelijkbaar voor elektrische en conventionele auto's. Het brandverloop is anders bij een elektrische auto (tragere ontwikkeling, wel langdurig). Ook de vrijkomende giftige stoffen komen grotendeels overeen, maar bij elektrische auto's komt meer waterstoffluoride vrij wat mogelijk kan leiden tot huidirritatie.

Op basis van de literatuur en praktijktesten is er geen reden om aan te nemen dat de kans op brand bij elektrische auto's hoger is dan bij conventionele auto's. De praktijkdata die we hebben gevonden onderschrijven dit. Het daadwerkelijke risico is de kans van optreden vermenigvuldigd met het effect als het optreedt. Op basis van de literatuur is het aannemelijk dat de kans van optreden, klein is. Daarmee wordt het risico automatisch ook kleiner. Ook komt het beeld naar voren dat het effect van een brand met een elektrische auto, niet groter is dan bij een conventionele auto. Door het gaan verzamelen van de statistieken kan dit in de toekomst mogelijk verder onderbouwd worden met praktijkdata.

Veiligheid in afgesloten ruimtes

Brandveiligheidsrisico's in parkeergarages zijn in het algemeen groter geworden in de afgelopen decennia. Dit is een ontwikkeling die los staat van de introductie van elektrische auto's. Er zijn geen aanwijzingen uit de praktijk of uit beschikbare studies en publicaties dat elektrische auto's een vergroot risico op brand veroorzaken in parkeergarages. Het beperkt aantal praktijktesten en onderzoek naar recente branden in parkeergarages

geven eenzelfde beeld. Ook hierbij geldt dat het daadwerkelijke risico de kans is van optreden vermenigvuldigd met het effect als het optreedt.

Door het beperkte aantal praktijktesten en het gebrek aan statistische informatie is het niet mogelijk om hier met zekerheid een uitspraak over te doen. Om deze reden is het belangrijk dat er statistieken worden bijgehouden en de oorzaak van de branden wordt onderzocht zodat de discussie onderbouwd met meer feiten gevoerd kan worden. De wet- en regelgeving op het gebied van branden in parkeergarages is mogelijk niet afdoende. In opdracht van het ministerie van BZK werkt de NEN aan het opstellen van een norm over integrale brandveiligheid van parkeergarages waarmee eventuele risico's moeten worden afgedekt.

Incidentmanagement

Het incidentmanagement verloopt bij elektrische auto's anders dan bij conventionele auto's. Dit heeft te maken met het andere brandverloop bij elektrische auto's en het risico op opnieuw ontbranden. Een uitdaging voor incidentbestrijders is om te identificeren dat het om een elektrische auto gaat en daarna om de positie van het accupakket in de auto te lokaliseren. Hiervoor kan gebruik gemaakt worden van verschillende applicaties (bijvoorbeeld waarbij het kenteken gescand wordt waarna de voertuiginformatie gegeven wordt) en middelen zoals een warmtebeeldcamera (om de positie van het accupakket vast te stellen). Daarnaast verlopen technische ontwikkelingen sneller dan de ontwikkeling van het kennisniveau bij de hulpverleners.

Voor het bergen van elektrische auto's zijn er weinig gespecialiseerde bergers in Nederland actief. Er wordt bij branden met elektrische auto's of bij instabiele accupakketten gebruik gemaakt van kostbare methoden (veel bluswater, dompel- en salvagecontainer). Binnen de branche wordt met verzekeraars en brandweer gewerkt aan een protocol om veilig instabiele/brandende elektrische auto's te bergen. Hierin worden o.a. objectieve criteria opgenomen over wanneer onderdompeling in een container noodzakelijk is en wanneer andere methoden ingezet kunnen worden.

Onderhoud en veiligheid

Er zijn opleidingen, trainingen en voorschriften voor wegenwacht, hulpdiensten en garagepersoneel om te werken met en nabij elektrische auto's. Daarentegen is het onduidelijk of de aandachtspunten en normeringen bekend zijn bij hobbyisten. Naast voorschriften zou gedacht kunnen worden aan het informeren en bewust maken van consumenten over de veiligheidsrisico's bij het werken aan elektrische auto's omdat het een hoogspanningsinstallatie betreft.

Te water geraking

Er zijn diverse normeringen voor het onder water staan van accu's. Hierdoor zijn de accu's van elektrische auto's dusdanig ontworpen, dat deze volledig onder water kunnen staan. In normeringen wordt onderscheid gemaakt tussen het diep onder water staan van de accu en het oppervlakkig onder water staan van de accu. Een verschil tussen volledig en gedeeltelijk onder water staan kan zijn dat bij het volledig onder water staan van het voertuig er geen zuurstof bij de accu kan komen en bij gedeeltelijk onder water staan wel. Daarnaast brengen zout en vervuild water meer risico met zich mee ten aanzien van de brandveiligheid, omdat dit beter geleidt. De verwachting is echter dat het geen groot risico zal vormen omdat voorschriften mede zijn ontwikkeld voor een situatie waarbij er een overstroming

optreedt. Bij een overstroming zal de auto en daarmee het accupakket niet altijd volledig onder water staan.

Laadinfrastructuur

De complexiteit van laadinfrastructuur brengt uitdagingen met zich mee om risico's te beperken. De specifieke vragen die leven, hebben we niet allemaal kunnen beantwoorden door middel van literatuuronderzoek en het afnemen van interviews. Ons beeld op basis van het literatuuronderzoek en de interviews is dat Mode 3 en Mode 4 laden veilig zijn door de ingebouwde controlesystemen en dat bestaande regelgeving en technische standaarden voor laadpunten voldoende kwaliteit waarborgen voor een veilige laadinfrastructuur. Alle laadmodi zijn in meer of mindere mate kwetsbaar voor aanrijdingen, hoewel een laadpunt met ingebouwde scheefstandsensoren vanzelf af zal schakelen bij een aanrijding. Daarnaast kunnen defecte connectoren risico's met zich meebrengen of ervoor zorgen dat een laadpunt niet begint met laden (ingebouwd beveiligingssysteem). Daarbij geldt wederom dat het risico het product is van de kans dat het optreedt en het effect als het optreedt. Op basis van interviews (en daarmee op basis van data bij CPO's) lijkt de kans dat risico's optreden in meer of mindere mate aanwezig is, maar dat het effect klein is als het risico optreedt. Daarnaast zien we dat een juiste installatie belangrijk is voor de veiligheid maar dat controle op installatie van laadpunten niet centraal geregeld is. Voor de installatie van private laadpunten is een aardlekschakelaar verplicht en dient de installateur daarnaast te kijken naar onder andere de capaciteit van de netaansluiting.

6.3 Beantwoording onderzoeksvragen

Welke relevante onderzoeksresultaten in binnen- en buitenland zijn bekend op het gebied van veiligheid en elektrisch rijden?

We hebben voor deze studie 280 bronnen gebruikt voor de literatuurstudie en daarnaast interviews afgenomen met 25 partijen. Het vakgebied van elektrisch vervoer is enorm in ontwikkeling en er is daarom een breed scala aan informatie beschikbaar. De resultaten van de inventarisatie van deze informatie hebben we gepresenteerd in Hoofdstuk 3 en 4.

Welke wet- en regelgeving, normen, veiligheidseisen en keurmerken bestaan er op het gebied van elektrisch vervoer en veiligheid? Wordt deze regelgeving nageleefd? Wordt erop gehandhaafd?

De wet- en regelgeving voor elektrische auto's is uitgebreid en overlapt grotendeels met regelgeving voor conventionele auto's. Wet- en regelgeving specifiek voor elektrische auto's heeft met name te maken met de elektrische componenten en bijbehorende hoge spanning die op de auto staat, het accupakket en met laadinfrastructuur. Ons beeld is dat de regelgeving goed wordt nageleefd. Daarnaast worden er door opdrachtgevers van CPO's en door autofabrikanten vaak aanvullende eisen gesteld aan de veiligheid waar aan voldaan moet worden.

De handhaving van de regelgeving rond de installatie van publieke laadpunten is mogelijk voor verbetering vatbaar. Controles op installatie worden momenteel uitgevoerd door de installateur en CPO zelf. Door meer verdiepende interviews met meer CPO's zou scherper beoordeeld kunnen worden of de mate van controle en toezicht na installatie momenteel afdoende is. Er vindt geen controle plaats door een onafhankelijke partij. Voor de

installatie van private laadpunten bestaat er voor zover wij hebben kunnen vaststellen geen regelgeving.

Is de bestaande wet- en regelgeving afdoende?

De meeste regelgeving geldt zowel voor elektrische als conventionele auto's. Voor elektrische auto's is aanvullende regelgeving beschikbaar voor elektromagnetische componenten, accupakketten, en laadinfrastructuur.

De regelgeving is op de meeste punten afdoende. Er is behoefte aan aanvullende regelgeving op de volgende punten:

- Accupakketten: thermische stabiliteit, extreem koude temperatuur, toxische gassen en dynamische testen. Er is met name behoefte aan regelgeving ten aanzien van de thermische stabiliteit vanwege het mogelijke risico op thermal runaway. We hebben geen regelgeving gevonden ten aanzien van mitigerende maatregelen voor thermal runaway. Dit kan een aanvulling zijn op regelgeving voor thermische stabiliteit indien deze ontwikkeld wordt.
- Brandveiligheid: de regelgeving voor brandveiligheid lijkt afdoende te zijn. Het is echter wel zo dat fabrikanten aanvullende eisen stellen aan de veiligheid van elektrische auto's (aanvullend op ECE 100). Er zou onderzocht kunnen worden om wat voor aanvullende eisen het gaat en of brandveiligheid hier ook in is mee genomen.
- Parkeergarages: Ons beeld is dat de regelgeving voor (brand)veiligheid in parkeergarages in relatie tot voertuigen mogelijk niet afdoende is. Echter, dit geldt voor auto's in het algemeen en niet alleen voor elektrische auto's. Het ministerie van BZK heeft opdracht gegeven voor het opstellen van een norm over integrale brandveiligheid van parkeergarages. Bij ons is niet bekend hoe de norm wordt vormgegeven. Het verdient aanbeveling om bij het opstellen van de norm rekening te houden met potentiële risico's die conventionele en elektrische auto's met zich meebrengen.
- Installatie van private laadpunten: de regelgeving voor de installatie van private laadpunten vereist onder andere een aardlekschakelaar. Daarnaast dient de installateur te kijken naar onder andere de capaciteit van de netaansluiting. Er zou onderzocht kunnen worden welke specifieke aanvullende eisen er nodig zijn om veilige installatie van private laadpunten te waarborgen.

