

Onderzoek dompelcontainers

Een beoordeling van de dompelcontainer en mogelijke alternatieven



Instituut Fysieke Veiligheid
Kennisonwikkeling en onderwijs
Postbus 7010
6801 HA Arnhem
Kemperbergerweg 783, Arnhem
www.ifv.nl
info@ifv.nl
026 355 24 00

Colofon

Instituut Fysieke Veiligheid (2021). *Een beoordeling van de dompelcontainer en mogelijke alternatieven*. Arnhem: IFV.

Opdrachtgever:	Rijksdienst voor Ondernemend Nederland
Contactpersoon:	Sipke Castelein
Titel:	Een beoordeling van de dompelcontainer en mogelijke alternatieven
Datum:	11 februari 2021
Status:	Definitief
Versie:	1.0
Auteurs:	T. Hessels MSc. en T. Geertsema BBA
Projectleider:	dr.ir. N. Rosmuller
Review:	dr. ir. R. Weewer
Eindverantwoordelijk:	dr.ir. N. Rosmuller

Inhoud

Samenvatting	4
Inleiding	6
1 Inzet van dompelcontainers	9
1.1 Incidenten met elektrische voertuigen	9
1.2 Dompelcontainers	11
1.3 Dompelen van een elektrisch voertuig in water	11
1.4 De inzet van dompelcontainers	14
2 Verkenning van alternatieven	18
2.1 Salvagecontainer	18
2.2 Coldcutter	20
2.3 e-Bluslans	21
2.4 Mobiele sprinkler	22
2.5 Mobiel waterbad	24
2.6 Brandwerende dekens	25
2.7 Overig	26
3 Beoordeling van dompelcontainers en hun alternatieven	29
3.1 Scenario 1a: brand in accupakket, voertuig goed bereikbaar	30
3.2 Scenario 1b: brand in accupakket, voertuig lastig bereikbaar	31
3.3 Scenario 2: accu mogelijk instabiel	33
4 Beantwoording van de onderzoeksvragen	34
5 Duiding	36
Literatuurlijst	37
Bijlage 1: Argumentatie beoordeling dompelcontainer en alternatieven bij scenario 1a	39
Bijlage 2: Argumentatie beoordeling dompelcontainer en alternatieven bij scenario 1b	43
Bijlage 3: Argumentatie beoordeling dompelcontainer en alternatieven bij scenario 2	46

Samenvatting

Het aantal elektrische voertuigen groeit, waardoor de kans toeneemt dat een dergelijk voertuig bij een brand betrokken raakt, met alle specifieke risico's van dien. Zo blijken de batterijen van elektrische auto's lastig te blussen. De kans op spontane herontsteking (thermal runaway) na de initiële blussing vraagt om langdurige koeling van de batterijcellen. Dat is echter geen sinecure vanwege de goede bescherming van de batterijen tegen weersinvloeden. Onderdompelen van het hele voertuig in een dompelcontainer is diverse keren met succes toegepast. Er kleven echter ook nadelen aan deze methode. De werkgroep Veiligheid elektrisch vervoer van de Nationale Agenda Laadinfrastructuur heeft het Instituut Fysieke Veiligheid daarom gevraagd onderzoek te doen naar mogelijke alternatieven voor dompelcontainers. De volgende onderzoeksvragen zullen in dit rapport beantwoord worden:

1. Bij welke situaties en incidenten worden dompelcontainers nu gebruikt ter voorkoming of bestrijding van een batterijbrand (bij een elektrische voertuigen)?
2. Op welke wijze is een dompelcontainer in staat om een incident met een elektrisch voertuig onder controle te brengen?
3. Welke alternatieve maatregelen bestaan er in de verschillende situaties ter bestrijding van het incident, en hoe werken ze?
4. Hoe 'scoren' deze alternatieven ten opzichte van de dompelcontainer bij het bestrijden van de gevolgen van incidenten met elektrische voertuigen?

Het onderzoek, dat is gebaseerd op een literatuurstudie, interviews en expert opinion, beperkt zich tot elektrische personenauto's. Om te komen tot inzicht in de alternatieven voor dompelcontainers wordt gewerkt met een drietal scenario's als basis (1. brand in een elektrisch personenauto waarbij het accupakket is betrokken; goed bereikbaar; 2. idem, maar lastig bereikbaar; 3. accupakket gemanipuleerd, mogelijk instabiel).

Tot op heden zijn dompelcontainers ingezet op verzoek van de brandweer bij branden in elektrische voertuigen. Het protocol van bergingsbedrijven is dat de dompelcontainer ter plaatse komt in geval van manipulatie van het batterijpakket. De dompelcontainer wordt gebruikt als vervoersmiddel en eventueel als stallingslocatie. De container wordt daarbij in principe niet op de plaats incident met water gevuld; dit gebeurt op de stallingsplaats van het bergingsvoertuig. Het is gebleken, dat dompelcontainers in staat zijn om de temperatuur te stabiliseren en een thermal runaway te voorkomen. De effectiviteit van een dompelcontainer is afhankelijk van de mate waarin het water het batterijpakket en de batterijcellen kan bereiken. Het gebruik van een dompelcontainer is relatief eenvoudig, maar brengt wel potentiële risico's en/of complicaties met zich mee.

Voor zowel incidenten waarbij de batterij (zeer waarschijnlijk) betrokken is, als incidenten waarbij het batterijpakket (mogelijk) mechanisch is gemanipuleerd, zijn momenteel enkele alternatieve technieken beschikbaar. Er kan echter geconstateerd worden, dat plaatsing en eventueel onderdompelen in een dompelcontainer vrijwel altijd de beste methode is. In vergelijking met de andere maatregelen is het middel relatief veilig in gebruik, heeft het een groot koelend effect en blijft de milieubelasting beperkt.

Indien het voertuig op een lastig bereikbare plaats staat, is een mobiele sprinkler het beste middel, vooral vanwege de snelle inzetijd en praktische toepasbaarheid. Tevens is gebleken dat het gebruik van de dompelcontainer als vervoersmiddel, dus zonder onderdompelen, het best is voor het veilig vervoeren van een voertuig waarvan onbekend is of het batterijpakket is gemanipuleerd.

Inleiding

Aanleiding

Het aantal elektrische voertuigen in het Nederlandse straatbeeld neemt de laatste jaren steeds sneller toe. Daarmee stijgt ook de kans dat een elektrisch voertuig bij een brand betrokken raakt. Dergelijke voertuigen brengen andersoortige risico's met zich mee dan conventioneel aangedreven voertuigen. Zo blijken elektrische auto's voorzien van lithium-ion batterijen lastig te blussen. De kans op spontane herontsteking gedurende langere tijd ('thermal runaway') na de initiële blussing, vraagt om langdurige koeling van de batterijcellen. Dat is echter geen sinecure vanwege de goede bescherming van de batterijen tegen weersinvloeden.

Onderdompelen van het hele voertuig, inclusief het batterijpakket in een dompelcontainer (dompelbad) is diverse keren met succes toegepast in Nederland. Er kleven echter ook nadelen aan deze wijze van koelen. De werkgroep Veiligheid elektrisch vervoer van de Nationale Agenda Laadinfrastructuur die zich onder andere richt op brandveiligheid van elektrische personenauto's heeft het Instituut Fysieke Veiligheid daarom gevraagd onderzoek te doen naar mogelijke alternatieven voor deze dompelcontainers.

Onderzoeksvragen

De werkgroep Veiligheid van de NAL heeft het IFV gevraagd antwoord te geven op de volgende onderzoeksvragen:

1. Bij welke situaties en incidenten worden dompelcontainers nu gebruikt ter voorkoming of bestrijding van een batterijbrand (bij een elektrische voertuigen)?
2. Op welke wijze is een dompelcontainer in staat om een incident met een elektrisch voertuig onder controle te brengen?
3. Welke alternatieve maatregelen bestaan er in de verschillende situaties ter bestrijding van het incident, en hoe werken ze?
4. Hoe 'scoren' deze alternatieven ten opzichte van de dompelcontainer bij het bestrijden van de gevolgen van incidenten met elektrische voertuigen?

Onderzoeksmethode

Om onderzoeksvragen 1 en 2 te kunnen beantwoorden, zijn interviews over inzetten met dompelcontainers gehouden met bergingsbedrijven en regionale brandweerkorpsen, zowel via Microsoft Teams, als telefonisch of per e-mail. Voor het beantwoorden van onderzoeksvragen 3 en 4 is een studie uitgevoerd van zowel Nederlandse als internationale literatuur, en zijn interviews gehouden met onderzoeksinstellingen uit andere Europese landen.

Op basis van deze interviews, informatie over de gepleegde inzetten en de opgedane ervaring, de literatuurstudie en de internationale verkenning wordt inzicht verkregen in de aspecten die een rol spelen bij de langdurige koeling van lithium-ion cellen (de voor- en nadelen van het gebruik van de dompelcontainer, de randvoorwaarden), alsook in de alternatieven. Onderzoeksvraag 5 wordt beantwoord door middel van expert opinion (intersubjectiviteit). De experts zijn meerdere onderzoekers en lectoren van het Instituut Fysieke Veiligheid. Gezamenlijk zijn zij tot een beoordeling gekomen van de in hoofdstuk 2 genoemde maatregelen voor elk van de hieronder benoemde scenario's (situaties).

Doel

Doel van dit onderzoek is het verschaffen van inzicht in de wijze van werken met dompelcontainers, alsmede in de mogelijke alternatieven voor dompelcontainers.

Afbakening

Het onderzoek beperkt zich tot elektrische personenauto's. Andere elektrische vervoersmiddelen, zoals vrachtwagens, segways, e-steps, e-bikes, hoverboards en dergelijke, vallen buiten de scope van dit onderzoek.

Voor het onderzoek is uitgegaan van het aantal dompelcontainers in Nederland, d.d. november 2020. Bekend is dat er inmiddels meerdere dompelcontainers beschikbaar zijn¹², maar deze zijn dus niet meegenomen in het onderzoek.

Om te komen tot het inzicht in de alternatieven voor dompelcontainers wordt gewerkt vanuit een drietal scenario's:

- > Scenario 1a: Brand in een elektrisch personenvoertuig waarbij het accupakket onomstotelijk is betrokken bij de brand. Het voertuig is in dit scenario goed bereikbaar.
- > Scenario 1b: Brand in een elektrisch personenvoertuig in een parkeergarage, waarbij het accupakket onomstotelijk is betrokken bij de brand.
- > Scenario 2: Brand / ongeval waarbij het vermoeden bestaat dat het accupakket is gemanipuleerd (mechanisch, thermisch of elektrisch), maar waarbij het onbekend is of dit accupakket opwarmt en mogelijk in thermal runaway raakt.

Deze scenario's zijn slechts bedoeld als hulpmiddel om te komen tot de beoordeling van de (diverse alternatieven voor de) dompelcontainer. Scenario's waarbij geen beschadiging en/of opwarming van het batterijpakket wordt geconstateerd, vallen buiten de scope van dit onderzoek. Immers, er is dan geen noodzaak het accupakket onder te dompelen. De laadactiviteit is niet meegenomen in het onderzoek.

¹ <https://www.linkedin.com/feed/update/urn:li:activity:6749706618876821504/>.

² https://www.facebook.com/permalink.php?story_fbid=177647350715794&id=107369771076886.

Leeswijzer

Als eerste wordt in hoofdstuk 1 ingegaan op de inzet van dompelcontainers. Daarmee komen de onderzoeksvragen 1 en 5 aan bod. Vervolgens wordt in het tweede hoofdstuk ingegaan op de verkenning van de mogelijke alternatieven voor de inzet van een dompelcontainer. In hoofdstuk 3 wordt van de in hoofdstuk 2 genoemde maatregelen een kwalitatieve beoordeling gegeven. In hoofdstuk 4 worden de onderzoeksvragen beantwoord. Als laatste wordt in hoofdstuk 5 een duiding gegeven van de resultaten van dit onderzoek.

1 Inzet van dompelcontainers

In dit hoofdstuk wordt als eerste ingegaan op de brandbestrijding van elektrische voertuigen en het verschil bij deze brandbestrijding ten opzichte van conventionele voertuigen. Vervolgens komt aan bod wat een dompelcontainer is en ten slotte wordt de inzet van dompelcontainers besproken: wanneer en hoe vaak deze worden ingezet en welke afwegingen en protocollen bergers en brandweer daarbij hanteren.

1.1 Incidenten met elektrische voertuigen

Zoals vermeld, is er sprake van een steeds grotere toename van het aantal elektrische voertuigen.³ Daarmee stijgt ook de kans dat een dergelijk voertuig betrokken is bij een ongeval of brand. Het belangrijkste verschil tussen een conventioneel en een elektrisch aangedreven voertuig is de aanwezigheid van een accupakket. Indien dit een lithium-ion batterijpakket betreft, kan het in thermal runaway raken (Instituut Fysieke Veiligheid, 2020).