Hoe lopen de processen binnen het domein EV-veiligheid? Hoe landt de informatie bijvoorbeeld bij de veiligheidsregio's?

Met processen doelen we in dit onderzoek op de samenwerking tussen verschillende partijen die te maken hebben/krijgen met de veiligheidsrisico's van elektrische auto's. Het gaat daarbij primair om de afstemming tussen partijen bij incidentmanagement.

Het proces rondom incidentmanagement is weergegeven in Figuur 5 in Paragraaf 3.7. In deze figuur is te zien wat er gebeurt bij een incident. De afhandeling van een melding van een incident met een elektrische auto verloopt niet anders dan bij een ander incident. Er is bijvoorbeeld geen aparte meldcode bij het bellen van 112. Voor incidentbestrijders is het wel prettig om te weten dat er een elektrische auto betrokken is zodat daar op geanticipeerd kan worden. In het geval van een incident met een elektrische auto wordt er gebruik gemaakt van andere hulpmiddelen, zoals een applicatie om vast te stellen waar het accupakket zich in de auto bevindt.

Uit het literatuuronderzoek en de interviews komt het beeld naar voren dat niet iedereen die in de professionele sfeer met veiligheid van elektrische auto's te maken krijgt, een goed beeld heeft van alle betrokken partijen en hun verantwoordelijkheden. Het zou helpen wanneer er een organogram zou komen dat de partijen en hun verantwoordelijkheden weergeeft en beschrijft.

Welke witte vlekken zijn er nog op het gebied van elektrisch vervoer en veiligheid?

In het hoofdstuk kennislacunes zijn wij uitgebreid ingegaan op witte vlekken. Aanvullend daarop staat er nog een aantal vragen open, namelijk:

- Welke ontwikkelingen spelen er bij fabrikanten van accupakketten?
- Hoe kan incidentmanagement voor elektrische auto's nog efficiënter worden ingericht?
- Wat is de kans dat thermal runaway daadwerkelijk optreedt? (De eerste resultaten van praktijktesten zijn positief. Meer onderzoek zou dit kunnen onderbouwen.)
- Welke risico's beïnvloeden de veiligheid van het accupakket gedurende de levensloop en aan wie zijn deze risico's toe te schrijven?
- Hoe kan het kennisniveau van gebruikers verhoogd worden en welke kennis is daarbij noodzakelijk per doelgroep?

Daarnaast zijn er nog openstaande kennisvragen. Het gaat hierbij om de volgende vragen:

- Brengt het verhoogde acceleratievermogen van elektrische auto's additionele veiligheidsrisico's met zich mee?
- Welke mitigerende maatregelen zijn effectief voor het voorkomen of beperken van een thermal runaway?
- Wat is het effect van veroudering op de kans op het optreden van thermal runaway?
- Wat is het effect van veroudering op de betrouwbaarheid van het BMS?

In het hoofdstuk kennislacunes geven we enkele suggesties voor het vergroten van het inzicht in deze witte vlekken.

Welke adviezen kunnen worden gegeven ten aanzien van de onderzoeksresultaten en kennislacunes?

Met dit onderzoek hebben we inzicht kunnen geven in de potentiële veiligheidsrisico's van elektrische auto's. Op basis van dit onderzoek concluderen we dat elektrische auto's geen hoger veiligheidsrisico met zich mee brengen dan conventionele auto's. We hebben daarnaast in Hoofdstuk 5 een aantal kennislacunes geïdentificeerd waar we dieper op zijn in gegaan en aanbevelingen voor doen om deze weg te nemen.

7 Bibliografie

- AD, 2019. 'Elke nieuwe auto moet straks automatisch remmen om aanrijding te voorkomen'. [Online]
Available at: <https://www.ad.nl/auto/elke-nieuwe-auto-moet-straks-automatisch-remmen-om-aanrijding-te-voorkomen-a7a3792c/?referrer=https%3A%2F%2Fwww.google.nl%2Furl%3Fsa%3Dt%26rct%3Dj%26q%3D%26esrc%3Ds%26source%3Dweb%26cd%3D%26ved%3D2ahUKEwitpKKh8fzrAhWMCOWKHRpXCwoQFjA>
[Geopend 22 09 2020].
- AD, 2020. *Brandgevaar elektrische auto's in parkeergarages: 'Het is wachten op de eerste ramp'*. [Online]
Available at: <https://www.ad.nl/auto/brandgevaar-elektrische-auto-s-in-parkeergarages-het-is-wachten-op-de-eerste-ramp-a152fd9f/>
[Geopend september 2020].
- ADAC, 2020. *Rescue sheets*. [Online]
Available at: http://rescuesheet.info/seite_3.html
[Geopend 31 08 2020].
- Aftersales Magazine, 2019. *Vreugdenhil bezorgd over berging EV's*. [Online]
Available at: <https://aftersalesmagazine.nl/vreugdenhil-bezorgd-over-berging-evs>
[Geopend 27 08 2020].
- Allego, 2019. *Ook zo gek op afkortingen? Weet je al wat (E)MSP, en CPO betekent?*. [Online]
Available at: <https://www.allego.eu/nl-nl/blog/2019/august/pro-charging-msp#>
[Geopend 25 09 2020].
- Allen, Allen, Allen & Allen, 2020. *Are electric cars safer in collisions?*. [Online]
Available at: <https://www.allenandallen.com/are-electric-cars-safer-in-collisions/>
[Geopend juni 2020].
- Altinsoy, E., 2013. *The detectability of conventional, hybrid and electric vehicle sounds by sighted, visually impaired and blind pedestrians*. Innsbruck, Internoise.
- AMT, 2019. *Wat adviseren leveranciers voor het werken aan hybride en EV's?*. [Online]
Available at: https://www.amt.nl/werkplaats-onderhoud/artikel/2019/04/wat-adviseren-leveranciers-voor-het-werken-aan-hybride-en-evs-10162510?_ga=2.208371218.103659061.1589872977-757854660.1589310710
[Geopend 25 08 2020].
- AMweb, 2020. *Brandgevaar elektrische auto's maakt berging kostbaar: Verbond werkt aan protocol*. [Online]
Available at: https://www.amweb.nl/schade/nieuws/2020/05/brandgevaar-elektrische-autos-maakt-berging-kostbaar-verbond-werkt-aan-protocol-101123295?_ga=2.195598956.1535605562.1598531602-1589378647.1591862553
[Geopend 27 08 2020].
- AMWeb, 2020. *Elektrische auto in 2030 goed voor 75 miljoen euro extra letselschade*. [Online]
Available at: <https://www.amweb.nl/schade/nieuws/2020/06/elektrische-auto-in-2030-goed-voor-75-miljoen-euro-extra-aan-letselschade-101123585>
[Geopend 01 09 2020].
- ANWB, 2019. *Hulpsystemen straks verplicht in de auto*. [Online]
Available at: <https://www.anwb.nl/auto/nieuws/2019/maart/hulpsystemen-straks-verplicht-in-nieuwe-autos>
[Geopend 22 09 2020].
- ANWB, sd *Zijn elektrische auto's brandgevaarlijker?*. [Online]
Available at: <https://www.anwb.nl/auto/elektrisch-rijden/zijn-elektrische-autos->



brandgevaarlijker

[Geopend 23 09 2020].

Arbocatalogus, 2015. *Spanningsvrij maken EV of HEV in 6 stappen*. [Online]

Available at: <https://www.arbocatalogusmobiel.nl/personenautobedrijf/elektrische-voertuigen-1/+++solution++49e200ff7a3c3a8094734040f2b30014>

[Geopend 25 08 2020].

Automotive Insiders ; Trend-Rx, 2020. *EV-RAPPORT 2020*, sl: Automotive Insiders ; Trend-Rx.

Battery University, 2019a. *BU-304a: Safety Concerns with Li-ion*. [Online]

Available at: https://batteryuniversity.com/learn/article/safety_concerns_with_li_ion

[Geopend 26 08 2020].

Battery University, 2019b. *BU-908: Battery Management System (BMS)*. [Online]

Available at: https://batteryuniversity.com/learn/article/how_to_monitor_a_battery

[Geopend 21 09 2020].

Battery University, 2020a. *BU-1003a: Battery Aging in an Electric Vehicle (EV)*. [Online]

Available at:

https://batteryuniversity.com/learn/article/bu_1003a_battery_aging_in_an_electric_vehicle_ev

[Geopend 21 09 2020].

Battery University, 2020b. *BU-304c: Battery Safety in Public*. [Online]

Available at:

https://batteryuniversity.com/learn/article/bu_304c_battery_safety_in_public

[Geopend 21 09 2020].

BBC, 2019. *Electric cars: New vehicles to emit noise to aid safety*. [Online]

Available at: <https://www.bbc.com/news/business-48815968>

[Geopend juni 2020].

Berge, T., Haukland, F., Mioduszeewski, P. & Wozniak, R., 2015. *Tyre/road noise of passenger car tyres, including tyres for electric vehicles - road measurements*. Maastricht, EuroNoise.

Boplan, 2018. *Oplaadpunten beschermen tegen aanrijdingen*. [Online]

Available at: <https://www.boplan.com/nl/oplaadpunten-beschermen-aanrijdingen>

[Geopend 02 09 2020].

Brandweer.nl, 2018a. *Brandweer Haaglanden onthult haar nieuwe tankautospuit*. [Online]

Available at: <https://www.brandweer.nl/haaglanden/nieuws-haaglanden/brandweer-haaglanden-onthult-nieuwe-tankautospuit>

[Geopend 23 10 2020].

Brandweer.nl, 2018b. *Geladen sfeertje*. [Online]

Available at: <https://www.brandweer.nl/brandweernederland/nieuws/cases/geladen-sfeertje-casus-a35>

[Geopend mei 2020].

Brandweeracademie, 2020a. *Zakkaart Handelingsperspectief bij e-voertuigen*. [Online]

Available at: <https://www.ifv.nl/kennisplein/Documents/20200629-BA-Zakkaart-Handelingsperspectief-bij-e-voertuigen.pdf>

[Geopend 2020].

Brandweeracademie, 2020b. *Aandachtskaart Bestrijding incident e-voertuig (hybride of elektrisch voertuig)*. [Online]

Available at: <https://www.ifv.nl/kennisplein/Documents/20200506-BA-Aandachtskaart-bestrijding-incident-e-voertuig.pdf>

[Geopend 2020].

Brandweermagazijn.nl, 2020. *Welke soorten brandweerauto's zijn er?*. [Online]

Available at: <https://www.hetbrandweermagazijn.nl/nl/service/brandweer-voertuigen/>

[Geopend 23 09 2020].

Campello-Vincente, H., Peral-Orts, R., Campillo-Davo, N. & Velasco-Sanchez, E., 2017. The effect of electric vehicles on urban noise maps. *Applied Acoustics*, Issue 116, pp. 59-64.

Campillo-Davo, N. et al., 2016. *Latest results on the features posed by hybrid and electric vehicles: A special attention about their effect on the noise maps*. Hamburg, Internoise.

Clean Technica, 2018. *Do electric vehicles have better overall safety? Part 2*. [Online] Available at: <https://cleantechnica.com/2018/04/01/do-electric-vehicles-have-better-overall-safety-part-2/> [Geopend juni 2020].

CTIF, 2020. *EUROESCUE : Rescue sheets app*. sl:CTIF.

Czuka, M., Pallas, M. A., Morgan, P. & Conter, A., 2016. Impact of potential and dedicated tyres of electric vehicles on the tyre-road noise and connection to the EU noise label. *Transportation Research Procedia*, Volume 14, pp. 2678-2687.

De Gelderlander, 2019. *Wijchens bedrijf maakt furore met nieuw blusschuim voor de elektrisch wordende wereld*. [Online] Available at: <https://www.gelderlander.nl/wijchen/wijchens-bedrijf-maakt-furore-met-nieuw-blusschuim-voor-de-elektrisch-wordende-wereld-a6768112/> [Geopend 23 09 2020].

De Nieuwe Stad, 2020. *Welkom op Laadplein Oliemolenhof Amersfoort, veelgestelde vragen*. [Online] Available at: <https://www.denieuwestad.nl/laadplein/> [Geopend 28 08 2020].

De Stentor, 2020. *Elektrische auto van gemeente vliegt in brand in parkeergarage in Epe: garage nog dicht*. sl:sn

DEKRA, 2019. *High Safety Level of Series-Produced Electric Cars Confirmed in DEKRA Crash Tests*. [Online] Available at: <https://www.dekra.com/en/high-safety-level-of-series-produced-electric-cars-confirmed-in-dekra-crash-tests/> [Geopend 22 09 2020].

Distributed Energy, 2020. *Preventing Thermal Runaway In Batteries Before It Begins*. [Online] Available at: <https://www.distributedenergy.com/microgrids/article/21135425/preventing-thermal-runaway-in-batteries-before-it-begins> [Geopend 21 09 2020].

Dudenhöffer, F., Dudenhöffer, K. & Hause, L., 2011. Elektroauto's genauso sich wie Auto's mit modernen Verbrennungsmotoren. *GAK*, 09(2011).

Du, J. et al., 2019. Impact of high-power charging on the durability and safety of lithium batteries used in long-range battery electric vehicles. *Applied Energy*, 255(December).

DvN, 2020. *Bergers in Drenthe en Groningen vrezen brand in elektrische auto's (en dompelen de voertuigen compleet onder in een blusbak)*. [Online] Available at: https://www.dvhn.nl/groningen/Bergers-in-Drenthe-en-Groningen-vrezen-brand-in-elektrische-autos-en-dompelen-de-voertuigen-compleet-onder-in-een-blusbak-25252755.html?harvest_referrer=https%3A%2F%2Fwww.google.nl%2F [Geopend 28 09 2020].

EC, 2014. *Final Report Summary : OSTLER (Optimised storage integration for the electric car)*. [Online] Available at: <https://cordis.europa.eu/project/id/265629/reporting> [Geopend 26 08 2020].

EC, 2019a. *Electric and hybrid cars: New rules on noise emitting to protect vulnerable road users*. [Online] Available at: https://ec.europa.eu/growth/content/electric-and-hybrid-cars-new-rules-noise-emitting-protect-vulnerable-road-users_en [Geopend mei 2020].

EC, 2019b. *The European Green Deal*, Brussels: European Commission (EC).

EC, 2020a. *Daytime running light*. [Online] Available at:

https://ec.europa.eu/transport/road_safety/topics/vehicles/daytime_running_lights_en
[Geopend 27 10 2020].

EC, 2020b. *Speed and the injury risk for different speed levels*. [Online]
Available at:
https://ec.europa.eu/transport/road_safety/specialist/knowledge/speed/speed_is_a_central_issue_in_road_safety/speed_and_the_injury_risk_for_different_speed_levels_en
[Geopend 22 09 2020].

Ecofys ; Navigant Research, 2018. *Research for TRAN Committee : Charging infrastructure for electric road vehicles*, Brussels: Europees Parlement, TRAN committee.

Economic Times of India, 2019. *How safe are electric vehicles?*. [Online]
Available at: <https://auto.economictimes.indiatimes.com/news/passenger-vehicle/cars/how-safe-are-electric-vehicles/70589648>
[Geopend 27 08 2020].

Ejsmont, J., Swieczko-Zurek, B. & Taryma, S., 2014. *Low noise tires for hybrid and electric vehicles*. Beijing, The 21st International Congress on Sound and Vibration.

ElaadNL, 2019. *EV-301-2019 Security requirements for procuring EV charging stations*, sl: ENCS.

ElaadNL, 2020. *Cybersecurity laadinfrastructuur van cruciaal belang bij toename elektrische auto's*. [Online]
Available at: <https://www.elaad.nl/news/cybersecurity-laadinfrastructuur-van-cruciaal-belang-bij-toename-elektrische-autos/>
[Geopend 25 09 2020].

electrek, 2018. *Regenerative braking: how it works and is it worth it in small EVs?*. [Online]
Available at: <https://electrek.co/2018/04/24/regenerative-braking-how-it-works/>
[Geopend 22 09 2020].

electrive.com, 2019. *AVAS: Electric vehicles must now make artificial sounds*. [Online]
Available at: <https://www.electrive.com/2019/07/01/avas-sounds-now-required-for-electric-road-vehicles/>
[Geopend 02 09 2020].

EU, 2018. *Wijziging van Reglement nr. 100 van de Economische Commissie voor Europa van de Verenigde Naties (VN/ECE) – Uniforme bepalingen voor de goedkeuring van voertuigen wat de specifieke voorschriften voor de elektrische aandrijflijn betreft [2015/505]*. [Online]
Available at: <https://op.europa.eu/nl/publication-detail/-/publication/fd8e6b47-d767-11e4-9de8-01aa75ed71a1/language-nl>
[Geopend 26 08 2020].

EU, 2019. Verordening (EU) 2019/2144 van het Europees Parlement en de Raad van 27 november 2019 betreffende de voorschriften voor de typegoedkeuring van motorvoertuigen en aanhangwagens daarvan en van systemen, onderdelen en technische eenheden , ...etc. *Publicatieblad van de Europese Unie*, L325(16.12.2019), pp. 1-40.

EUR-Lex, 2014. *Document 31972L0245 : Richtlijn 72/245/EEG van de Raad van 20 juni 1972 inzake de onderlinge aanpassing van de wetgevingen der Lid- Staten betreffende de onderdrukking van radiostoringen veroorzaakt door motoren met elektrische ... (no longer in force)*. [Online]
Available at: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/NL/ALL/?uri=CELEX%3A31972L0245>
[Geopend 27 08 2020].

EUR-Lex, 2020. *Document 32018R0858*. [Online]
Available at: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/NL/TXT/?uri=CELEX%3A32018R0858>
[Geopend 27 10 2020].

Euro NCAP, 2020b. *Euro NCAP's Best of the Best of 2019*. [Online]
Available at: <https://www.euroncap.com/nl/pers/persberichten/euro-ncap-s-best-of-the-best-of-2019/>
[Geopend 22 09 2020].



Euro NCAP, 2020c. *Hybride en elektrische voertuigen*. [Online]
 Available at: <https://www.euroncap.com/nl/resultaten-rewards/hybride-en-elektrische-voertuigen/#?selectedMake=0&selectedMakeName=Kies een merk&selectedModel=0&selectedStar=&includeFullSafetyPackage=true&includeStandardSafetyPackage=true&selectedModelName=Model&selected>
 [Geopend 22 09 2020].

Euro NCAP, 2020d. *VW up!*. [Online]
 Available at: <https://www.euroncap.com/nl/results/vw/up!/39809>
 [Accessed 22 09 2020].

EuroNCAP, 2020a. *Euro NCAP Improves Tertiary Safety by Introducing a Mobile App for First Responders in Europe*. [Online]
 Available at: <https://www.euroncap.com/nl/pers/persberichten/euro-ncap-improves-tertiary-safety-by-introducing-a-mobile-app-for-first-responders-in-europe/>
 [Geopend 31 08 2020].

European Road Safety Observatory, 2018. *Vehicle Safety 2018*, Brussels: European Road Safety Observatory.

EV Reporter, 2020. *Why is a Battery Management System needed in Electric Vehicles?*. [Online]
 Available at: <https://evreporter.com/battery-management-system-for-electric-vehicles/>
 [Geopend 14 05 2020].

ev-database, 2020. *Aandrijving en prestaties van een elektrische auto*. [Online]
 Available at: <https://ev-database.nl/informatie/aandrijving-prestaties-elektrische-auto>
 [Geopend 22 09 2020].