Thermal runaway

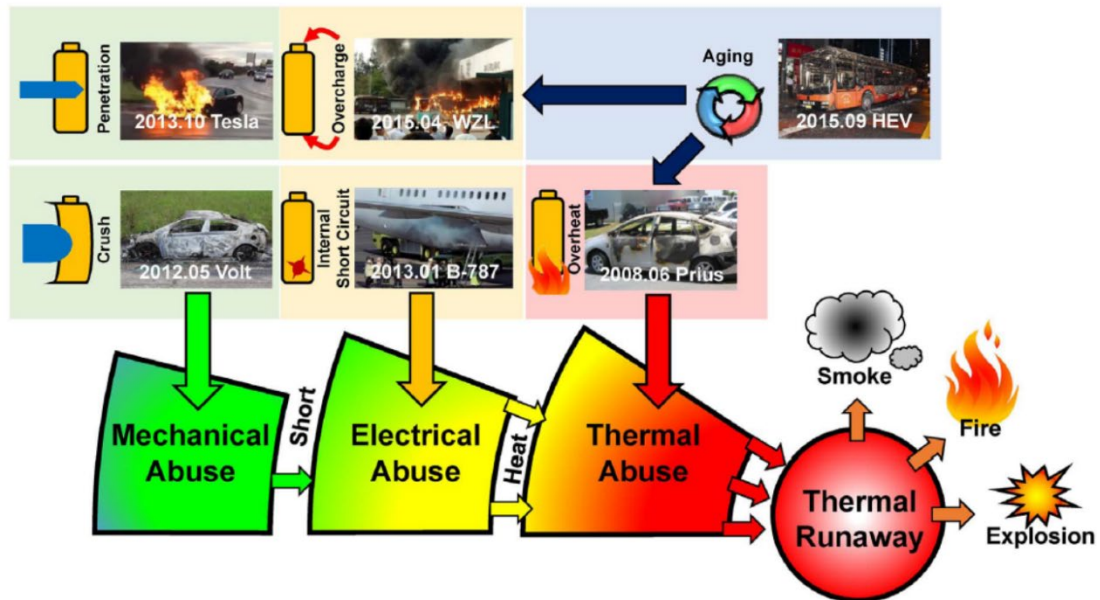
Thermal runaway is een faalmechanisme dat leidt tot zelfverhitting in een batterij(cel) en dat kan resulteren in brand (Colella et al., 2016). Batterijpakketten hebben allemaal hun eigen 'safety window' (veiligheidsmarge); wanneer condities hierbuiten komen, kan dit leiden tot het zichzelf opwarmen en veroorzaken van een thermal runaway (Air Resources Board, 2015¹). Temperaturen waarbij dit op kan treden liggen, afhankelijk van het type batterij, gemiddeld tussen circa 70 en 250 °C (Sun et al., 2020).

Een thermal runaway kenmerkt zich door een serie exothermische, thermochemische en elektrochemische kettingreacties. Hierbij ontstaan grote hoeveelheden rook, vonken en/of steekvlammen. De vrijkomende gassen die via overdrukventielen uit het batterijpakket worden geperst, zijn toxisch, brandbaar en/of explosief (Larsson, 2017). De vrijkomende gassen kunnen ontstoken worden, waardoor er vlammen ontstaan. Wanneer de overdrukventielen de druk onvoldoende af kunnen voeren, kunnen batterijcellen exploderen. De hitte in de cel zorgt voor opwarming van naastgelegen cellen, waardoor deze er ook bij betrokken raken. Daarnaast kan een ophoping van de vrijkomende gassen in een besloten ruimte zorgen voor een gasexplosie. (Li et al., 2020; Wang, Mao, Stolarov, & Sun, 2019).

Voordat een accupakket echter in thermal runaway raakt, moet het batterijpakket op een negatieve manier worden beïnvloed. Deze beïnvloeding kan thermisch, elektrisch of mechanisch van aard zijn. Dit kan het gevolg zijn van een aanrijding, brand in of om het voertuig, overladen, een mechanisch of elektrisch defect en potentieel ook veroudering (Feng et al., 2018). Als gevolg hiervan kan het batterijpakket dermate beschadigd worden, dat één of meerdere cellen in thermal runaway raken. De kans hierop is volgens CE Delft (2020) klein.

³ <https://www.rvo.nl/onderwerpen/duurzaam-ondernemen/energie-en-milieu-innovaties/elektrisch-rijden/stand-van-zaken/cijfers>.

Als de thermal runaway eenmaal in gang is gezet, laat het batterijpakket zich alleen stabiliseren door het langdurig te koelen met een geschikt koelmedium (Sun, Bisschop, Niu, & Huang, 2020). Figuur 1.1 laat schematisch zien hoe diverse vormen van impact op een batterij(cel) uiteindelijk kunnen leiden tot een thermal runaway.



Figuur 1.1 Precondities voor ontstaan thermal runaway (Feng et al., 2018)

1.1.1 Bestrijding van brand in elektrische voertuigen

De bestrijding van branden in elektrische voertuigen is complexer dan die van branden in conventioneel aangedreven voertuigen, vanwege het feit dat langdurig koelen van het lithium-ion batterijpakket noodzakelijk is als dit betrokken is bij de brand en omdat het koelmedium in de meeste gevallen niet direct in het batterijpakket kan worden ingebracht. Dat komt, omdat het batterijpakket zo goed mogelijk is afgesloten van de buitenwereld om vocht, vuil- en temperatuursinvloeden op het functioneren van de batterij te voorkomen (Instituut Fysieke Veiligheid, 2020). Langdurig koelen kan met een zogenaamde dompelcontainer (zie paragraaf 1.2) Er is pas weer sprake van een veilige situatie als alle elektrische, chemische en thermische energie uit de batterij is teruggebracht naar een stabiel niveau. Dit wil zeggen dat de batterij volledig ontladen is en er geen verhoogde temperatuur meer waarneembaar is.

Bij een thermal runaway en/of brand in het batterijpakket komen diverse gevaarlijke stoffen vrij (Instituut Fysieke Veiligheid, 2020). Het gaat het onder meer om bijtende, giftige en milieugevaarlijke stoffen van het aanwezige elektrolyt en verbrandingsproducten van de gebruikte kunststoffen (onder meer van de verpakking). In deze mix van gevaarlijke stoffen komen naast gebruikelijke verbrandingsproducten ook giftige gassen vrij, zoals waterstoffluoride (HF), waterstofcyanide (HCN), koolstofmonoxide (CO) en waterstofchloride (HCl) (Sun et al., 2020). De fluorhoudende bestanddelen vormen volgens Ribère et al (2012) naast HF ook het extreem giftige fosforylfluoride (POF₃). Over de hoeveelheden gassen die vrijkomen en concentraties die hierdoor ontstaan in de nabijheid van het voertuig is relatief weinig bekend. Dit komt doordat het ontstaan van deze gassen scenario-afhankelijk is. Belangrijk om op te merken is, dat de zure giftige dampen en gassen met behulp van water verdund of neergeslagen kunnen worden, waardoor de gevolgen voor de mens worden gereduceerd, maar die voor het milieu mogelijk juist verslechteren.

1.2 Dompelcontainers

De dompelcontainer (zie figuur 1.2) is een vloeistofdichte container waarin een personenvoertuig of ander object geplaatst kan worden. De container dient ter plaatse te worden gebracht, bijvoorbeeld op het laadplateau van een sleepwagen of met behulp van een voertuig met een haakarmchassis. Er zijn diverse varianten dompelcontainers, zoals met een laadklep en lierinrichting om de auto in de container te lieren, of met een dichte bak waar de auto in getakeld wordt.



Figuur 1.2 Dompelcontainer. Foto: [Vreugdenhil berging](#)

De dompelcontainers worden in Nederland ingezet om lithium-ion die batterijen in brand staan / hebben gestaan en (mogelijk) instabiel zijn voor langere tijd in water te dompelen om het (dreigende) proces van de thermal runaway tot stoppen te brengen. In Nederland zijn de dompelcontainers in gebruik bij bergingsbedrijven. In totaal waren in november 2020 in Nederland – voor zover bekend – twaalf dompelcontainers aanwezig bij even zoveel bergingsbedrijven. Van deze twaalf dompelcontainers worden er tien ter plaatse gebracht door de dompelcontainer op het laadplatform te zetten van een bergingsvoertuig, één wordt ter plaatse gebracht middels een haakarmvoertuig en één dompelcontainer is een truck-oplegger combinatie, waarbij op de oplegger een dompelcontainer is gemonteerd.

1.3 Dompelen van een elektrisch voertuig in water

De wijze waarop een dompelcontainer effect heeft op een batterijpakket in thermal runaway is het koelen van het batterijpakket en alles wat om het pakket heen zit (zoals de carrosserie van het voertuig). Koeling van het batterijpakket is in meerdere onderzoeken de meest effectieve wijze van koeling en blussing gebleken (Luo, Zhu, Gong, & Zhou, 2018; Willstrand, Bisschop, & Rosengren, 2019). Dit kan wanneer water, met of zonder watergedragen additief na het onderdompelen via openingen in de behuizingen van het batterijpakket kan komen. Bij openingen in het batterijpakket kan worden gedacht aan ventilatiegaten, een verwijderde serviceplug of ontstane openingen door weggebrande kabels. Ook is het mogelijk dat ruimtes rondom het nog waterdichte batterijpakket zich vullen met water, waardoor de temperatuur van het totale batterijpakket naar beneden wordt gebracht. Dit is wel minder effectief dan koeling op celniveau.

Oppervlaktespanning

Een surfactant (beter bekend als zeep) is een oppervlakte-actieve stof die als blusmiddel wordt toegevoegd aan water waardoor de oppervlaktespanning van het water verlaagd wordt (Atkins & De Paula, 2006). Surfactanten zijn de belangrijkste bestanddelen van schuimvormende middelen (SVM's) en andere watergedragen additieven en worden soms ook 'wetting agents' genoemd.



Figuur 2: Door toevoeging van een surfactant wordt de oppervlakte spanning van water lager, waardoor het indringend vermogen groter is. (Bron: ITRC, 2015)

Onderzoek laat zien dat het toevoegen van een surfactant bijdraagt aan de snellere reductie van temperatuur in het batterijpakket ten opzichte van enkel water (Luo et al., 2018). Dit komt doordat de oppervlaktespanning van water wordt verlaagd, waardoor het indringende vermogen van water wordt vergroot. Dit zorgt er voor dat water kan doordringen in moeilijk bereikbare plekken. Opmerkelijk hierbij is dat een simpele 5% zeepoplossing hetzelfde effect heeft als een blusmiddel-surfactant (in deze test F500).

Wanneer het doel is om de batterij en de omliggende constructie te koelen, is het niet nodig het volledige voertuig onder te dompelen. Het is dus mogelijk om de dompelcontainer te vullen met water totdat het batterijpakket onder water staat. Hoe hoog de waterlijn ten opzichte van de bodem van de container moet komen, is bij ieder type voertuig anders, aangezien het batterijpakket op verschillende plekken en verschillende hoogtes wordt ingebouwd. Het is hierbij van belang om te monitoren of de temperatuur van het water in de dompelcontainer niet te hoog wordt. Hoe groter het verschil tussen de temperatuur van het water en de opgewarmde batterij, hoe beter de batterij zijn warmte af kan geven aan het water. Het slechts deels vullen van de dompelcontainer zou voor opwarming van het water geen directe rol moeten spelen, gezien de hoeveelheid energie die deze massa aan water op kan nemen.⁴

1.3.1 Complicaties

Fabrikanten van voertuigen en componenten met een elektrische aandrijving willen zoveel als mogelijk voorkomen dat water in het batterijpakket kan binnendringen. Alhoewel vigerende internationale wetgeving geen directe eisen stelt aan de waterdichtheid van elektrische aandrijflijnen, worden er wel doeleisen gesteld aan isolatie en het voorkomen van elektrocutie (United Nations, 2011). Veelgebruikte normeringen zoals ISO-26262 (functional safety) en onderliggende SAE-normeringen geven hier wel invulling aan. Deze norm stelt dat fabrikant er alles aan moet doen om een thermal runaway te voorkomen. Hieronder valt het voorkomen van corrosie, die namelijk een verhoogde weerstand in het circuit veroorzaakt, waardoor extreme temperaturen kunnen ontstaan. Daarnaast wil men het binnendringen van zout water voorkomen in verband met kortsluitingen.

⁴ Wanneer de container gevuld wordt met 50 cm water is er ongeveer 7500 liter water aanwezig. Om deze massa aan water 1 °C in temperatuur te laten stijgen, is ongeveer 31 MJ aan energie nodig.