FD, 2020. *Elektrisch rijden leidt tot meer zwaargewonden*. [Online]
 Available at: <https://fd.nl/futures/1347927/onderzoek-meer-zwaargewonden-door-elektrisch-rijden>
 [Geopend 27 08 2020].

Feng, X., Ren, D., He, X. & Ouyang, M., 2020. Mitigating Thermal Runaway of Lithium-Ion Batteries. *Joule*, Issue 4, pp. 743-770.

Fildes, B., Lee, S. & Lane, J., 1993. *Vehicle mass, size and safety*. Clayton: Monash University Accident Research Centre.

FirePro, 2020. <https://firepro.nl/firepro/>. [Online]
 Available at: <https://firepro.nl/firepro/>
 [Geopend augustus 2020].

Gaton, B., 2018. *Is a battery electric vehicle safe in a flood?*. [Online]
 Available at: <https://thedriven.io/2018/12/04/is-a-battery-electric-vehicle-safe-in-a-flood/>
 [Geopend 26 08 2020].

Guide Dogs, 2014. *Safe and Sound*. [Online]
 Available at: <https://www.guidedogs.org.uk/how-you-can-help/campaigning/our-current-campaigns/safe-and-sound#are-electric-cars-dangerous-for-blind-people>
 [Geopend juni 2020].

Hanauer, D., 2018. Mode 2 Charging—Testing and Certification for International Market Access. *World Electric Vehicle Journal*, 9(26).

HDI Risk Consulting GmbH, 2016. *Risk Engineering Guideline : Battery Charging*. Hannover: HDI Risk Consulting GmbH.

Hoekstra, A., 2019. The Underestimated Potential of Battery Electric Vehicles to Reduce Emissions. *Joule*, Issue 3, pp. 104-1414.

Hoekstra, A., 2020. *Twitterbericht: New 'report' (actually nonsensical speculation) claims EVs will cause more casualties. Since an article about it was published in the Dutch Financial Times (.)* [Online]
 Available at: <https://twitter.com/AukeHoekstra/status/1272805209924939776>
 [Geopend 29 09 2020].



Hoekstra, A. & Steinbuch, M., 2020. *Comparing the lifetime green house gas emissions of electric cars with the emissions of cars using gasoline or diesel*, Eindhoven: TU/e.

IEC, 2018. *IEC 60364-7-722:2018*. [Online]
Available at: <https://webstore.iec.ch/publication/29958>
[Geopend 27 10 2020].

IEC, 2019. *IEC 63119-1:2019*. [Online]
Available at: <https://webstore.iec.ch/publication/59496>
[Geopend 28 08 2020].

IEC, 2020a. *TC 21 Secondary cells and batteries*. [Online]
Available at:
https://www.iec.ch/dyn/www/f?p=103:7:0:::FSP_ORG_ID,FSP_LANG_ID:1290,25
[Geopend 01 09 2020].

IEC, 2020b. *TC 35 Primary cells and batteries*. [Online]
Available at:
https://www.iec.ch/dyn/www/f?p=103:7:0:::FSP_ORG_ID,FSP_LANG_ID:1237,25
[Geopend 01 09 2020].

IEC, 2020c. *IEC TC57 "Power system management and associated information exchange" - Current and future smart grid standardization activities*. sl:IEC.

IFV ; Brandweeracademie, 2020d. *De brand in de Singelgarage te Alkmaar*, sl: Instituut Fysieke Veiligheid (IFV).

IFV, 2020a. *Brandveiligheid van parkeergarages met elektrisch aangedreven voertuigen*, Arnhem: Instituut Fysieke Veiligheid (IFV).

IFV, 2020b. *Richtlijn voor brandweeroptreden bij elektrische voertuigen*. [Online]
Available at: <https://www.ifv.nl/kennisplein/veilig-optreden-bij-moderne-voertuigen/publicaties/richtlijn-voor-brandweeroptreden-bij-elektrische-voertuigen>
[Geopend 23 09 2020].

IFV, 2020c. *FAQ Brandveiligheid elektrische voertuigen en laadpalen in parkeergarages*. [Online]
Available at: <https://www.ifv.nl/nieuws/Paginas/FAQ-Brandveiligheid-elektrische-voertuigen-en-laadpalen-in-parkeergarages.aspx>
[Geopend 02 09 2020].

INCIBE, 2020. *Safety recommendations for electric vehicle charging stations*. [Online]
Available at: <https://www.incibe-cert.es/en/blog/safety-recommendations-electric-vehicle-charging-stations>
[Geopend 28 08 2020].

Innovam, 2020. *Alles over de vernieuwing van NEN 9140 (2019)*. [Online]
Available at: <https://www.innovam.nl/evoertuigen/alles-over-nieuwe-nen-9140>
[Geopend 26 08 2020].

Innovam, 2020. *Veilig werken aan e-voertuigen basis cursus (VOP NEN-9140) - NEN 9140 cursus: ken de risico's en leer veilig sleutelen aan het HV-systeem*. [Online]
Available at: <https://www.innovam.nl/evoertuigen/veilig-werken-aan-e-voertuigen-vop>
[Geopend 25 08 2020].

inNOVE, 2020. *Betalingsverkeer: dynamischer dan ooit*. inNOVE, Issue September 2020, pp. 22-23.

ISO, 2015. *ISO 6469-4:2015*. [Online]
Available at: <https://www.iso.org/standard/60584.html>
[Geopend 27 10 2020].

Jochem, P., Doll, C. & Fichtner, W., 2016. *External costs of electric vehicles. Transportation Research Part D: Transport and Environment*, Issue 42, pp. 60-76.

Kessler, A., 2020. *Doorbraak zorgt voor betere lithium-batterijen*. [Online]
Available at: <https://www.kijkmagazine.nl/nieuws/zorgt-deze-ontwikkeling-voor-betere-lithium-batterijen/>
[Geopend 27 08 2020].



Kolp, E. I. & Jossen, A., 2018. *Thermal Modelling of Thermal Runaway Propagation in Lithium-Ion Battery Systems*. München: Technische Universität München.

Laadkabelwinkel.nl, 2020. *Hoe blus je brand in een elektrische auto?*. [Online]
Available at: <https://www.laadkabelwinkel.nl/klantenservice/blog-faq/brand-elektrische-auto/>
[Geopend 23 09 2020].

Lam, C. et al., 2016. *Full-Scale Fire Testing of Electric and Internal Combustion Engine Vehicles*. Baltimore, Fourth International Conference on Fire in Vehicles.

Lanova laadpalen, 2020. *Inductie laden van uw elektrische auto*. [Online]
Available at: <https://www.lanovaalaadpalen.nl/inductie-laden-van-uw-elektrische-auto/?cn-reloaded=1>
[Geopend 25 09 2020].

Larsson, F., Andersson, P. & Mellander, B.-E., 2016. Lithium-Ion Battery Aspects on Fires in Electrified Vehicles on the Basis of Experimental Abuse Tests. *Batteries*, 2(9).

Lecocq, A., Bertana, M., Truchot, B. & Marlair, G., 2012. *Comparison of the fire consequences of an electric vehicle and an internal combustion engine vehicle*. Chicago, International Conference on Fires In Vehicles - FIVE.

Lee, C., Said, A. O. & Stoliarov, S. I., 2020. Passive Mitigation of Thermal Runaway Propagation in Dense 18650 Lithium Ion Cell Assemblies. *Journal of The Electrochemical Society*, 167(9).

LV, 2019. *How safe are electric cars?*. [Online]
Available at: <https://www.lv.com/car-insurance/how-safe-are-electric-cars>
[Geopend juni 2020].

Manners, 2020. *Reageer jij sneller dan Tesla's automatische noodrem? Test het hier*. [Online]
Available at: <https://www.manners.nl/tesla-auto-pilot-reactiesnelheid/>
[Geopend 22 09 2020].

Mazumder, H., Hassan, M. E., Ektesabi, M. & Kapoor, A., 2012. Performance analysis of EV for different mass distributions to ensure safe handling. *Energy Procedia*, 2012(14), pp. 949-954.

Meliá, C. S., Knarud, J. & Mikalsen, R. F., 2019. *Study and Analysis of Fire Safety in Energy Stations in comparison with Traditional Petrol stations*. Copenhagen: Conference: Nordic Fire and Safety Days.

Mellert, L. et al., 2018. *Electric mobility and tunnel safety hazards of electric vehicle fires*. Graz, 9th International Conference 'Tunnel Safety and Ventilation'.

Mellert, L. et al., 2020. *Risikominimierung von Elektrofahrzeugbränden in unterirdischen Verkehrsinfrastrukturen*, Bern: Bundesamt für Strassen.

Milicic, J., Hederic, Z., Spoljaric, Z. & Krstic, D., 2016. Safety rules for use of Electric Vehicle charging Infrastructure. *Safety Engineering*, 6(2), pp. 59-64.

Ministerie Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties, 2020. *Beantwoording vragen van de leden Beckerman en Laçin (beiden SP) d.d. 24 maart over brandgevaar in parkeergarages en onder woningen..* Tweede kamer der Staten Generaal: Den Haag.

Ministerie I&W, 2020. *Brief van de Minister van Infrastructuur en Waterstaat aan de Tweede Kamer d.d. 25 mei 2020 m.b.t. Maatregelen verkeersveiligheid*, Kamerstuk 29 398, nr. 827, Den Haag: Tweede Kamer der Staten-Generaal.

Ministerie van Justitie en Veiligheid, 2019. *Antwoorden Kamervragen d.d. 2 december 2019 over het brandveiligheidsrisico elektrische auto's*, Den Haag: Tweede Kamer der Staten Generaal.

Moditech, 2020. *Wat is het crash recovery system?*. [Online]
Available at: <https://www.moditech.com/nl/crash-recovery-system/>
[Geopend 28 09 2020].

Moller Iversen, L., Marbjerg, G. & Bendtsen, H., 2013. *Noise from electric vehicles - 'State-of-the-art' literature survey*. Innsbruck, Internoise.