Alhoewel het aan de OEM is om te beslissen hoe men corrosie en kortsluiting wil voorkomen, wordt dit bijna altijd opgelost door waterdichtheid. In relatie met het dompelen in water is het van belang te weten dat een batterij in basis vaak waterdicht is, zoals ook wordt beschreven in de ISO-6469, tenzij er een opening is (ontstaan) in de omhulling (zoals vulopeningen of door wegbranden van plastic delen, scheuren door overdruk, et cetera). Dit zorgt voor een sterk verminderde koeling van de opgewarmde cellen en het voorkomen van propagatie.

Naast de nadelige gevolgen van het binnendringen van water in het batterijpakket zoals hierboven benoemd, zijn er nog meer potentiële complicaties bij het onderdompelen. Het onderdompelen van batterijen in water heeft als gevolg dat volle, nog werkende batterijen ontladen. Bij het ontladen van batterijen in water ontstaat voornamelijk waterstofgas (H_2), dat in besloten ruimtes kan zorgen voor deflagraties of (in hogere concentraties) detonaties (IFV, 2020). In de buitenlucht verwaait waterstof snel, waardoor het risico minimaal is. Naast waterstof ontstaan er ook diverse zuren. In een dompelbad zullen deze zuren oplossen en/of neerslaan in het water. Ondanks het oplossen van (een deel van) de gevaarlijke stoffen in water blijft het mogelijk dat er zware metalen of giftige gassen aanwezig zijn in de rook. Daarom is het van belang om uit het benedenwinds gebied te blijven, ook op bijvoorbeeld de stallingslocatie van het door de berger afgevoerde voertuig.

Het risico op elektrocutie is zeer klein bij het werken met een beschadigde elektrische auto (Bisschop, Willstrand, & Rosengren, 2020). Er zijn diverse veiligheidssystemen die het systeem afschakelen in geval van een crash of beschadiging. Daarnaast is een batterij een zwevend net, waarbij er pas een circuit te maken is dat voor elektrocutie kan zorgen wanneer men contact maakt met zowel de plus- als de minpolen van de batterij. Het bergings- en eventuele brandweerpersoneel loopt bij onderdompeling geen elektrocutierisico wanneer het in contact komt met de dompelcontainer. Immers, er wordt geen elektrisch circuit gevormd waardoor elektrocutie mogelijk is. Dit geldt voor zowel de op dit moment veelgebruikte 400 Volt systemen, als voor de in de toekomst meer gebruikte 800 Volt systemen. Ondanks het minimale risico is het dragen van aanvullende persoonlijke beschermingsmiddelen in de vorm van 1000V handschoenen altijd aan te raden om het risico op een elektrische schok te beperken.

De chemische samenstelling van een batterij maakt dat deze potentieel schadelijk is voor mens en milieu. Dit betekent dat water dat gebruikt wordt om een auto inclusief batterij te koelen, potentieel vervuild is. Dit geldt ook voor het water in een dompelcontainer of een statisch dompelbad⁵. Over de mate waarin dit water vervuild is, bestaat echter geen consensus; diverse onderzoeken spreken elkaar tegen. Waar het ene onderzoek stelt dat koelwater zwaar vervuild is (bijvoorbeeld Mellert et al, (2020)), stelt het volgende onderzoek dat dit amper meetbaar is. Deze tegenstrijdige visies worden mede veroorzaakt door de verschillen in testopzet, de mate waarin cellen en modules betrokken zijn bij een thermal runaway, de mate waarin de batterij beschadigd is, het volume van water waarmee gekoeld wordt en de wijze van meten. Er moet daarom worden gesteld dat meer onderzoek nodig is, voordat kan worden bepaald in welke mate en in welke gevallen koelwater een risico vormt voor de gezondheid en het milieu. Over het algemeen kan worden gesteld dat het volume aan water bepalend is voor de concentratie. Verder is het raadzaam op basis van metingen te bepalen op welke wijze en met welke maatregelen het koelwater moet worden afgevoerd.

⁵ Een statisch dompelbad is een stationaire container, gevuld met water, om een voertuig voor langere tijd onder te dompelen.

Het onderdompelen van een batterijpakket of een hele auto is relatief simpel (zie paragraaf 1.4). De meeste auto's zullen direct of na enige tijd vollopen, waardoor zij zinken en de batterijcellen, het batterijpakket en/of de constructie gekoeld worden, doordat ze zich onder de waterlijn bevinden. Echter zijn er ook auto's die door de wijze van constructie een positief drijfvermogen hebben, veroorzaakt door holle kokerbalken en rolkooien van carbon. Dit kan er mogelijk voor zorgen dat het water niet (optimaal) het batterijpakket kan bereiken. Auto's zullen dan verzwaard moeten worden of worden ondergeduwd door een kraan.

1.4 De inzet van dompelcontainers

In deze paragraaf wordt allereerst ingegaan op het aantal inzetten waarbij tot nog toe een dompelcontainer is ingezet. Vervolgens wordt ingegaan op de werkwijze van de bergingsbedrijven en de eventueel daarbij behorende samenwerking met de brandweer. Hiertoe wordt per deel van de inzet (alarmering, afhandeling ter plaatse, transport en handelingen bij het bergingsbedrijf) de vergaarde informatie weergegeven. Als laatste wordt ingegaan op de persoonlijke beschermingsmiddelen die door de bergingsbedrijven worden gebruikt.

1.4.1 Aantallen inzetten

Tot op het moment van onderzoek (november 2020) zijn er drie bergingsbedrijven in actie gekomen om elektrische voertuigen te bergen. Uit cijfers van het eerste bedrijf komt naar voren dat dit jaarlijks circa vijfentwintig keer met de dompelcontainer in actie komt om een elektrisch voertuig te bergen en vervolgens onder te dompelen. Het tweede bedrijf is tot nu toe één keer ingezet. Een derde bedrijf is ingezet met de dompelcontainer voor het bergen van een te water geraakt voertuig.

Het eerste bedrijf geeft aan dat het tot nu toe alleen in actie is gekomen op afroep van de brandweer: het is nog niet ter plaatse gekomen bij een incident waar het batterijpakket in thermal runaway was én geen brandweer aanwezig was.⁶ Het voornaamste deel van de inzetten betrof voertuigbranden. In enkele gevallen betrof het een ongeval met een brand tot gevolg. Daarnaast is hetzelfde bergingsbedrijf circa tien keer in actie gekomen om een elektrisch voertuig te bergen waarbij door de mate van beschadiging aan het voertuig het risico bestond dat het batterijpakket in thermal runaway kon raken. Dit gebeurde met de zogenaamde 'salvagecontainer' (zie paragraaf 2.1). In deze gevallen is het voertuig niet ondergedompeld.

Bij één bedrijf is de dompelcontainer tot nu toe alleen voor een ander doeleinde ingezet dan brandbestrijding: het vervoer van een te water geraakt voertuig op verzoek van de politie. Hierdoor bleven de sporen bewaard in de container. Andere door het IFV benaderde bergingsbedrijven waren ten tijde van het onderzoek (november 2020) nog niet in actie gekomen om elektrische voertuigen te bergen en onder te dompelen.

⁶ Ondanks dat bij alle inzetten van de dompelcontainers tot nog toe de brandweer aanwezig was, is haar aanwezigheid geen vereiste. In de lopende gesprekken met de bergers en verzekeraars benadrukt de brandweer dus steeds dat de berger zelf in staat moet zijn om te bepalen of de inzet van een dompelcontainer (of salvagecontainer) nodig is. De bergers ondersteunen deze oproep.

1.4.2 Werkwijze bij de inzet van een dompelcontainer

Binnen Nederland worden verschillende werkwijzen gehanteerd bij het inzetten van een dompelcontainer. In deze deelparagraaf wordt ingegaan op de bij de onderzoekers bekende werkwijzen.

Alarmering

Alle bergers geven aan dat zij via de bestaande procedures worden gealarmeerd. Dit betekent dat de bergingsbedrijven worden gealarmeerd door de alarmcentrales van politie / brandweer. Directe alarmering door de brandweer op de incidentlocatie is bij geen van de bergers van toepassing

Incidentlocatie

Drie bergingsbedrijven hanteren als procedure dat zij het bij de brand betrokken voertuig overnemen van de brandweer als de brandweer de vlammen van het voertuig gedoofd heeft. Hierop takelt of liert het bergingsbedrijf, in samenspraak met de brandweer, het elektrische voertuig in de dompelcontainer.

Een andere groep bergingsbedrijven hanteert eveneens als uitgangspunt dat de vlammen gedoofd dienen te zijn voordat het voertuig in de dompelcontainer wordt getakeld. In verband met de vrijkomende gassen van een thermal runaway gebeurt het aanhaken van het voertuig door brandweerpersoneel met adembescherming.

Transport

Bij een van de bergingsbedrijven wordt over de container voor het transport een tot 1000°C brandwerend doek getrokken. Indien het voertuig tijdens het rijden (opnieuw) in thermal runaway raakt, dient het doek ter voorkoming van afwaaiend plastic en beperking van eventueel vrijkomende rook. Raakt het voertuig tijdens de rit inderdaad in thermal runaway, wordt de container ter plaatse afgeladen en de brandweer gealarmeerd om de brand te doven en de container eventueel ter plaatse te vullen met water. Hierbij moet worden opgemerkt dat de chauffeur het in thermal runaway raken alleen kan constateren doordat hij rook waarneemt tijdens het rijden.

Bij een samenwerkingsverband tussen vier bergers wordt het elektrische voertuig in de dompelcontainer getransporteerd naar één locatie, waar de containers worden gestald. Daarbij rijdt een brandweervoertuig (tankautospuiter of waterwagen, ter beoordeling van de lokale Officier van Dienst) met de berger mee naar het depot. Indien het voertuig onderweg naar het depot opnieuw ontbrandt, zal geprobeerd worden met zo weinig mogelijk bluswater de brand te blussen, zodat het transport voortgezet kan worden. In het uiterste geval zal de bergingsbak worden neergezet en langs de weg met water worden gevuld.

Bij een andere samenwerking tussen brandweer en bergingsbedrijf maakt de brandweer de afweging, mede middels een warmtebeeldcamera, of het accupakket stabiel is of niet. Vervolgens wordt het voertuig in de dompelcontainer geplaatst. De brandweer rijdt daarbij niet achter de dompelcontainer aan, tenzij zij vermoedt dat er een serieus risico is op herontbranding onderweg.

In verband met de rijveiligheid wordt er door bijna alle bedrijven aangegeven dat zij te allen tijde zonder of met minimaal water in de container rijden. Alleen het bergingsbedrijf met de truck-oplegger combinatie geeft aan met een laag water van circa 50 centimeter te kunnen rijden, omdat de oplegger het gewicht van het water kan dragen.

Bij het bergingsbedrijf

Na het transport komt het voertuig bij het bergingsbedrijf aan. Daar wordt het, in afwachting van verdere afhandeling, gestald. Bij één bergingsbedrijf wordt het voertuig waarbij het accupakket betrokken is bij de brand vanuit de dompelcontainer in een stationaire waterbak op het terrein van de berger geplaatst voor de duur van vijf dagen. De (locatie van) de stationaire waterbak is opgesteld in nauw overleg met de lokale veiligheidsregio; daarnaast is er een 24/7 videomonitoring van de locatie. Indien het elektrisch voertuig alleen beschadigd is en niet gebrand heeft, wordt het gestald tussen hekken met daarop brandvertragende doeken. Middels videobewaking worden deze locaties gemonitord.

Bij het eerder genoemde samenwerkingsverband van vier bergers wordt de keuze voor het daadwerkelijk vullen van de container bij het bergingsbedrijf tezamen met de brandweer gemaakt, die de beschikking heeft over een warmtebeeldcamera. Ook het feitelijk onderdompelen (vullen van de container) vindt in samenwerking met de brandweer plaats. Hierover zijn van tevoren afspraken gemaakt tussen het bergingsbedrijf en de brandweer. Een ander bergingsbedrijf heeft een soortgelijke samenwerking: daar wordt de auto gestald in de container, die, indien daar aanleiding toe is, met water wordt gevuld. Daar is de afspraak dat de brandweer regelmatig de temperatuur komt controleren met een warmtebeeldcamera.

Bij een ander bergingsbedrijf maakt de berger op de stallingslocatie de keuze of het voertuig voor langere tijd ondergedompeld moet worden in een grote waterbak of op een veilige plaats gestald wordt. Indien dit laatste het geval is en het voertuig (opnieuw) tot herontbranding komt, zal – eventueel in samenwerking met de brandweer – het voertuig alsnog worden ondergedompeld.