NEMA enclosures, 2013. *IP Ratings Explained*. [Online]
 Available at: [https://www.nemaenclosures.com/blog/ingress-protection-ratings/#:-:text=An%20IP%20\(Ingress%20Protection\)%20rating,a%20worldwide%20organization%20for%20standardization.](https://www.nemaenclosures.com/blog/ingress-protection-ratings/#:-:text=An%20IP%20(Ingress%20Protection)%20rating,a%20worldwide%20organization%20for%20standardization.)
 [Geopend 26 08 2020].

NEN, 2014. *NEN-EN-IEC 62196-3:2014 en*. [Online]
 Available at: <https://www.nen.nl/NEN-Shop/Norm/NENENIEC-6219632014-en.htm>
 [Geopend 28 08 2020].

NEN, 2015a. *NEN 3140+A1:2015 en*. [Online]
 Available at: <https://www.nen.nl/nen-3140-a1-2015-en-204822>
 [Geopend 27 10 2020].

NEN, 2015b. *NEN-ISO 6469-4:2015 en*. [Online]
 Available at: <https://www.nen.nl/NEN-Shop/Norm/NENISO-646942015-en.htm>
 [Geopend 26 08 2020].

NEN, 2017a. *IEC 61851-1:2017 en;fr*. [Online]
 Available at: <https://www.nen.nl/NEN-Shop/Norm/IEC-6185112017-enfr.htm>
 [Geopend 28 08 2020].

NEN, 2017b. *NEN-EN-IEC 62196-2:2017 en*. [Online]
 Available at: <https://www.nen.nl/NEN-Shop/Norm/NENENIEC-6219622017-en.htm>
 [Geopend 28 08 2020].

NEN, 2018a. *Commissieplan 2018 - Normcommissie 361021 - NEC 21-35 'Cellen en batterijen'*, Delft: NEN Elektro & ICT.

NEN, 2018b. *Commissieplan 2018 - Normcommissie 364057 - NEC 57 'Bediening op afstand van energievoorzieningsvoorzieningsystemen'*, Delft: NEN Elektro & ICT.

NEN, 2018c. *Commissieplan 2018 - Normcommissie 364069 - NEC 69 'Elektrische voertuigen'*, Delft: NEN Elektro & ICT.

NEN, 2018d. *NORM NEN-ISO 12405-4:2018 en*. [Online]
 Available at: <https://www.nen.nl/NEN-Shop/Norm/NENISO-1240542018-en.htm>
 [Geopend 26 08 2020].

NEN, 2019a. *IEC 63119-1:2019 en*. [Online]
 Available at: <https://www.nen.nl/NEN-Shop/Norm/IEC-6311912019-en.htm>
 [Geopend 28 08 2020].

NEN, 2019b. *NEN-EN-ISO 15118-8:2019 en*. [Online]
 Available at: <https://www.nen.nl/NEN-Shop/Norm/NENENISO-1511882019-en.htm>
 [Geopend 28 08 2020].

NEN, 2019c. *NEN-EN-IEC 60529:1991/A2:2013/C1:2019 en;fr*. [Online]
 Available at: <https://www.nen.nl/NEN-Shop/Norm/NENENIEC-605291991A22013C12019-enfr.htm>
 [Geopend 26 08 2020].

NEN, 2019d. *NEN-EN-IEC 61851-1:2019 en*. [Online]
 Available at: <https://www.nen.nl/NEN-Shop/Norm/NENENIEC-6185112019-en.htm>
 [Geopend 28 08 2020].

NEN, 2019e. *NEN-EN-IEC 62660-2:2019 en*. [Online]
 Available at: <https://www.nen.nl/nen-en-iec-62660-2-2019-en-256113>
 [Geopend 26 08 2020].

NEN, 2020a. *IEC/TS 62196-3-1:2020 en*. [Online]
 Available at: <https://www.nen.nl/NEN-Shop/Norm/IECTS-62196312020-en.htm>
 [Geopend 28 08 2020].

NEN, 2020b. *ISO 17409:2020 en*. [Online]
 Available at: <https://www.nen.nl/iso-17409-2020-en-268727>
 [Geopend 27 10 2020].

NEN, 2020c. *NEN-IEC 62893-4-1:2020 en*. [Online]
 Available at: <https://www.nen.nl/NEN-Shop/Norm/NENIEC-62893412020-en.htm>
 [Geopend 28 08 2020].

NFPA, 2017. *BULLETIN » Submerged Hybrid / Electric Vehicles*. sl:NFPA.

NH Nieuws, 2020a. *Beelden tonen ravage na urenlange brand in Singelgarage Alkmaar*. [Online]
 Available at: <https://www.nhnieuws.nl/nieuws/269554/beelden-tonen-ravage-na-urenlange-brand-in-singelgarage-alkmaar>
 [Geopend september 2020].

NH Nieuws, 2020b. *Update brand Singelgarage: grote schade aan gebouw : voorarrest verdachte verlengd*. [Online]
 Available at: <https://www.nhnieuws.nl/nieuws/269673/update-brand-singelgarage-grote-schade-aan-gebouw-voorarrest-verdachte-verlengd>
 [Geopend 2020].

NIST, 2018. *Fire Dynamics*. [Online]
 Available at: [https://www.nist.gov/el/fire-research-division-73300/firegov-fire-service/fire-dynamics#:~:text=Heat%20Release%20Rate%20\(HRR\)%20is,to%20one%20Joule%20per%20second](https://www.nist.gov/el/fire-research-division-73300/firegov-fire-service/fire-dynamics#:~:text=Heat%20Release%20Rate%20(HRR)%20is,to%20one%20Joule%20per%20second)
 [Geopend 27 08 2020].

Nitsche, P., Aleska, M. & Winkelbauer, M., 2014. *The impacts of electric cars on road safety: Insights from a real-world driving study : paper at TRA 2014 Paris*. Paris, TRA.

nu.nl, 2020. *Meer zwaargewonden door elektrische auto's is geen uitgemaakte zaak*. [Online]
 Available at: <https://www.nu.nl/auto/6069947/meer-zwaargewonden-door-elektrische-autos-is-geen-uitgemaakte-zaak.html?redirect=1>
 [Geopend 22 09 2020].

O'Malley, S. et al., 2015. *Crashworthiness testing of electric and hybrid vehicles*. Washington DC, National Highway Traffic Safety Administration.

Office of Energy Efficiency & Renewable Energy, 2020. *Electric car safety, maintenance and battery life*. [Online]
 Available at: <https://www.energy.gov/eere/electricvehicles/electric-car-safety-maintenance-and-battery-life>
 [Geopend juni 2020].

OOMT, 2018. *Veilig werken aan elektrische en hybride voertuigen*. [Online]
 Available at: <https://www.oomt.nl/wp-content/uploads/2018/12/Tipkaart-EV-11-2018.pdf>
 [Geopend 18 09 2020].

Opladpaal-kopen.nl, 2020. *Aanrijdbeveiliging RVS buis*. [Online]
 Available at: <https://www.opladpaal-kopen.nl/p/3261/opladpalen-en-toebehoren/montagematerialen/aanrijdbeveiliging-rvs-buis/>
 [Geopend 02 09 2020].

Pallas, M. A. et al., 2015. *Noise emission of electric and hybrid electric vehicles: Deliverable FOREVER*, Marne-la-Vallée: IFSTTAR.

Parizet, E., Ellermeier, W. & Robart, R., 2014. Auditory warnings for electric vehicles: Detectability in normal-vision and visually-impaired listeners. *Applied Acoustics*, Volume 86, pp. 50-58.

Polestar, 2020. *De eerste crashtest van de Polestar 2*. [Online]
 Available at: <https://www.polestar.com/nl/news/polestar-2-s-first-crash-test/>
 [Geopend 22 09 2020].

Poveda-Martínez, P. et al., 2017. Study of the effectiveness of electric vehicle warning sounds depending on the urban environment. *Applied Acoustics*, Issue 116, pp. 317-328.

Publicatie gevaarlijke stoffen, 2020. *Lithium-ion accu's: opslag en buurtbatterijen*. [Online]
Available at: <https://publicatiereeksgevaarlijkestoffen.nl/publicaties/PGS37.html>
[Geopend 31 08 2020].

RDW, 2020. *Safety requirements for electric vehicles*. [Online]
Available at: <https://www.rdw.nl/zakelijk/branches/fabrikanten-en-importeurs/english-information-about-typeapprovals/type-approval-for-vehicles/safety-requirements>
[Geopend 27 08 2020].

RDW, 2020. *Voertuigcategorieën*. [Online]
Available at: <https://www.rdw.nl/zakelijk/branches/fabrikanten-en-importeurs/typegoedkeuring-aanvragen/typegoedkeuren-voertuigen/voertuigcategorieen>
[Geopend 27 10 2020].

Ren, D. et al., 2019. A comparative investigation of aging effects on thermal runaway behavior of lithium-ion batteries. *eTransportation*, Issue 2.

Rijksoverheid, 2011. Besluit van 29 augustus 2011 houdende vaststelling van voorschriften met betrekking tot het bouwen, gebruiken en slopen van bouwwerken (Bouwbesluit 2012). *Staatsblad van het Koninkrijk der Nederlanden*, Issue 416.

Rijksoverheid, 2018. *Wat is het systeem eCall in mijn auto?*. [Online]
Available at: <https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/alarmnummer-112/vraag-en-antwoord/wat-is-het-systeem-ecall-in-mijn-auto>
[Geopend 23 10 2020].

Rijksoverheid, 2020. *Bouwbesluit 2012 versie 10 maart 2020*, sl: sn

Rijkswaterstaat, 2019. *Richtlijn eerste veiligheidsmaatregelen bij verkeersincidenten*, sl: Rijkswaterstaat.

Rijkswaterstaat, 2020. *Incidentmanagement: vlotte doorstroming van verkeer na pech of ongevallen*. [Online]
Available at: <https://www.rijkswaterstaat.nl/wegen/wegbeheer/incidentmanagement/index.aspx>
[Geopend 31 08 2020].

RISE, 2019. *Fire Safety of Lithium-Ion Batteries in Road Vehicles*, Boras: RISE.