1.4.3 Persoonlijke beschermingsmiddelen

Een drietal bergingsbedrijven maakt tijdens de werkzaamheden (mits er sprake is/was van een thermal runaway) gebruik van diverse persoonlijke beschermingsmiddelen om veilig te werken rondom het elektrische voertuig. Het gaat hierbij om 1000V-handschoenen, dampmaskers met een voor deze toepassing geëigend filter, een wegwerpoveral, een veiligheidsbril en veiligheidsschoenen. Daarnaast beschikt het bergingspersoneel over een redhaak.

Een andere groep bergingsbedrijven is ten tijde van het onderzoek bezig het personeel op te leiden om correct om te kunnen gaan met elektrische voertuigen, aldus de projectleider van de brandweer. Deze bergers beschikken over persoonlijke beschermingsmiddelen in de vorm van 1000V-handschoenen. Een ander bedrijf is ten tijde van dit onderzoek nog bezig te bepalen welke persoonlijke beschermingsmiddelen het gaat toepassen.

1.4.4 Samenvattend

In onderstaande tabel 1.1 zijn de verschillende werkwijzen kort samengevat. Per incidentfase (alarmering, incidentlocatie, etc.) zijn de verschillende werkwijzen onder elkaar weergegeven. Er is geen horizontale rangschikking.

Tabel 1.1 Werkwijzen

Alarmering	Incidentlocatie	Transport	Bij bergingsbedrijf	PBM's
Via meldkamer brandweer / politie	Na vlammen gedoofd: aanhaken door bergingspersoneel	In container onder brandwerend doek	In stationaire dompelcontainer, voorzien van camerabewaking	Dampmasker, 1000V-handschoenen, wegwerpoveral, veiligheidsbril, redhaak
	Na vlammen gedoofd: aanhaken door brandweer met ademlucht	In container, altijd onder begeleiding van de brandweer	In dompelcontainer; afvullen geschiedt door de brandweer	1000V-handschoenen
		In container, bij grote kans op herontsteking onder begeleiding van de brandweer	In dompelcontainer op gemonitorde locatie, berger maakt keuze tot afvullen	Ten tijde van onderzoek nog verkennende fase
		Transport zonder water in de container, uitgezonderd truck-oplegger combinatie	Voertuig gestald tussen betonblokken	
		Bij herontbranding brandweer waarschuwen en eventueel container afzetten	Voertuig gestald tussen hekken met brandwerende doeken	

Uit bovenstaande tabel kan worden afgeleid de verschillende bergingsbedrijven een diversiteit aan werkwijzen hanteren als het gaat om het aanhaken, transport en stallen van het elektrische voertuig / de dompelcontainer op de stallingslocatie bij het bergingsbedrijf. Ook zit er een verschil tussen de bergingsbedrijven in het voorgeschreven gebruik van persoonlijke beschermingsmiddelen.

Vanuit Brandweer Nederland, Rijkswaterstaat, het Verbond van Verzekeraars en de bergingsbranche wordt op dit moment gewerkt aan een gezamenlijke richtlijn voor de inzet van dompelcontainers, waarmee naar verwachting de procedures van de verschillende bergingsbedrijven worden geharmoniseerd. De verwachte opleverdatum van deze richtlijn is 1 april 2021.

2 Verkenning van alternatieven

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de tweede en derde onderzoeksvraag: de verkenning van alternatieven voor de inzet van dompelcontainers (eventueel nog in ontwikkeling). De alternatieven hebben als doel om de bestrijding van branden in het batterijpakket mogelijk te maken. Voor de eerder beschreven scenario's⁷ worden enkele alternatieven aangedragen: de salvagecontainer, de Cobra Coldcutter, de e-Bluslans, mobiele sprinklers, een mobiel waterbad, brandwerende dekens en het gecontroleerd uit laten branden van het voertuig. Daarnaast komen in de laatste paragraaf nog twee potentieel interessante oplossingsrichtingen aan bod.

2.1 Salvagecontainer

Een bergingsbedrijf in Nederland heeft de beschikking over een bergingscontainer die de 'salvagecontainer' genoemd wordt.⁸ Deze container, die wordt getransporteerd middels een haakarmchassis, is bedoeld om elektrische voertuigen die betrokken zijn geweest bij een verkeersongeval te kunnen vervoeren. Het batterijpakket van het betrokken voertuig is op dat moment *niet* in thermal runaway, maar door de impact bestaat wel het risico dat dit kan gebeuren. Het is volgens het bergingsbedrijf onwenselijk dat dergelijke verdachte voertuigen achterop een regulier bergingsvoertuig worden vervoerd. Derhalve heeft het bedrijf de salvagecontainer aangeschaft. Daarnaast kan de salvagecontainer worden gebruikt om voertuigen of losse batterijpakketten te vervoeren, waarvan het vermoeden bestaat dat ze elektrisch of mechanisch zijn beïnvloed, waardoor het batterijpakket mogelijk instabiel is.

⁷ Scenario 1a: Brand in een elektrisch personenvoertuig waarbij het accupakket onomstotelijk is betrokken bij de brand. Het voertuig is in dit scenario goed bereikbaar.

Scenario 1b: Brand in een elektrisch personenvoertuig in een parkeergarage, waarbij het accupakket onomstotelijk is betrokken bij de brand.

Scenario 2: Brand / ongeval waarbij het vermoeden bestaat dat het accupakket is gemanipuleerd, maar waarbij onbekend is of dit accupakket opwarmt en mogelijk in thermal runaway raakt.

⁸ Niet te verwarren met de oranje dompelcontainer die eveneens salvagecontainer wordt genoemd. In dit onderzoek worden deze oranje salvagecontainers gezien als dompelcontainer. De salvagecontainer is in dit onderzoek een vervoerscontainer voor elektrische voertuigen die niet de mogelijkheid heeft voertuigen onder te dompelen.



Afbeelding 2.1 Salvagecontainer (Foto: Vreugdenhil berging)

De salvagecontainer is voorzien van een uitschuifbare laadvloer, lier en aerosol blussysteem. Het bergingsbedrijf heeft gekozen voor aerosolblussing, om zo “tijd te kunnen winnen”, mocht het batterijpakket in thermal runaway raken. Indien een thermal runaway wordt gedetecteerd, treedt het aerosol blussysteem in werking. Het is vervolgens in verband met de aanwezigheid van de giftige gassen uit het batterijpakket aan de brandweer om de container – met gebruik van ademplucht – te openen en het voertuig uit de container te halen. Vervolgens wordt het voertuig alsnog in een dompelcontainer geplaatst.

Aerosol blussystemen

Een aerosol is een vloeistof of vaste stof die verspreid is door een gas als kleine deeltjes (nm tot μm). Aerosol blussystemen (generatoren) verspreiden in zeer korte tijd een hoeveelheid bluspoeder (aerosol) in de lucht met behulp van druk, bijvoorbeeld door verbranding, explosies of drukcilinders. De werking van het bluspoeder berust primair op de binding van radicalen, oftewel het afbreken van vlammen (Zhang, Ismail, Ahmadun, Abdullah, & Hee, 2015).

Bluspoeder heeft geen koelende werking. Hierdoor kan een aerosol geen thermal runaway bestrijden. Door het binden van radicalen kan een aerosol wel de vlammen aan de buitenzijde van een accupakket of de auto afbreken (Agafonov, Kopylov, Sychev, Uglov, & Zhyganov, 2004). Uit recent onderzoek blijkt dat aerosol blussystemen niet effectief zijn om de batterij te koelen en/of herontsteking te voorkomen (International Maritime Organization, 2020).

Aerosolen hebben na een blussing vaak zouten als residu. Dit is corrosief en kan daardoor nevenschade veroorzaken.

Een bergingsbedrijf is op dit moment bezig om een waterkoeler in te bouwen op de vloer van de salvagecontainer. Hiermee kan de brandweer – indien daar aanleiding toe is – aan de buitenkant een slang aansluiten om de koeler te voeden en het batterijpakket vanaf de onderkant te koelen. De werking hiervan wordt besproken in paragraaf 2.4.

Thermal runaway in een besloten ruimte met een blussysteem

Een thermal runaway in een batterijpakket produceert een relevante hoeveelheid brandbaar en giftig gas. Indien deze gassen vrijkomen in een besloten ruimte zoals een container, ontstaat er potentieel een explosief mengsel (Underwriters Laboratories, 2020). Bij het openen van de toegang tot de besloten ruimte mengt het gasmengsel zich op met de lucht, met een mogelijke deflagratie (explosieve verbranding) van de aanwezige gassen tot gevolg. Een aerosolgenerator kan negatief bijdragen aan explosiviteit van het mengsel door het opmengen van brandstof en lucht.

Aerosolen zijn vanaf bepaalde (blijvende) concentraties in de lucht in staat om explosies te voorkomen (Krasnyansky, 2006; Kuikka & Pelastusopisto, 2015). Dit maakt het echter wel mogelijk dat meer brandbare gassen zich ophopen in de container. Zodra het aerosol neerslaat, neemt de explosiviteit van het luchtmengsel weer toe.

In Arizona (VS) heeft dit fenomeen plaatsgevonden in een Elektriciteit Opslag Systeem (EOS) (Underwriters Laboratories, 2020). Een van de aanwezige lithium-ion batterijen raakte in thermal runaway, waardoor de gassen vrijkwamen in de container. Hierdoor werd automatisch blusgas in de container ingebracht. Na verloop van loop van tijd heeft brandweerpersoneel de deur van de EOS geopend. Kort hierop vond een deflagratie plaats omdat het gasmengsel in het explosieve bereik kwam. Vier brandweermannen raakten hierdoor gewond.

2.2 Coldcutter

De Coldcutter is een hogedruk (300 bar) snij- en blussysteem waarmee in enkele seconden een gat kan worden gemaakt in de meeste materialen (NIFV, 2012). Hij wordt veelal ingezet om van buitenaf water in te kunnen brengen in een (brand)ruimte. In de eerste instantie wordt er door een lans een combinatie van water en snijgrit geperst, waarmee een gat wordt gemaakt. Op het moment dat het snijgrit het gat (circa 5mm) heeft gemaakt, wordt uitsluitend een fijne waternevel in de betreffende ruimte gebracht.



Afbeelding 2.2 Cobra Coldcutter (bron: Brandweer Nederland)

Er zijn hierbij twee mogelijkheden in relatie tot elektrisch voertuigen: de coldcutter penetreert de bodemplaat en constructie van de auto en brengt water aan op de behuizing van de batterij, of de coldcutter penetreert ook de behuizing van de batterij en brengt waternevel aan op de batterijcellen.

Waternevel

Het effect van waternevel op lagere drukken in of nabij een batterij is inzichtelijk geworden door recent onderzoek (Willstrand et al., 2019). Het blijkt dat het aanbrengen van waternevel in de batterij direct op de cellen een goede kans geeft op een langdurig koelend effect, en hiermee op het voorkomen van propagatie van de thermal runaway naar andere cellen.

Het opbrengen van water op de behuizing van het batterijpakket had geen koelend effect of invloed op propagatie, maar zorgde wel voor het doven van vlammen die uit de batterij kwamen. Het bleek echter, dat er zonder koeling in de batterij relatief grote hoeveelheden gas blijven vrijkomen, waardoor het risico op herontsteking of explosie bestaat.

Gezien de beperkte ruimte in de batterij, bleek een laag debiet (liters per minuut) bij een langdurige inzettijd het meest effectief.

In Oostenrijk zijn experimenten gehouden om de Coldcutter in te zetten bij branden in batterijpakkets (KFZ Wirtschaft, 2019). Daarbij werd met het blussysteem een klein gat gemaakt in de wand van het batterijpakket, waarna er onder hoge druk water in het pakket werd ingebracht. De Coldcutter was daarbij effectief in het penetreren van de wand van het batterijpakket, maar had een destructief effect wanneer de wand eenmaal was gepenetreerd: door het onder hoge druk inbrengen van het water explodeerde een deel van de cellen uit het batterijpakket, waarbij sommige batterijen in het experiment tot meer dan een meter wegsprongen uit het batterijpakket. Deze methode draagt bovendien potentieel bij aan het vergroten van de milieuschade: er worden mogelijk aanvullende cellen kapot gemaakt, waardoor er meer toxische stoffen vrijkomen.

2.3 e-Bluslans

De e-bluslans (figuur 3.1) is een bluslans waarmee water door een speerachtige lans kan worden gepompt. De lans is geschikt om met een hamer in een object te slaan, waardoor een omhulsel of constructie wordt gepenetreerd, waarna er water wordt ingebracht. Het doel bij een batterijbrand is volgens de fabrikant van de e-bluslans om de lans door de omhulling van het batterijpakket te slaan en vervolgens de batterij onder water te zetten. De e-bluslans is elektrisch geïsoleerd om het brandweerpersoneel te beschermen en is geschikt voor voltages van minder dan 1000. (Murer Feuerschutz, 2020).

De bluslans wordt middels een slang gevoed vanaf het brandweervoertuig. De globale werkwijze is als volgt (Murer Feuerschutz, 2020):



Figuur 2.3 E-bluslans (bron: Murer, 2020)

- > Blus eerst externe vlammen. Wanneer de batterij geblust moet worden: prepareer de e-bluslans
- > Bepaal op basis van de rescuesheets het inslagpunt op de carrosserie. Zet druk op de waterleiding, zodat water stroomt, voorafgaand aan de inslag.
- > Sla met een hamer op de lans, zodat de punt van de lans de carrosserie doorboort en daarna doordringt tot in de omhulling van het batterijpakket. Wanneer de lans te diep gaat: herpositioneer deze.

Het Duitse onderzoeksinstituut DEKRA heeft experimenten uitgevoerd met de e-bluslans op zowel voertuigen als batterijpakketten. Alhoewel de lans in veel gevallen in staat is om de batterij te blussen en te koelen, blijkt in praktijktesten dat het penetreren van batterijcellen door gebruik van de lans ook kan zorgen voor een verslechtering van de situatie. Het risico bestaat dat batterijcellen die nog niet door brand dan wel thermal runaway beschadigd zijn, juist door het penetreren van de lans worden beschadigd worden en alsnog in thermal runaway raken.

DEKRA geeft bij het IFV aan dat verder onderzoek naar de inzet van de e-bluslans nodig is voordat deze (veilig) door de brandweer kan worden ingezet bij elektrische voertuigbranden.



Figuur 2.4 Demonstratie e-Bluslans (foto: screenshot uit Youtube-video E-Löschlanze von MURER-Feuerschutz)

Het gebruik van de e-bluslans draagt potentieel bij aan het vergroten van de milieuschade: er worden mogelijk aanvullende cellen kapot gemaakt, waardoor er meer toxische stoffen vrijkomen.

2.4 Mobiele sprinkler

Een mobiele sprinklerinstallatie is een (verplaatsbaar) systeem dat boven, tussen of onder personenvoertuigen kan worden geplaatst. Dit dient door brandweerpersoneel of middels een robot te gebeuren. Het kan ook stationair worden ingebouwd in bijvoorbeeld een parkeergarage of een container voor berging. Met het systeem kan branduitbreiding worden voorkomen door het boven of tussen objecten / voertuigen te plaatsen als een watergordijn. Het systeem biedt ook de mogelijkheid om onder een elektrische personenauto te worden geschoven.

Hiermee kunnen eventuele vlammen worden afgebroken en vrijkomende gassen worden 'gewassen'. Het systeem heeft hiervoor een constante stroom aan water nodig. Plaatsing van het systeem geschiedt door brandweerpersoneel.

In Denemarken is volgens het CTIF de brandweer uitgerust met een container, waarin dit systeem zit opgeslagen en bij incidenten ter plaatse kan worden gebracht. Het systeem heeft daar als voornaamste doelstelling de inzet in parkeergarages. Het Zweeds onderzoeksinstituut RI.SE heeft in september 2020 onderzoek gedaan naar de bruikbaarheid van mobiele sprinklers. De onderzoeksresultaten worden op korte termijn verwacht. RI.SE geeft aan dat een verdere ontwikkeling van de geteste mobiele sprinklers nodig is om deze praktisch bruikbaar te maken.

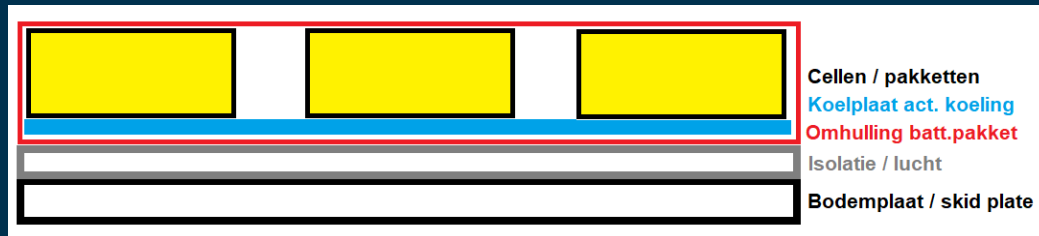
De mobiele sprinklers worden inmiddels op de markt gebracht door diverse fabrikanten. Er zijn echter geen testrapporten beschikbaar en/of bekend die de effectiviteit hiervan onderbouwen. Tot op heden zijn er voor zover bekend in andere landen geen experimenten gehouden waarin het koelend effect van de mobiele sprinkler op het batterijpakket is getest. Op basis van de theorie zoals in het blauwe kader hieronder beschreven, lijkt een dergelijke werkwijze niet effectief voor het koelen van een batterijpakket.



Figuur 2.5 Twee mobiele sprinklers (foto links: EnerSafe, rechts: RI.SE)

Koelen van het batterijpakket via de bodemplaat

Ieder type auto kent een andere constructiewijze. Samen met de integratie van het batterijpakket in de constructie is de constructiewijze van invloed op het warmtetransport tussen de bodemplaat van de auto en het batterijpakket. Als voorbeeld is in de figuur hieronder een schematische en sterk vereenvoudigde constructiewijze van een elektrisch voertuig weergegeven.



Het verlagen van de temperatuur van het batterijpakket door het koelen van de bodemplaat van de auto lijkt bij deze constructiewijze zeer onwaarschijnlijk. Dit komt doordat een batterijpakket geïsoleerd is om het te beschermen tegen temperatuursinvloeden. Ook zijn de cellen ingepakt in diverse omhullingen die warmtetransport bemoeilijken. Daarnaast is er vaak een bepaalde mate van lucht of isolatie aanwezig tussen de bodemplaat en het batterijpakket. Alles opgeteld resulteert dit in een sterk vertraagde vorm van warmtetransport tussen de cellen en de bodemplaat (transmissie), wat ervoor zorgt dat het koelen van de bodemplaat een gering en zeer traag effect heeft op het verlagen van de temperatuur van batterijcellen.

Het opbrengen van water op de bodemplaat en de carrosserie heeft mogelijk wel invloed op het koelen van de carrosserie en het voorkomen van een verdere branduitbreiding in het voertuig.

2.5 Mobiel waterbad

Het mobiele waterbad is in essentie een mobiele dompelcontainer. Het bestaat uit een systeem dat om het voertuig gebouwd kan worden en vervolgens met water kan worden gevuld indien hier aanleiding toe is. De werking is in basis gelijk aan die van de dompelcontainer.

Door de Finse Brandweeracademie is onderzoek gedaan naar een prototype van een mobiel dompelbad. Uit hun bevindingen komt naar het plaatsen van het systeem risico's met zich mee brengt, omdat brandweerpersoneel dicht bij het elektrische voertuig moet komen (zie ook paragraaf 1.1). Ook is het door mogelijke vlammen uit het batterijpakket risicovol om de verbindingen onder de auto door aan te brengen. Daarnaast kan bij plaatsing een oneffen oppervlakte het mobiele dompelbad lekkages vertonen.



Figuur 2.6 Mobile dospelcontainer (bron: Pelastusopiston)

2.6 Brandwerende deken

In Duitsland en Oostenrijk zijn op dit moment een tweetal brandwerende deken ontwikkeld voor het vervoer van elektrische auto's. De brandwerende deken uit Duitsland is toespitst op het vervoer van auto's waarvan het vermoeden bestaat dat het batterijpakket gemanipuleerd is. De brandwerende deken wordt op de grond uitgevouwen, zoals te zien in figuur 2.6, waarna de auto op de deken wordt gereden. De deken wordt vervolgens om de auto heen gevouwen, waardoor de auto ingepakt zit in de brandwerende deken.



Figuur 2.7 Demonstratie brandwerende deken (bron: screenshot uit [video LiBa@Rescue](#))

De deken is bestand tegen temperaturen van 1500°C en is zo gemaakt dat de gassen die vrijkomen bij een thermal runaway de deken kunnen verlaten, maar dat eventuele vlammen hiertoe niet de mogelijkheid hebben.

Bij een eventuele explosieve ontbranding van de rookgassen blijven, volgens de leverancier⁹, rondvliegende delen in de brandwerende deken.

De Oostenrijkse brandwerende deken werkt volgens hetzelfde principe: ook hiermee wordt de auto ingepakt. In tegenstelling tot het Duitse systeem is deze deken echter vast gemonteerd op een sleepvoertuig. De onderzijde van de deken wordt over het laadplatform uitgerold en het voertuig wordt op het laadplatform geplaatst, waarna de auto in de deken wordt ingepakt. Op dit moment zijn bij het IFV geen praktijkervaringen bekend met de inzet van deze brandwerende deken bij branden in elektrische voertuigen.

2.7 Overig

Naast de bovengenoemde technieken die kunnen worden ingezet, zijn er nog alternatieven die voor dit onderzoek relevant zijn. Dit zijn het gebruik van een 'brandweer vulopening', het gebruik van temperatuursensoren in of nabij het batterijpakket en het gecontroleerd uit laten branden van het voertuig.

2.7.1 Brandweer vulopening

Zoals eerder besproken, is het bij het blussen en koelen van een batterijpakket in thermal runaway van belang om het blusmiddel zo dicht mogelijk op de batterijcellen te krijgen. Interne koeling van de batterij is namelijk vele malen effectiever in het reduceren van de temperatuur in een batterijpakket dan externe koeling (Sun et al., 2020; Willstrand et al., 2019). Er is in de meeste types elektrische voertuigen echter geen toegang tot het batterijpakket. In eerdere samenwerkingen tussen brandweer en een autofabrikant is daarom een vulopening ontworpen om de batterij en de directe omgeving hiervan onder water te zetten (Petit Boulanger, Labadie, Poutrain, Gentilleau, & Bazin, 2016). Deze 'fireman access' is een opening onder de achterbank, waarvan de afsluitingen wegsmelten in geval van een brand. Via deze vulopening kan er water worden ingebracht via de ventilatieopeningen van de batterij (zie figuur 2.7).



Figuur 2.8 Brandweer vulopening in een Renault ZoE voor, tijdens en na een brandtest (Petit Boulanger et al., 2016)

Het gebruik van een vulopening kent een aantal voordelen: de batterij kan effectief gekoeld worden (de batterij en omgeving worden onder water gezet) en het hele voertuig hoeft niet ondergedompeld te worden. Ook is er direct zicht op de batterij, zodat eventueel met een warmtebeeldcamera kan worden gekeken of er na een blussing nog steeds sprake van hitteopbouw is. De keerzijde is, dat het al dan dien plaatsen van een vulopening een proactieve / preparatieve keuze is, die wel of niet door de fabrikant gemaakt wordt; slechts enkele types elektrische auto's zijn uitgerust met een dergelijke vulopening.

⁹ Zie: [Brandversuche \(gelkoh.de\)](http://Brandversuche.gelkoh.de).

Daarnaast is deze oplossing niet altijd bruikbaar bij incidenten vergelijkbaar met scenario 2 uit dit onderzoek, waarbij de afsluitingen niet zijn weggesmolten en er geen directe toegang tot de batterij is.

2.7.2 Temperatuursensoren

De exotherme kettingreactie die bij een thermal runaway ontstaat, zorgt voor een opwarming van het batterijpakket (Sun et al., 2020), wat op termijn leidt tot gasvorming en mogelijk vlammen. Van buitenaf is echter vaak onduidelijk of de batterij betrokken is bij het incident en hierdoor opwarmt. De constructie van de auto, de omhulling van het batterijpakket en de isolatie en/of koeling ervan voorkomen dat opwarming goed en snel kan worden waargenomen met bijvoorbeeld een warmtebeeldcamera. Wanneer bij een incident onduidelijk is of een batterij erbij betrokken is en opwarmt, wordt in de praktijk daarom vaak gekozen om voor de zekerheid het voertuig onder te dompelen.

Een mogelijke oplossing voor de onzekerheid over de betrokkenheid van het batterijpakket is het monitoren van de temperatuur middels sensoren. Deze temperatuursensoren zijn vaak aanwezig in de batterij en worden door het battery management system (BMS) gebruikt om de staat van de batterij te monitoren. Wanneer de sensoren kunnen worden uitgelezen, kan men op basis hiervan besluiten de auto wel of niet onder te dompelen. Het uitlezen kan met de aanwezige schermen op de auto. In veel gevallen zijn deze tijdens incidenten echter niet meer bruikbaar. Het is onbekend bij welke automerken het op afstand uitlezen van het BMS, en hiermee van de temperatuur van het batterijpakket mogelijk is.