RISE, 2019. *Lading av elbil i parkeringsgarasje*, sl: sn

RISE, 2020. *Evaluering av brann i parkeringshus på Stavanger lufthavn Sola 7. januar 2020*. sl:sn

RIVM, 2019. *Detectiemiddelen bij brand met li-ion batterije*, Bilthoven: RIVM.

Robert Thomson, 2014. *EVERSAFE D.4.2 Recommendations for New Safety Requirements and Research*, sl: EVERSAFE.

RTL Nieuws, 2020. *Spectaculaire crashtest Polestar 2: hoe veilig is de accu?*. [Online]
Available at: <https://www.rtlnieuws.nl/node/5106086>
[Geopend 22 09 2020].

Ruiz, V. et al., 2018. A review of international abuse testing standards and regulations. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 81, Issue 81, p. 1427-1452.

RVO, 2014. *Facsheet EV's en veiligheid*, Den Haag: Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO).

RVO, 2019. *Laden van elektrische voertuigen - Definities en toelichting*, Utrecht: Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO).

RVO, 2020. *Energy Performance of Buildings Directive (EPBD III)*. [Online]
Available at: <https://www.rvo.nl/onderwerpen/duurzaam-ondernemen/gebouwen/wetten-en-regels/nieuwbouw/epbd-iii>
[Geopend 3 11 2020].

RVO, sd *Laadpunten voor elektrisch vervoer*. [Online]
Available at: <https://www.rvo.nl/onderwerpen/duurzaam-ondernemen/energie-en-milieu-innovaties/elektrisch-rijden/laadpunten>
[Geopend 18 09 2020].



SAE International, 1996. *The Effect of Vehicle Mass in Car-to-Car Collisions*. [Online]
Available at: <https://www.sae.org/publications/technical-papers/content/960441/>
[Geopend 01 09 2020].

Sakurai, T. & Suzuki, T., 2011. Crashworthiness of Electric Vehicles. *World Electric Vehicle Journal*, Issue 4, pp. 41-48.

Samsung SDI, 2016. *The Composition of EV Batteries: Cells? Modules? Packs? Let's Understand Properly!*. [Online]
Available at: <https://www.samsungsdi.com/column/all/detail/54344.html>
[Geopend 21 09 2020].

Simeone, A., Dian Lv, X. Y. L. & Zhang, J., 2018. *Collision damage assessment in lithium-ion battery cells via sensor monitoring and ensemble learning*. Shantou, 6th CIRP Global Web Conference.

SP Technical Research Institute of Sweden, 2017. *Risks associated with alternative fuels in road tunnels and underground garages*, Boras: SP Technical Research Institute of Sweden.

Staatscourant, 2020. Circulaire risicobeheersing lithium-ion energiedragers. *Staatscourant*, 1 07.

Stelling-Konczak, A., Hagenzieker, M. & van Wee, B., 2015. Traffic sounds and cycling safety: The use of electronic devices by cyclists and the quietness of hybrid and electric cars. *Transport Reviews*, Issue 35, pp. 422-444.

Struk, D., Hoffmann, L. & Tidblad, A. A., 2015. Fire Tests on E-vehicle Battery Cells and Packs. *Traffic Injury Prevention*, Volume 16, pp. 159-164.

Sun, P., Bisschop, R., Niu, H. & Huang, X., 2020. A Review of Battery Fires in Electric Vehicles. *Fire Technology*, Issue 56, pp. 1361-1410.

Swart, D. J., Bekker, A. & Bienert, J., 2016. The comparison and analysis of standard production electric vehicle drive-train noise. *International Journal of Vehicle Noise and Vibration*, 12(3).

SWOV, 2011. *Verkeersveiligheidsconsequenties elektrisch aangedreven voertuigen*, Leidschendam: SVOW.

Tesla, 2020. *Vehicle safety report*. [Online]
Available at: https://www.tesla.com/nl_NL/VehicleSafetyReport?redirect=no
[Geopend Augustus 2020].

The Driven, 2018. *What are the different types - and speeds - of EV charging?*. [Online]
Available at: <https://thedriven.io/2018/08/28/faq9-ev-charging-speeds-explained/>
[Geopend 25 09 2020].

The Enclosure Company, *sd IP Rated Enclosures Explained*. [Online]
Available at: [https://www.enclosurecompany.com/ip-ratings-explained.php#:~:text=What%20is%20an%20IP%20rating,%2C%20dirt%20etc\)%20and%20moisture.](https://www.enclosurecompany.com/ip-ratings-explained.php#:~:text=What%20is%20an%20IP%20rating,%2C%20dirt%20etc)%20and%20moisture.)
[Geopend 26 08 2020].

The New York Times, 2019. *Why quiet cars are getting louder*. [Online]
Available at: <https://www.nytimes.com/2019/10/24/business/electric-vehicle-noises-nhtsa.html>
[Geopend juni 2020].

The Sun, 2019. *Electric car owners warned against using extension leads to charge their vehicle as it could lead to DEADLY shock - here's how to keep yourself safe*. [Online]
Available at: <https://www.thesun.co.uk/motors/9186672/electric-car-warning-extension-lead-charging/>
[Geopend 02 09 2020].

The Verge, 2019. *Germany tests overhead wires to charge hybrid trucks on highways*. [Online]
Available at: <https://www.theverge.com/2019/5/9/18538030/germany-ehighway-siemens-vw-group-electrified-cables-wires-overhead-electric-hybrid-trucks>
[Geopend 25 09 2020].



The Verge, 2019. *Tesla's Model 3 scores the company's first top safety award from IIHS*. [Online]
 Available at: <https://www.theverge.com/2019/9/19/20873510/tesla-model-3-iihs-crash-test-safety-award-video>
 [Geopend juni 2020].

Titheridge, H., Maher, M. & Tolouei, R., 2013. Vehicle mass and injury risk in two-car crashes: A novel methodology. *Accident Analysis & Prevention*, Issue 50, pp. 155-166.

TNO, 2013. *Plattegrond veiligheid elektrische voertuigen 2020*, Delft: TNO.

TNO, 2014. *Factsheet feitenmateriaal elektrische voertuigen en veiligheid*, Delft: TNO.

TNO, 2020. *Risico's in parkeergarages ten gevolge van elektrisch en waterstof aangedreven personenauto's - Internationale Inventarisatie*, Delft: TNO, Buildings, Infrastructure & Maritime.

Transport Online, 2019. *Vreugdenhil Berging ontwikkelde speciale Salvage Contair om uitgebrande elektrische auto's te koelen*. [Online]
 Available at: <https://www.transport-online.nl/site/105438/vreugdenhil-berging-ontwikkelde-speciale-salvage-contair-om-uitgebrande-elektrische-autos-te-koelen/>
 [Geopend 27 08 2020].

Trends in auto leasing, 2020. *Brandgevaar' stagneert uitrol laadpalen bij parkeergarages*. [Online]
 Available at: https://www.trendsinautoleasing.nl/nieuws-van-partners/10753045-brandgevaar-stagneert-uitrol-laadpalen-bij-parkeergarages/?utm_source=mailpoet&utm_medium=email&utm_campaign=van-coronaproof-mobiliteitsbeleid-tot-coronatracracker-voor-de-werkvloer_71
 [Geopend september 2020].

TUV SÜD, 2014. *What revision 2 of ECE-R100 means for rechargeable battery manufacturers*. [Online]
 Available at: <https://www.tuvsud.com/en/e-ssentials-newsletter/past-topics/what-revision-2-of-ece-r100-means-for-rechargeable-battery-manufacturers>
 [Geopend 27 08 2020].

UFO Battery, 2020. *What Is Lithium-ion Battery Pack?*. [Online]
 Available at: <https://www.ufo-battery.com/what-is-lithium-ion-battery-pack>
 [Geopend 18 09 2020].

UNECE, 2019. *UN Regulation on Advanced Emergency Braking Systems for cars to significantly reduce crashes*. [Online]
 Available at: <https://www.unece.org/info/media/presscurrent-press-h/transport/2019/un-regulation-on-advanced-emergency-braking-systems-for-cars-to-significantly-reduce-crashes/doc.html>
 [Geopend 27 10 2020].

UNECE, 2020. *Global Technical Regulations (GTRs) - 1998 Agreement on Global Technical Regulations (GTRs)*. [Online]
 Available at:
https://www.unece.org/trans/main/wp29/wp29wgs/wp29gen/wp29glob_registry.html
 [Geopend 31 08 2020].

UPS Battery Center, 2014. *What is Lithium Plating?*. [Online]
 Available at: <https://www.upsbatterycenter.com/blog/lithium-plating/>
 [Geopend 21 09 2020].

US Fire Administration, 2020. *Know the threats before you attack an electric vehicle fire*. [Online]
 Available at: https://www.usfa.fema.gov/training/coffee_break/061819.html
 [Geopend 23 09 2020].

V2G clarity, 2019. *What Is ISO 15118?*. [Online]
 Available at: <https://v2g-clarity.com/knowledgebase/what-is-iso-15118/>
 [Geopend 28 08 2020].



VBM, 2019. *Hulpdiensten beducht voor ongevallen met elektrische voertuigen*. [Online]
Available at: <https://berging-mobiliteit.nl/2019/09/28/hulpdiensten-beducht-voor-ongevallen-met-elektrische-voertuigen/>
[Geopend 27 08 2020].

Veiligheidsregio IJsselland, 2019. *Ons werk en de energietransitie*. [Online]
Available at: <https://www.vrijsselland.nl/ons-werk-en-de-energietransitie/?cn-reloaded=1>
[Geopend 27 08 2020].

Vejdirektoratet, 2015. *Noise from electric vehicles: Measurement*, Copenhagen: Vejdirektoratet.

Virta, 2018. *The two sides of EV charging network operators*. [Online]
Available at: <https://www.virta.global/blog/the-two-sides-of-ev-charging-network-operators>
[Geopend 25 09 2020].

VOC, 2020. *Veilig werken en diagnose stellen aan elektrische en hybride voertuigen*. [Online]
Available at: <https://voc.nl/autoschade/veilig-werken-en-diagnose-stellen-aan-elektrische-en-hybride-voertuigen>
[Geopend 25 08 2020].