Een andere mogelijkheid is het aanbrengen van temperatuursensoren zo dicht mogelijk bij het batterijpakket. Een goede plaats is onder de vloermatten op metalen delen boven de batterij, aangezien hier het snelst sprake is van warmtetransmissie. Een (subtiele) verhoging van temperatuur kan duiden op een (vertraagde) start van een thermal runaway. Juist door dergelijke sensoren kunnen minimale opwarmingen worden gedetecteerd. Dergelijke sensoren kunnen van nut zijn bij transport door de berger; door tijdens de rit de temperatuur te monitoren krijgt deze een indicatie of de batterij mogelijk onderweg instabiel wordt. Neemt de temperatuur toe, dan is er aanleiding om te parkeren, de elektrische auto af te zetten en de brandweer te bellen. Door deze sensoren is een het mogelijk om een ingewikkelde transportmethode zoals in een dompel- of salvagecontainer te voorkomen. Wel moet opgemerkt worden dat een dergelijke toepassing van sensoren nog niet onderzocht is, en dus zal moeten worden ontwikkeld en getest alvorens te kunnen worden toegepast.

2.7.3 Gecontroleerd uit laten branden

Een minder voor de hand liggend alternatief voor de inzet van de dompelcontainer is het geheel laten uitbranden van het elektrisch voertuig. Hierdoor raakt de batterij relatief gezien het snelst al haar energie kwijt. Hoe langer de batterij heeft gebrand, hoe minder energie in het batterijpakket aanwezig is, en hoe minder energie er daarmee beschikbaar is voor herontsteking. Dit kan worden verklaard door de hoeveelheid elektrolyt die opgebrand is, waardoor de redoxreactie in de batterij wordt verstoord. Na circa anderhalf uur brandtijd (in laboratoriumomstandigheden) komen er geen vlammen meer uit een batterijpakket (NFPA, 2013; Lecocq et al., 2014). Een bij brand betrokken batterijpakket kan echter nog tot meer dan vierenhalf uur na brand warmte uitstralen (NFPA, 2013).

Daarbij moet worden opgemerkt dat de praktijk weerbarstiger is dan laboratoriumomstandigheden en dat het langer kan duren voor een elektrisch voertuig volledig is uitgebrand. Zo kwamen bij de brand in de Singelgarage in Alkmaar na meer dan twee uur nog vlammen uit het batterijpakket van het bij de brand betrokken elektrisch voertuig (Brandweeracademie, 2020).

Het gecontroleerd uit laten branden kan potentieel gevolgen hebben voor de gezondheid en het milieu in het benedenwinds gebied. Alhoewel de concentraties bijtende en toxische gassen en zware metalen afhankelijk zijn van diverse factoren, geven testen van de milieuongevallendienst van het RIVM aanleiding om deze optie niet direct te kiezen.

3 Beoordeling van dompelcontainers en hun alternatieven

In dit hoofdstuk worden per scenario de besproken technieken en de dompelcontainer beoordeeld op hun invloed per criterium bij de scenario's. De alternatieven worden beoordeeld op basis van de criteria in de onderstaande tabel 3.1.

Tabel 3.1 Criteria bij het beoordelen van de verschillende technieken

Criterium	Omschrijving
Veiligheid brandweerpersoneel	Onder 'veiligheid brandweerpersoneel' worden de gevaren verstaan van de inzet van deze techniek voor de gezondheid van brandweerpersoneel. Denk daarbij aan toxische verbrandingsproducten, hoge temperaturen en wegschietende fragmenten. De noodzakelijke aanwezigheid nabij het voertuig (verblijftijd) en het benodigd aantal brandweermensen nabij het voertuig zijn ook van invloed op dit criterium.
Veiligheid bergingspersoneel	Onder 'veiligheid bergingspersoneel' worden de gevaren verstaan van de inzet van deze techniek voor de gezondheid van bergingspersoneel. Denk daarbij aan toxische verbrandingsproducten, hoge temperaturen en wegschietende fragmenten. De noodzakelijke aanwezigheid nabij het voertuig (verblijftijd) en het benodigd aantal personen van de berger nabij het voertuig zijn ook van invloed op dit criterium.
Koelend effect	Onder 'koelend effect' wordt de mate verstaan waarin de techniek de propagatie van de brandontwikkeling in het batterijpakket (thermal runaway) vertraagt / stopt.
Nevenschade voertuig	Onder 'nevenschade voertuig' wordt verstaan de schade die de inzet van de techniek <i>extra</i> oplevert bovenop de schade die er toch al is aan het voertuig.
Milieu-belasting	Onder 'milieubelasting' wordt verstaan de verontreiniging van grond / lucht / water als gevolg van de inzet van de techniek, naar aard en omvang.
Inzettijd	Onder 'inzettijd' wordt verstaan de tijd die het kost om de techniek in te zetten, vanaf het moment dat hiertoe besloten wordt.
Praktische toepasbaarheid	Onder 'praktische toepasbaarheid' wordt verstaan het gemak waarmee de techniek juist kan worden ingezet, waarbij het gaat om de speciale handeling / opleidingen / beschikbaarheid die noodzakelijk zijn om de techniek in te kunnen zetten.

De beoordeling vindt plaats op de volgende wijze:

- Zeer negatieve invloed
- Negatieve invloed
- +/- Gemiddelde invloed
- + Positieve invloed
- ++ Zeer positieve invloed.

De beoordeling vindt plaats op basis van literatuur en expert opinion (intersubjectiviteit). De experts zijn meerdere onderzoekers en lectoren van het Instituut Fysieke Veiligheid. Gezamenlijk zijn zij tot onderstaande beoordeling gekomen van elk van de in hoofdstuk 2 besproken alternatieven. De beoordeling vond plaats uitgaande van 'ceteris paribus'. Concreet: de inzet van de maatregel c.q. het blusmiddel c.q. is de enige verandering; de overige omstandigheden blijven gelijk. Er wordt daarbij dus geen rekening gehouden met toekomstige doorontwikkelingen van voertuigen of een combinatie van meerdere middelen.

In de scenario's wordt geen rekening gehouden met eventuele nevenschade als gevolg van het takelen en/of lieren van het voertuig in een container. De scenario's zijn slechts bedoeld als hulpmiddel om te komen tot een beoordeling van de (diverse alternatieven voor de) dompelcontainer. De argumentatie bij de beoordeling van scenario 1a is te vinden in bijlage 1, van scenario 1b in bijlage 2 en van scenario 2 in bijlage 3.

3.1 Scenario 1a: brand in accupakket, voertuig goed bereikbaar

In scenario 1, brand in een elektrisch personenvoertuig waarbij het accupakket onomstotelijk is betrokken bij de brand en het voertuig goed bereikbaar is, is langdurige koeling van het accupakket noodzakelijk om de thermal runaway tot stoppen te brengen (IFV, 2020). In dit scenario wordt het voertuig als total loss beschouwd door de brand. De volgende werkwijze wordt als uitgangspunt genomen: de brandweer blust het voertuig af. In samenwerking tussen brandweer en berger wordt het voertuig aangepikt. De berger rijdt vervolgens zonder begeleiding van de brandweer en zonder water in de container naar het bergingsbedrijf, waar het voertuig wordt gestald en de container door de berger met water wordt gevuld. De functie van de maatregel is het tegengaan van verdere propagatie van de thermal runaway en het koelen van de in thermal runaway geraakte cellen. Deze techniek wordt dus in werking gezet op het moment dat de vlammen van de autobrand gedoofd zijn.

De kolom uiterst rechts van tabel 3.2 geeft een, zij het simpele, samenvatting van een eindscore (elke indicator telt even zwaar mee, elke '+' is 1 punt, elke '-' -1 punt, en het totaal van plussen en minnen is opgeteld en gedeeld door het aantal van toepassing zijnde criteria).

Tabel 3.2 De beoordeling van de verschillende technieken bij scenario 1a

Techniek	Veiligheid brandweerpersoneel	Veiligheid berging spersoneel	Koelend effect	Neven schade voertuig	Milieu belasting	Inzettijd	Praktische toepasbaarheid	Ranking (aantal punten/aantal indicatoren)
Plaatsing en eventueel onderdempelen in dompelcontainer	+-	-	++	N.v.t.	++	-	+	3/6
Cobra Coldcutter	-	N.v.t.	++	N.v.t.	+-	+	--	0/5
e-Bluslans	-	N.v.t.	++	N.v.t.	+-	+	--	0/5
Mobiele sprinkler	+-	N.v.t.	-	N.v.t.	-	+-	+-	-2/5
Salvagecontainer	--	--	--	N.v.t.	+-	--	++	-6/6
Plaatsing en eventueel onderdempelen in mobiel waterbad	--	--	++	N.v.t.	++	--	+-	-2/6
Brandwerende deken	-	--	--	N.v.t.	+	+	+ -	-3/6
Gecontroleerd uit laten branden	++	++	--	N.v.t.	--	-	++	1/6

De conclusie op basis van deze tabel luidt dat het onderdempelen van een voertuig waarbij het batterijpakket instabiel is, goed scoort. De scores voor de effectiviteit van de koeling en milieubelasting dragen hier sterk aan bij. Alternatieve maatregelen scoren relatief slecht. Gecontroleerd uit laten branden is een optie, maar sterk afhankelijk van de locatie waar het voertuig brandt.

3.2 Scenario 1b: brand in accupakket, voertuig lastig bereikbaar

In scenario 1b, brand in een elektrisch personenvoertuig *in een parkeergarage*, waarbij het accupakket onomstotelijk is betrokken bij de brand, is een handeling vereist om het voertuig zo veilig mogelijk uit de parkeergarage te krijgen. Koeling van het accupakket is nodig om de thermal runaway tot stoppen te brengen of te vertragen.

In dit scenario wordt het voertuig als total loss beschouwd door de brand. De volgende werkwijze wordt als uitgangspunt genomen: de brandweer blust het voertuig af en koelt eventueel ernaast geparkeerde voertuigen.

De functie van de techniek is het stabiliseren van de situatie: herontsteking van het voertuig voorkomen, tegengaan van verdere propagatie van de thermal runaway, het koelen van de in thermal runaway geraakte cellen en reduceren van de vrijkomende concentraties schadelijke gassen. De technieken worden dus ingezet op het moment dat de vlammen van de autobrand gedoofd zijn. Vervolgens is het doel om het gestabiliseerde voertuig uit de parkeergarage te krijgen. Eenmaal uit de garage is scenario 1a van toepassing. De maatregelen zijn dus ter overbrugging tot de vervolgactie: het uit de parkeergarage halen van het voertuig.

De dompelcontainer en salvagecontainer zijn middelen die niet in de garage worden toegepast; zij worden derhalve buiten de beoordeling gelaten. Gecontroleerd laten uitbranden is niet mogelijk vanwege de thermische impact van de brand op de constructie, overslag naar andere voertuigen, het teniet doen van brandpreventiemaatregelen en de gevolgen van het uitbranden voor de omgeving.

De kolom uiterst rechts van tabel 3.3 geeft een, zij het simpele, samenvatting van een eindscore (elke indicator telt even zwaar mee, elk '+' is 1 punt, elke '-' -1 punt, en het totaal van plussen en minnen is opgeteld en gedeeld door het aantal van toepassing zijnde criteria).

Tabel 3.3 De beoordeling van de verschillende technieken bij scenario 1b

Alternatief	Veiligheid brandweer-personeel	Veiligheid Berging spersoneel	Koelend effect	Neven-schade voertuig	Milieu-belasting	Inzettijd	Praktische toepasbaarheid	Ranking (aantal punten/aantal indicatoren)
Cobra Coldcutter	--	N.v.t.	++	N.v.t.	+	+	-	1/5
e-Bluslans	--	N.v.t.	++	N.v.t.	+	+	-	1/5
Mobiele sprinkler	+-	N.v.t.	-	N.v.t.	+-	++	+	2/5
Plaatsing en onderdompelen in mobiel waterbad in de garage	-	NVT	++	N.v.t.	++	--	--	-1/5
Brandwerende deken	+-	NVT	--	N.v.t.	-	++	+	0/5

De conclusie op basis van deze tabel luidt dat het inzetten van een mobiele sprinkler in een parkeergarage het best beschikbare alternatief is in deze situatie. Daarbij springen vooral de relatief snelle inzettijd en de praktische toepasbaarheid uit het oog. De inzet van een mobiel waterbad scoort in vergelijking met de andere maatregelen het laagst, met name vanwege de lange tijd die nodig is om het systeem op te bouwen.

3.3 Scenario 2: accu mogelijk instabiel

In scenario 2, brand / ongeval waarbij het vermoeden bestaat dat het accupakket is gemanipuleerd (mechanisch, thermisch of elektrisch), maar waarbij onbekend is of het accupakket opwarmt en mogelijk in thermal runaway raakt, is het noodzakelijk om het voertuig op een veilige wijze af te voeren.