Vos, J., 2020. *Onderzoek 'Toename EV's leidt tot meer zwaargewonden' voer voor discussie*. [Online]
Available at: <https://automotive-online.nl/management/laatste-nieuws/schade/27657-onderzoek-naar-impact-elektrische-auto-op-aantal-zwaargewonden-leidt-tot-discussie-onderzoek-naar-impact-elektrische-auto-op-aantal-zwaargewonden-leidt-tot-discussie>
[Geopend 27 08 2020].

Vreugdenhil BV, 2020. *Waterdompelcontainer*. [Online]
Available at: <https://www.vreugdenhilberging.nl/automotive-diensten/specialist-hulpverlening-electrisch--hybride-en-hydrogen>
[Geopend 23 09 2020].

VROOM, 2020. *Duitse brandweer test brandgevaar elektrische auto's*. [Online]
Available at: <https://www.vroom.be/nl/dossier/autosalon-brussel-2020/duitse-brandweer-test-brandgevaar-elektrische-auto-s-22714>
[Geopend 21 09 2020].

Wang, B., Mitolo, M. & Dehghanian, P., 2019. Electrical Safety Considerations in Large-Scale Electric Vehicle Charging. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 10(1109).

Wang, W. et al., 2020. Investigation of mechanical property of cylindrical lithium-ion batteries. *Journal of Power Sources*, Issue 451.

Worksafe, 2019. *Electric vehicle charging safety guidelines*, Wellington: New Zealand Government.

Würth, sd *10 Tips voor veilig werken aan hybride en elektrische voertuigen*. [Online]
Available at: https://www.wurth.nl/nl/wuerth_nl/onderneming/blog/productinformatie/10_tips_ev_werkplaats.php
[Geopend 25 08 2020].

WWU Münster, 2018. *Opportunities and Challenges for Electrochemical Energy Storage*. Ludwigsburg, 10th International AVL Exhaust Gas and Particulate Emissions Forum.

Zhang, H.-y., 2014. The Research about Fire Prevention of Vehicle Refuelling Stations. *Procedia Engineering*, Volume 71, pp. 385-389.

Zhua, J., Zhanga, X., Luoa, H. & E. S., 2018. Investigation of the deformation mechanisms of lithium-ion battery components using in-situ micro tests: *Applied Energy* 224, Issue 224, pp. 251-266.

A Overzicht geïnterviewde partijen

In Tabel 5 staat een overzicht van de organisaties en bedrijven die geïnterviewd zijn ten behoeve van het onderzoek.

Tabel 5 - Overzicht geïnterviewde partijen

Interview	Partijen
1	ANWB
2	RAI Vereniging
3	Veiligheidsregio Haaglanden
	Veiligheidsregio Brabant-Zuidoost
	IFV
4	ElaadNL
	DOET
5	Politie
	Brandweer
6	Gemeente Rotterdam
7	Vreugdenhil bergingsbedrijf
8	Rijkswaterstaat (adviseur incidentmanagement)
9	Van Peperzeel BV (commissielid NEC 21-35 Cellen en batterijen)
	Alfen (voorzitter NEC 69 Elektrische auto's)
10	Vexpan
	QPARK
11	Verbond van verzekeraars
	AON
12	MRA-e
13	Allego
	EV Box
14	DEKRA
15	TUe
16	FastNed
	ABB

B Overzicht interviewvragen

In deze bijlage staat de lijst met interviewvragen weergegeven zoals gecommuniceerd naar de geïnterviewde partijen. Dit is een uitgebreide vragenlijst met zowel algemene als specialistische vragen over verschillende onderwerpen. Het is dan ook niet het geval dat alle vragen in elk interview behandeld waren. Per interview is vooraf gecommuniceerd welke vragen relevant zijn.

Algemene vragen

- Met welke aspecten van veiligheid rond elektrische auto's houden jullie je bezig?
- Wat is jullie beeld van veiligheid en elektrische auto's? Hoe verhoudt die zich tot veiligheid bij conventionele auto's?
- Wat zijn de belangrijkste veiligheidsrisico's die jullie in de praktijk tegenkomen? Hoe groot zijn de risico's daadwerkelijk (zijn er statistieken, brondata?)
- Kennen jullie betrouwbare statistieken van incidenten met elektrische auto's? Zo niet, zou hier werk van gemaakt moeten worden?
- Welke ontwikkelingen spelen er bij verzekeraars in relatie tot EV's?
- [Aan het eind van het gesprek] Wat verwachten jullie van overheid/brancheorganisaties/andere partijen op het gebied van EV-veiligheid?
- [Aan het eind van het gesprek] Wat zijn (voor jullie) de belangrijkste kennislacunes ten aanzien van EV-veiligheid?
- [Aan het eind van het gesprek] Zijn er nog andere zaken die van belang zijn die nog niet aan bod zijn gekomen?

Wet- en regelgeving

- Aan welke wet- en regelgeving zijn jullie werkzaamheden gebonden? Internationaal/nationaal?
- Zijn er lokaal (bijvoorbeeld per veiligheidsregio en/of gemeente/provincie) afwijkende regels en/of voorschriften? Zo ja, waarom?
- Worden wet- en regelgeving (voldoende) nageleefd? Wie ziet daar op toe?
- Is de wet- en regelgeving duidelijk en/of compleet? Zo niet, wat ontbreekt er aan?
- Welke andere normen, veiligheidseisen en keurmerken kennen jullie op het gebied van EV en veiligheid?
- Zijn sommige wetten, normen en keurmerken met elkaar in tegenspraak? Zo ja, welke en hoe?
- Met welke instanties werken jullie samen? Overheid, niet-overheid.
- Welke instanties controleren jullie werkzaamheden? Aan wie leggen jullie verantwoording af?
- Kunt u een organogram tekenen van de betrokken organisaties/instanties bij EV-veiligheid?
- Wat kan beter? Te veel of te weinig partijen?
- Is er voldoende capaciteit om veiligheidszaken af te handelen?

Specifieke vragen per thema

Cluster 1: Voertuigveiligheid, Geluid, Onderhoud & Veiligheid

- Wat is uw algemene ervaring met/indruk van de (brand)veiligheid van EV's? En waarop is dat gebaseerd?
- Is veiligheid van EV's vergelijkbaar met die van conventionele auto's? Is extra aandacht voor EV-veiligheid gerechtvaardigd of niet? Waarom?
- Hoe waarborgen fabrikanten (brand)veiligheid van voertuigen? Welke (extra) maatregelen worden getroffen voor EV's? Hoe wordt de veiligheid getest? Specifiek voor:
 - brand;
 - elektrocutie;
 - weggedrag;
 - geluid;
 - (binnen)luchtkwaliteit;
 - cyberveiligheid.
- Dekken typegoedkeuringseisen de veiligheid van EV's voldoende af? En zijn de eisen voor individuele goedkeuring of wijziging in de constructie afdoende?
- Wat is de status van de R100 accutest? Functioneert deze goed? Welke problemen neemt deze (on)voldoende weg?
- Zijn er verschillende soorten Li-ion batterijen in gebruik en leidt dat tot verschillende soorten risico's (en omvang)? Denk aan manier van laden (Mode 1, 2, 3 of 4).
- Nieuwe ontwikkelingen zoals zonnepanelen in daken, moeten veiligheidsvoorschriften daarop aangepast?
- Welke wettelijke eisen zijn er aan de geluidsproductie van elektrische auto's? Zijn er nieuwe ontwikkelingen op dit vlak?
 - standaard op elke nieuwe auto?
- Wat zijn de specifieke risico's bij ge-retrofitted EV's? Hoe verhoudt zich aantal retrofit EV's vs. af-fabriek EV's?
- Brandweervoorschriften maken melding van specifieke risico's van EV's. Giftige rook, intensiteit en duur brand, 1.000 Volt handschoenen, bekabeling niet aanraken na te water geraking, etc. Hoe verhoudt zich dit tot de voertuigveiligheidseisen? En hoe verhouden deze risico's zich tot die van conventionele auto's? Is aparte aanpak voor EV's nodig?
- Onderzoek (SWOV) naar Nederlandse ongevalskansen is vrij oud (2011). Nieuwe inzichten bekend? Nodig? Is het AVAS-systeem afdoende?
- Wijken verzekeringen voor EV's af van verzekeringen voor conventionele personen-auto's?

Cluster 2: Te water geraking, (Onzichtbare) Beschadiging batterij

- Zijn er goede protocollen ten aanzien van incidentmanagement voor EV's? Zijn die voldoende bekend bij alle partijen/hulpdiensten?
- Is er een speciale 112 meldcode voor elektrische auto's? Zo nee, zou dit van meerwaarde zijn?
- Zijn hulpdiensten bij uitruk voldoende snel geïnformeerd over specifieke werkwijze in geval van EV?
- Waar haalt u als hulpverlener specifieke instructies voor hoe te handelen bij incidenten vandaan (zoals: adviezen van producenten)?
- Bent u bekend met de volgende website: [Rescue Sheet](#) ?



- Wordt u als hulpverlener tijdig geïnformeerd over de instructies als adviezen van de fabrikant?
- Hoe vaak komt Categorie D (ernstig vervormde kooiconstructie) voor?
- Zijn er specifieke risico's voor EV's bij te water geraking? Zijn die risico's beheersbaar (voor hulpdiensten)?
- Dompelcontainers:
 - Kunnen de dompelcontainers momenteel in heel Nederland worden ingezet?
 - Een dompelcontainer is een soort van te water geraking. Hebben bergingsbedrijven specifieke kennis van waar op moet worden gelet bij (gedeeltelijke) te water geraking?
 - Zijn er alternatieven (in ontwikkeling)? Inpakken (in zak)?
- Hoe gaan jullie om met onzichtbare schade aan de batterij?
- Is er wel eens sprake van vervormde batterijen? Zijn de risico's daarvan bekend?
- Is de (buiten)temperatuur van invloed op risico's van schade aan batterij? Zijn er nog andere factoren?
- Verschilt de aanpak van incidentmanagement (waaronder brand) per autotype (bijvoorbeeld doordat accupakket niet altijd op zelfde plaats). Is er veel voertuigdiversiteit? Is het makkelijk snel de specifieke kenmerken van een voertuig die van belang zijn bij incidentmanagement te achterhalen?
- Zijn er systemen (in ontwikkeling) die het mogelijk maken om de risico's voor gebruiker of incidentbestrijder op afstand af te lezen? (vgl. Moditech)
- Is er voldoende specialistische bergingscapaciteit voor EV's bij schade en/of brand? Hoe is dat geregeld bij groei aantal EV's? Is er toezicht op?
- Zijn er in uw ogen nog (urgente) aspecten onbekend over branden met elektrische auto's?
- Zijn er voorbeelden van gevallen waarbij de aansprakelijkheid van de schade aan een EV onduidelijk was?