In dit scenario zijn de Cobra Coldcutter en de e-Bluslans niet meegenomen, omdat dit technieken zijn die puur gericht zijn op blussing van een brand in een batterijpakket, zodat zij niet inzetbaar zijn in dit scenario. Het koelend effect is in dit scenario niet van toepassing: het is immers onbekend of er sprake is van opwarming, en koeling is dus niet noodzakelijk. Mocht blijken dat het batterijpakket wél opwarmt en koeling tóch noodzakelijk is, gelden de maatregelen en beoordeling van scenario 1 als uitgangspunt.

De kolom uiterst rechts van tabel 3.4 geeft een, zij het simpele, samenvatting van een eindscore (elke indicator telt even zwaar mee, elk '+' is 1 punten, elke '-' -1 punt, en het totaal van plussen en minnen is opgeteld en gedeeld door het aantal van toepassing zijnde criteria).

Tabel 3:4 De beoordeling van de verschillende technieken bij scenario 2

Alternatief	Veiligheid brandweerpersoneel	Veiligheid bergingspersoneel	Koelend effect	Nevenschade voertuig	Milieubelasting	Inzettijd	Praktische toepasbaarheid	Ranking (aantal punten/aantal indicatoren)
Plaatsing zonder onderdompelen in dompelcontainer	++	+	n.v.t.	++	++	+	+	9/6
Mobiele sprinkler (preventieve plaatsing)	++	++	n.v.t.	+	++	+/-	+/-	7/6
Salvagecontainer	++	-	n.v.t.	++	++	+	+	7/6
Plaatsing zonder onderdompelen in mobiel waterbad	+	+/-	n.v.t.	++	++	--	-	2/6
Brandwerende deken	+	+/-	n.v.t.	++	++	+	+/-	6/6
Niks doen en monitoren	++	++	n.v.t.	++	++	--	--	4/6

De conclusie op basis van deze tabel luidt dat diverse technieken relatief goed scoren: de dompelcontainer, mobiele sprinkler, salvagecontainer en brandwerende deken. Ze zijn relatief veilig, leveren weinig nevenschade op en beperken de milieubelasting.

4 Beantwoording van de onderzoeksvragen

In dit hoofdstuk worden de onderzoeksvragen beantwoord.

1. Bij welke situaties en incidenten worden dospelcontainers nu gebruikt ter voorkoming of bestrijding van een batterijbrand (bij elektrische voertuigen)?

Tot op heden zijn de dospelcontainers ingezet op verzoek van de brandweer bij branden in elektrische voertuigen. Het protocol van bergingsbedrijven is dat de dospelcontainer ter plaatse komt in geval van manipulatie van het batterijpakket, bijvoorbeeld bij een aanrijding. Daarbij wordt de dospelcontainer gebruikt als vervoersmiddel en eventueel stallingslocatie. De container wordt daarbij in principe niet op plaats incident met water gevuld door de berger of brandweer, tenzij op een later tijdstip opwarming van het batterijpakket wordt geconstateerd. De onderdamping vindt plaats op de stallingsplaats van het bergingsvoertuig.

2. Op welke wijze is een dospelcontainer in staat om een incident met een batterij onder controle te brengen?

Een dospelcontainer is in staat om door het koelen van cellen, van de omhulling van het batterijpakket en/of de omliggende carrosserie de temperatuur te stabiliseren en verdere propagatie van een thermal runaway te voorkomen. Ook wast het water in de dospelcontainer een aanzienlijk deel van schadelijke stoffen uit de vrijkomende gassen. De effectiviteit van de dospelcontainer is afhankelijk van de mate waarin het water het batterijpakket en de batterijcellen kan bereiken. Het gebruik van een dospelcontainer is relatief eenvoudig, maar brengt wel potentiële risico's en/of complicaties met zich mee. Denk hierbij aan het ontstaan van waterstofgas, vervuiling van het water en het blijven drijven van de auto. Het is zaak voor de berger en in het verlengde hiervan voor de brandweer om zich bewust te zijn van deze (aanvullende) risico's.

De inzet van dospelcontainers is effectief indien het batterijpakket bij de brand betrokken is geweest. Zoals aangegeven bij de eerste onderzoeksvraag zijn de dospelcontainers tot op heden alleen ingezet bij incidenten waarbij het zeer waarschijnlijk was dat het batterijpakket in thermal runaway was. In gevallen waarbij onduidelijk is of de batterij in thermal runaway is geraakt (of dreigt te raken) kan een dospelcontainer worden ingezet als vervoersmiddel en stallingslocatie. Daarbij hanteren de bergers als uitgangspunt dat de container niet wordt gevuld met water, tenzij een temperatuurverhoging of gasuitstroom wordt waargenomen. Er zijn geen casussen bekend waarbij het elektrische voertuig onnodig is ondergedompeld.

3. Welke alternatieve maatregelen bestaan er in de verschillende situaties ter bestrijding van het incident, en hoe werken ze?

Voor zowel de situaties waar de batterij (zeer waarschijnlijk) betrokken is, als de situaties waar het batterijpakket (mogelijk) mechanisch is gemanipuleerd, zijn momenteel enkele alternatieve technieken beschikbaar. Deze alternatieven zijn:

- > Cobra Coldcutter
- > e-Bluslans
- > mobiele sprinkler
- > mobiel waterbad
- > salvagecontainer
- > brandwerende deken
- > gecontroleerd uit laten branden
- > 'niks doen' en monitoren.

4. Hoe 'scoren' deze alternatieven ten opzichte van de dompelcontainer bij het bestrijden van de gevolgen van incidenten met elektrische voertuigen?

Uit de beoordeling op basis van literatuur en expert opinion is naar voren gekomen dat plaatsing en eventueel onderdompelen in een dompelcontainer de beste oplossing is in geval van brand in een elektrisch voertuig waarbij de batterij (waarschijnlijk) betrokken is. In vergelijking met de andere maatregelen is het middel relatief veilig voor brandweer- en bergingspersoneel, heeft het een groot koelend effect en is de milieubelasting beperkt, omdat gassen en metalen grotendeels worden uitgewassen door het water en het water opgeslagen blijft in de container, waardoor het eenvoudig af te voeren is. Indien het voertuig op een lastig bereikbare plaats staat, bijvoorbeeld in een parkeergarage, is een mobiele sprinkler het best beschikbare middel. Daarbij springen vooral de relatief snelle inzetijd en de praktische toepasbaarheid in het oog.

Tevens is gebleken dat het gebruik van de dompelcontainer als vervoersmiddel, dus zonder onderdompelen, het best beschikbare middel is voor het veilig vervoeren van een voertuig waarvan onbekend is of het batterijpakket is gemanipuleerd. Bergings- en eventueel brandweerpersoneel hoeft zich slechts korte tijd in de buurt van het voertuig op te houden, waardoor de container relatief veilig in gebruik is. Ook zijn dompelcontainers snel in te zetten en zijn in vergelijking met de andere maatregelen praktisch toepasbaar in het scenario waarbij onbekend is of het batterijpakket is gemanipuleerd.

5 Duiding

De dompelcontainer is niet voor niets een middel dat wordt ingezet bij de bestrijding van incidenten met elektrische voertuigen met een (vermeende) betrokkenheid van het batterijpakket. De container scoort goed op koelend effect en milieubelasting en is relatief veilig inzetbaar op goed bereikbare plekken. Wel kan het op dit moment even duren voor de container daadwerkelijk inzetgereed is, vanwege de mogelijk lange aanrijtijd. Door een grotere landelijke dekking van dergelijke containers zal de aanrijtijd aanzienlijk verkorten.

De grote mate van waterdichtheid en isolatie van batterijpakketten brengt behoorlijke complicaties voor de brandweer met zich mee: zowel voor wat betreft de koeling van de batterijcellen alsook de temperatuurwaarneming. Een warmtebeeldcamera geeft geen uitsluitsel aan de brandweer of berger over de temperatuur in het batterijpakket (wel over temperatuurverschillen). Daarnaast zorgt de goede isolatie van het batterijpakket voor een mogelijk vertekend beeld van de temperatuur in het pakket.

Bij een inzet van de genoemde alternatieven in dit rapport wordt er 'stilzwijgend' van uitgegaan dat de brandweer weet wat er gebeurd is en wat gaande is in de batterij. In de praktijk is dat echter veelal niet het geval. Hierdoor worden er nu bij incidenten vaak maatregelen genomen 'voor de zekerheid' die potentieel veel materiele en financiële schade veroorzaken. Dit geldt voor nagenoeg alle mogelijke alternatieven besproken in dit rapport.

Deze complicaties, en derhalve eventueel onnodige nevenschade, kunnen beperkt worden door al in het ontwerp van de batterijen van elektrische voertuigen rekening te houden met incidenten. Een mogelijkheid is om een extern eenvoudig bereikbare vulopening aan te brengen in het batterijpakket: alleen de batterij wordt dan gevuld met water, waarmee aanvullende schade aan het voertuig wordt voorkomen, en tegelijkertijd een 'optimale' koeling plaatsvindt. Een andere mogelijkheid is om de temperatuur in de batterijpakketten uitleesbaar te maken of direct ter beschikking te stellen aan hulpverleners. Het is daarom zaak voor autofabrikanten, bergers, brandweer, verzekeraars en overheid om samen te zorgen dat bij het ontwerpen van voertuigen en batterijpakketten gewerkt wordt aan het reduceren van genoemde complicaties.

Tot slot spreken we in dit rapport van hulpverleners. Dat zijn naast de overheidsdiensten (brandweer, politie, ambulance) natuurlijk ook de bergers. Hun taken, scholing en persoonlijke bescherming zijn anders dan die van de brandweer. De veiligheidsrisico's zijn er echter wel degelijk ook voor hen. Die risico's zijn anders dan voorheen met enkele fossiel aangedreven voertuigen. De kennis over die risico's, de eigen invloed daarop en mogelijke bescherming ertegen verdienen extra aandacht. Het is daarom belangrijk ervoor te zorgen dat bergers weten wanneer er voor hen een risico ontstaat, en op welke manier ze daarmee om kunnen gaan. Denk hierbij aan het herkennen van signalen, bovenwinds blijven, bepalen wanneer de brandweer gebeld moet worden, kennis over persoonlijke beschermingsmiddelen en de effectiviteit ervan. Het is de brandweer die aan dit besef kan bijdragen.

Literatuurlijst

- Agafonov, V. V., Kopylov, S. N., Sychev, A. V., Uglov, V. a., & Zhyganov, D. B. (2004). [The Mechanism of Fire Suppression By Condensed Aerosols](#). In *Russian Scientific Research Institute for Fire Protection*, 1–10.
- Air Resources Board. (2015). *Technology Assessment: Medium- and Heavy-Duty Battery Electric Trucks and Buses (Draft)*. Sacramento, CA: California Environmental Protection Agency (State of California).
- Bisschop, R., Willstrand, O., & Rosengren, M. (2020). [Handling Lithium-Ion Batteries in Electric Vehicles: Preventing and Recovering from Hazardous Events](#). *Fire Technology*, 56(6), 2671–2694.
- Brandweeracademie (2020). [De brand in de Singelgarage te Alkmaar](#). Arnhem: IFV.
- CE Delft. (2020) [Veiligheid en elektrische personenauto's](#).
- Colella et al. (2016). Electric Vehicle Fires. Proceedings from the Seventh International Symposium on Tunnel Safety and Security (pp. 629 – 636). Montreal, Canada: Exponent.
- Feng, X., Ouyang, M., Liu, X., Lu, L., Xia, Y., & He, X. (2018). Thermal runaway mechanism of lithium ion battery for electric vehicles: A review. *Energy Storage Materials*, 10, 246-267.
- Instituut Fysieke Veiligheid (2020). [Brandveiligheid van parkeergarages met elektrisch aangedreven voertuigen](#). Arnhem: IFV.
- International Maritime Organization. (2020). [Fire test research on ships carrying lithium-ion battery vehicles](#).
- KFZ Wirtschaft. (2019). [Wenn Batterien Feuer fangen](#).
- Krasnyansky, M. (2006). [Prevention and suppression of explosions in gas-air and dust-air mixtures using powder aerosol-inhibitor](#). *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 19(6), 729–735..
- Kuikka, T., & Pelastusopisto, M. H. (2015). Pelastusyksikön ensitoimenpiteitä täydentävät sammutusmenetelmät 1. väliraportti.
- Larsson, F. (2017). *Lithium-ion battery safety: assessment by abuse testing, fluoride gas emissions and fire propagation*. Thesis Chalmers university of technology.
- Lecocq, A., Bertana, M., Truchot, B., en Marlair, G. (2014). Comparison of the fire consequences of an electric vehicle and an internal combustion engine vehicle. 2. International Conference on Fires In Vehicles - FIVE 2012, Sep 2012, Chicago, United States. pp.183-194.
- Li, H., Peng, W., Yang, X., Chen, H., Sun, J., & Wang, Q. (2020). [Full-Scale Experimental Study on the Combustion Behavior of Lithium Ion Battery Pack Used for Electric Vehicle](#). *Fire Technology*, 56, 2545-2564.
- Luo, W. T., Zhu, S. B., Gong, J. H., & Zhou, Z. (2018). [Research and Development of Fire Extinguishing Technology for Power Lithium Batteries](#). *Procedia Engineering*, 211, 531–537.
- Mellert, L. D., et al. (2020). *Risk minimisation of electric vehicle fires in underground traffic Infrastructures*. Federal Department of the Environment, Transport, Energy and Communications DETEC.