Cluster 3: Brandveiligheid, Afgesloten ruimtes & Parkeergarages

- Zijn elektrische auto's brandgevaarlijker dan conventionele auto's ten aanzien van:
 - kans op brand;
 - verloop van de brand;
 - eventuele risico's bij brand;
 - opties voor risico-verminderende maatregelen.
- Hoe is dit vastgesteld?
- Is er voldoende informatie over brandveiligheid in parkeergarages in combinatie met EV's? Wat ontbreekt? En is die kennis er wel voor conventionele auto's?
- Er worden trainingen georganiseerd. Wat houden die in? Zijn er meerdere soorten/verschillende trainingen? Door wie aangeboden? Op welke doelgroepen zijn ze gericht?
- Zijn er in uw ogen nog (urgente) aspecten onbekend over branden met elektrische auto's?
- Hoe groot schat u het risico in van oplaadstekkers/snoeren die (tijdens het laden) vergrendeld zijn aan de laadpaal in geval van brand? Zijn ontgrendelingstechnieken bekend en uniform per voertuig?
- Is rookontwikkeling bij EV's schadelijker dan bij conventionele auto? Wat zijn de verschillen?
- In hoeverre is de noodzaak voor veel water bij blussen een bottleneck? Wat zijn oplossingen waarover wordt nagedacht? Welke alternatieve blusmethoden zijn er op de markt? Worden deze momenteel serieus overwogen door de brandweer?

- Zijn jullie bekend met chassis cooling? Wordt dit vaak toegepast? In hoeverre is dit een (noodzakelijke) oplossing voor brandveiligheidsissues voor EV's?
- Brandgevaar gebruikte accu's/autowrakken? In hoeverre probleem?
- Zijn jullie bekend met de verschillen in energie inhoud van een EV vs een ICE in verband met de brandlast (vuurlast)?
- Wat houden de protocollen in die autofabrikanten maken? Hoe en met wie worden deze gedeeld?
- Wanneer wordt het infoblad 'parkeergarages en elektrische auto's' precies uitgebracht? Is er al een beeld van wat hier in komt?
- Van een deel van de adviezen van de brandweer (8 mei 2020) kan worden gesteld dat deze ook noodzakelijk zijn voor ICEV's in parkeergarages. Zijn de huidige normen voor parkeergarages voldoende voor de veiligheid op basis van conventioneel rijden? Vormen elektrische auto's in parkeergarages een groter veiligheidsrisico? Zo ja, op basis van welke statistieken/onderzoeken? Hierbij onderscheid maken tussen:
 - Brandlast;
 - vrijkomende giftige stoffen;
 - extra brandlast door kunststof auto's;
 - brandbestrijding kan lastig plaatsvinden in garage.
- Wie is er aansprakelijk bij brand EV?
- Welke complicaties treden er op qua aansprakelijkheid bij EV in parkeergarages?
- Zijn garagehouders/VVE's verzekerd als er brand uitbreekt bij een EV in een parkeergarage?
- Hebben jullie een beeld van de risico's in parkeergarages? Wat betekent dit voor de verzekering van de garagehouder/VVE/eigenaar van de auto?
- Zijn er eisen vanuit de verzekeraars waaraan parkeergarages moeten voldoen in relatie tot EV? Zo ja, welke eisen? Zo nee, moet dat er komen?
- Is de aansprakelijkheid in parkeergarages anders voor EV's dan voor conventionele personenauto's?

Cluster 4: Laadinfrastructuur

- Welke veiligheidsrisico's ten aanzien van het laden van EV's zijn u bekend en wat is de kans op een incident (in ieder geval onderscheid in brand, oververhitting, wateroverlast/elektrocutie)? Hoe zijn deze vastgesteld? Worden eventuele incidenten centraal geregistreerd?
- Welke wettelijke eisen en voorschriften/protocollen gelden er voor het plaatsen van een oplaadpunt? Wie stelt deze voorschriften en protocollen vast?
- Zijn er verschillen ten aanzien van veiligheid met betrekking tot type laadinfra (regulier, thuis, snelladen)?
- Zijn er specifiek risico's (bekend) van:
 - Verlengde Private Aansluiting?
 - Laadlantaarns?
 - Inductieladen?
 - Andere (nieuwe) vormen?
- Kan verkeerd gebruik van (combinaties van) stekkers en laadvoorzieningen risico's opleveren? Zo ja welke (denk aan verkeerde combinaties laders, verlengsnoeren verloopstekkers)? Worden eventuele risico's duidelijk gemaakt aan gebruiker?
- Wat is het kennisniveau van gebruikers? Wordt dat bijgehouden/gevraagd?
- Wordt er bijgehouden wat de (vermoedelijke) oorzaak is van incidenten?
- Bent u bekend met de verschillende oplaadmodi die er zijn (Mode 1, 2, 3 en 4?) en komen

- dergelijke modi terug in eventuele eisen die u kent? Is er voldoende kennis over (verschillen in) veiligheidsrisico's van AC vs. DC-laden?
- Hoe groot schat u het risico in van oplaadstekkers/snoeren die (tijdens laden) vergrendeld zijn aan de laadpaal in geval van brand? Welke oplossingen zijn denkbaar (automatisch afsluiten stroom, automatische ontgrendeling bij hogetemperatuur)?
- Borgen de gebruikte (laad)protocollen en regelgeving de veiligheid voldoende?
- Wat is het handelingsprotocol voor beschadigingen aan laadpalen door externe oorzaken zoals aanrijdingen door (elektrische) voertuigen, vuurwerk en vandalisme?
- Worden de huidige voorschriften en protocollen daadwerkelijk geïmplementeerd? Wordt daar op toegezien? Zo niet, is dit nodig en hoe zou dit kunnen gebeuren?
- Voldoen NEN1010 en NEN3140 voor het aansluiten van laadpunten waarbij urenlang de maximale stroomsterkte gebruikt kan worden?
- Welke kwaliteitsborging is er bij het installatieproces?
- Wordt laadinfrastructuur periodiek onderhouden? Wat is nodig? Wat is de praktijk? Wat zijn de restrisico's?
- Hoe realistisch is handhaven op (juiste) installatie en gebruik van laadvoorzieningen?

C Wet- en regelgeving laadinfrastructuur

Voor fysieke componenten zijn de volgende normen van toepassing:

- In IEC 62196 zijn eisen vastgelegd voor stekkers aan elektrische auto's. De afgelopen jaren zijn er aanvullingen gekomen op de norm die in 2014 is vastgesteld, waarvan de laatste aanvulling in maart 2020 is verschenen (NEN, 2014; 2017b; 2020a; IFV, 2020b).
- De normen IEC 62893 en IEC 62752 bevatten eisen voor laadkabels. Ook deze norm is de afgelopen jaren aangevuld (NEN, 2020c; IFV, 2020b).

Voor laadstations hebben wij de volgende regelgeving gevonden:

- IEC 61851 bevat eisen voor laadstations en laadpalen van elektrische auto's, inclusief elektromagnetische voorwaarden. Zowel AC- als DC-laden zijn in de norm opgenomen. De norm bevat algemene eisen en is de afgelopen jaren aangevuld met specifieke eisen ten aanzien van AC- en DC-laden (NEN, 2017a; NEN, 2019a; IFV, 2020b).
- In IEC 60362-7-22 staan veiligheidseisen beschreven ten aanzien van de elektrische aansluiting van laadinfrastructuur (IEC, 2018; IFV, 2020b).
- In ISO 17409 staan voorwaarden beschreven voor de verbinding van elektrische auto's met de stroomvoorziening. Deze voorwaarden zijn beschreven voor de Laadmodi 2, 3 en 4 (NEN, 2020b).

Voor installatie van de laadpalen zijn de volgende normeringen van kracht:

- NEN1010: van toepassing op private laadpunten. Deze moeten voorzien zijn van een aardlekschakelaar.
- NEN3140: van toepassing op publieke laadpunten. Dit is een laagspanningsrichtlijn (tot 1.000 V wisselspanning en 1.500 V gelijkspanning) (NEN, 2015a).

Voor informatie-uitwisseling zijn de volgende normeringen en initiatieven bij ons bekend:

- ISO 15118-8:2019 is van kracht voor interactie tussen het elektrische auto en het elektriciteitsnetwerk (NEN, 2019b) (V2G clarity, 2019).
- IEC 63119-1:2019 is het eerste deel van de norm over informatie-uitwisseling tussen elektrische auto's, laadstation providers (CSP's) en laadstation operatoren (CSO's) via roaming. In dit eerste deel staat een beschrijving van definities, een systeemmodel, classificaties, informatie-uitwisseling en veiligheidsmechanismen (IEC, 2019) (NEN, 2019a). Er komen naar verwachting nog drie andere delen waarbij onder andere in zal worden gegaan op cybersecurity. De verwachte opleverdatum daarvan is maart 2022 (RVO, 2019).
- De NEN commissie NEC 57 'Bediening op afstand van energievoorzieningssystemen' houdt zich onder andere bezig met de ontwikkeling van communicatieprotocollen tussen laadinfrastructuur en voedende netstructuur. Dit valt binnen de norm IEC/TC 57 'Power systems management and associated information exchange' (IEC, 2020c; NEN, 2018b; NEN, 2018c).