- Murer Feuerschutz. (2020). *E-Extinguishing Lance for Batteries User Manual*. Retrieved December 15, 2020, from www.murer-feuerschutz.de.
- Murer Feuerschutz. (n.d.). [Löschanze](#).
- NFPA (2013). *Best Practices for Emergency Response to Incidents Involving Electric Vehicles Battery Hazards: A Report on Full-Scale Testing Results*. Quincy, MA (USA): The Fire Protection Research Foundation.
- NIFV. (2012). [Praktijkexperimenten technieken offensieve binneninzet](#). Arnhem: NIFV.
- Petit Boulanger, C., Labadie, O., Poutrain, B., Gentilleau, M., & Bazin, H. (2016). [A partnership between Renault and french first responders to ensure fast intervention on crash or fire-damaged electrical vehicles](#).
- Rivière, P., Grugeon, S., Morcrette, M., Boyanov, S., Laruelle, S., & Marlair, G. (2012). [Investigation on the fire-induced hazards of Li-ion battery cells by fire calorimetry](#). *Energy and Environmental Science*, 5(1), 5271–5280.
- Sun, P., Bisschop, R., Niu, H., & Huang, X. (2020). [A Review of Battery Fires in Electric Vehicles](#). *Fire Technology*, 56, 1361-1410.
- Underwriters Laboratories. (2020). [Four Firefighters Injured In Lithium-Ion Battery Energy Storage System Explosion – Arizona](#). Columbia: UL Firefighter Safety Research Institute.
- United Nations. (2011). UNEECE R100: Uniform provisions concerning the approval of vehicles with regard to specific requirements for the electric power train. New York: United Nations.
- Wang, Q., Mao, B., Stolarov, S. I., & Sun, J. (2019, July 1). [A review of lithium ion battery failure mechanisms and fire prevention strategies](#). *Progress in Energy and Combustion Science*, 73, 95-131.
- Willstrand, O., Bisschop, R., & Rosengren, M. (2019). *Fire Suppression Tests for Vehicle Battery Pack*. Getenburg: RISE.
- Zhang, X., Ismail, M. H. S., Ahmadun, F. R. B., Abdullah, N. B. H., & Hee, C. (2015). [Hot aerosol fire extinguishing agents and the associated technologies: A review](#). *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 32(3), 707–724.

Bijlage 1: Argumentatie beoordeling dompelcontainer en alternatieven bij scenario 1a

Maatregel	Veiligheid brandweerpersoneel	Veiligheid bergingspersoneel	Koelend effect	Nevenschade voertuig	Milieubelasting	Inzettijd	Praktische toepasbaarheid	Opmerkingen
Plaatsing en eventueel onderdompelen in dompelcontainer	<p>Bij het aanpakken aan het laadkraan of lier moet men dicht bij het voertuig komen (risico op herontsteking).</p> <p>Dit risico wordt beoordeeld als te overzien.</p> <p>Oordeel: +-</p>	<p>Bij het aanpakken aan het laadkraan of lier moet men dicht bij het voertuig komen (steekvlammen, gassen). Bij dompelen komt o.a. H₂ vrij.</p> <p>Gezien de berger minder goed beschermd is dan de brandweer, is het daarom risicovoller voor berger dan brandweer.</p> <p>Oordeel: -</p>	<p>Mits water kan doordringen tot aan omhulling batterijpakket of batterijcellen is het effect maximaal.</p> <p>Oordeel: ++</p>	N.v.t.	<p>Het vervuilde koelwater kan worden hergebruikt en blijft in de container.</p> <p>Oordeel: ++</p>	<p>Lange inzettijd, onderdompelen duurt meerdere dagen.</p> <p>Oordeel: -</p>	<p>Maakt gebruikt van bestaande systemen. Is echter in een lastig bereikbaar plek, zoals een parkeergarage, minder goed toepasbaar.</p> <p>Oordeel: +</p>	<p>Indien brand geblust, weinig tot geen kans op herontsteking</p>

Cobra Coldcutter	Bij penetreren batterijpakket mogelijke (explosieve) ontbrandingen van cellen. Ook kunnen cellen wegschieten en is plek waar te penetreren lastig te bepalen. Ook is er mechanische manipulatie en kan er door het blusmiddel overdruk in het batterijpakket ontstaan. Penetratie kan thermal runaway initiëren. Oordeel: -	N.v.t.	Water komt daar waar het moet zijn. Oordeel: ++	N.v.t.	Kapot maken extra cellen betekent aanvullende milieubelasting, echter een kleine hoeveelheid. Oordeel: +-	Snel in te zetten. Oordeel: +	Zeer lastig: waar en hoe diep te blussen is bijna ondoenlijk. In auto verhoogt complexiteit. Inzet door specialisten, dat vraagt om meer kennis en opleiding. Oordeel: --	Afhankelijk van tot waar Coldcutter weet te penetreren.
e-Bluslans	Bij penetreren batterijpakket mogelijke (explosieve) ontbrandingen van cellen. Ook kunnen cellen wegschieten en is plek waar te penetreren lastig te bepalen. Ook is er mechanische	N.v.t.	Water komt daar waar het moet zijn. Oordeel: ++	N.v.t.	Kapot maken extra cellen betekent aanvullende milieubelasting, echter een kleine hoeveelheid. Oordeel: +-	Snel in te zetten. Oordeel: +	Zeer lastig: waar en hoe diep te blussen is bijna ondoenlijk. In auto verhoogt complexiteit Inzet door specialisten, dat vraagt om meer	

	manipulatie en kan er door het blusmiddel overdruk in het batterijpakket ontstaan. Penetratie kan thermal runaway initiëren.						kennis en opleiding.	
	Oordeel: -						Oordeel: --	
Mobiele sprinkler	Het voertuig moet dicht benaderd worden. Oordeel: +-	N.v.t.	Afhankelijk van constructiewijze batterij en auto: zeer beperkt. Voorkomt verdere overslag bij herontsteking. Oordeel: -	N.v.t.	Vervuild bluswater stroomt zo weg, hierover is geen controle, slechts beperkte belasting voor riool. Oordeel: -	Opbouwen kost tijd. Oordeel: +-	Je moet relatief dichtbij komen om op te bouwen. Oordeel: +-	Goede oplossing om op lastig bereikbare plekken tijd te winnen tot berging.
Salvagecontainer	Explosiegevaar na thermal runaway in container, risico wordt vergroot door in aerosolblussing. Explosiegevaar is afhankelijk van aanwezige ventilatie in container. Oordeel: --	Explosiegevaar na thermal runaway in container, risico wordt vergroot door in aerosolblussing. Explosiegevaar is afhankelijk van aanwezige ventilatie in container.	Het afbreken van vlammen voorkomt ontstaan stralingswarmte, maar bluspoeder koelt de batterijen niet. Oordeel: --	N.v.t.	Beperkt. Oordeel: +-	Moet afkoelen aan de lucht. Oordeel: --	Voertuig eenvoudig erin te slepen. Oordeel: ++	

									Oordeel: --
Plaatsing en eventueel onderdompelen in mobiel waterbad	Moeten voor aanbrengen waterbad dicht op auto staan voor langere tijd, aanvullende risico's door vrijkomende gassen en mogelijke herontsteking. Oordeel: --	Moeten voor aanbrengen waterbad dicht op auto staan voor langere tijd, aanvullende risico's door vrijkomende gassen en mogelijke herontsteking. Oordeel: --	Mits water kan doordringen tot aan omhulling batterijpakket of batterijcellen is het effect maximaal. Oordeel: ++	N.v.t.	Geconcentreerd en goed af te voeren. Oordeel: ++	Lange opbouwtijd, voertuig moet enkele dagen in mobiel waterbad staan. Oordeel: --	Onbekend.		
Brandwerende deken	Voor aanbrengen langere tijd dichtbij voertuig staan. Oordeel: -	Voor aanbrengen langere tijd dichtbij voertuig staan. Oordeel: --	Geen. Oordeel: --	N.v.t.	Eventueel vrijkomende gassen kunnen zak verlaten en verwaaiëren. Oordeel: +	Relatief lange opbouwtijd. Oordeel: +	Relatief praktisch toe te passen. Oordeel: +-		
Gecontroleerd uit laten branden	Geen aanvullende risico's. Oordeel: ++	Geen aanvullende risico's. Oordeel: ++	Afwezig. Oordeel: --	N.v.t.	Zware milieubelasting, vrijkomen zware metalen in omgeving Oordeel: --	Kan lange tijd duren. Oordeel: -	Mits geen overlast en gevaar voor omgeving. Oordeel: ++	Mits geen gevaar voor omgeving (<i>gecontroleerd</i> uit laten branden).	

Bijlage 2: Argumentatie beoordeling dompelcontainer en alternatieven bij scenario 1b

Maatregel	Veiligheid brandweerpersoneel	Veiligheid bergingspersoneel	Koelend effect	Nevenschade voertuig	Milieubelasting	Inzettijd	Praktische toepasbaarheid	Opmerkingen
Cobra Coldcutter	Bij penetreren batterijpakket mogelijke (explosieve) ontbrandingen van cellen. Ook kunnen cellen wegschieten en is plek van penetreren lastig te bepalen. Ook is er mechanische manipulatie en kan er door het blusmiddel overdruk in het batterijpakket ontstaan. Penetratie kan thermal runaway initiëren. Je creëert daarmee aanvullende risico's. Oordeel: --	N.v.t.	Water komt daar waar het moet zijn. Oordeel: ++	N.v.t.	Beperkt waterverbruik, water kan in parkeergarage worden opgevangen. Oordeel: +	Relatief snel in te zetten. Oordeel: +	<p>Zeer lastig: waar en hoe diep te penetreren is bijna ondoenlijk.</p> <p>In auto verhoogt complexiteit.</p> <p>Inzet door specialisten, dat vraagt om meer kennis en opleiding.</p> <p>Moeten extra slangen voor worden uitgerold.</p> <p>Oordeel: -</p>	Afhankelijk van tot waar coldcutter weet te penetreren.

e-Bluslans	Bij penetreren batterijpakket mogelijke (explosieve) ontbrandingen van cellen. Ook kunnen cellen wegschieten en is plek van penetreren lastig te bepalen. Ook is er mechanische manipulatie en kan er door het blusmiddel overdruk in het batterijpakket ontstaan. Penetratie kan thermal runaway initiëren. Je creëert daarmee aanvullende risico's. Oordeel: --	N.v.t.	Water komt daar waar het moet zijn. Oordeel: ++	N.v.t.	Beperkt waterverbruik, water kan in parkeergarage worden opgevangen. Oordeel: +	Relatief snel in te zetten. Oordeel: +	Zeer lastig: waar en hoe diep te penetreren is bijna ondoenlijk. In auto verhoogt complexiteit. Inzet door specialisten, dat vraagt om meer kennis en opleiding. Moeten extra slangen voor worden uitgerold. Oordeel: -
Mobiele sprinkler	Je moet voertuig dicht benaderen. Oordeel: +-	N.v.t.	Afhankelijk van constructiewijze batterij en auto: zeer beperkt. Voorkomt verdere overslag bij herontsteking.	N.v.t.	In vergelijking met situatie op straat wast de sprinkler rookgassen uit in de besloten ruimte, controle over bluswater dat wegstroomt.	Snel neer te leggen. Oordeel: ++	Geen invasieve maatregel, er hoeven slechts slangen uitgerold te worden. Oordeel: +

			Oordeel: -		Oordeel: +-		
Plaatsing en onderdompelen in mobiel waterbad	Voor aanbrengen waterbad dicht op auto staan voor langere tijd, aanvullende risico's door vrijkomende gassen en mogelijke herontsteking.	N.v.t.	Mits water kan doordringen tot aan omhulling batterijpakket of batterijcellen is het effect maximaal.	N.v.t.	Geconcentreerd en goed af te voeren.	Lange opbouwtijd.	Onhandig op te bouwen.
	Oordeel: --		Oordeel: ++		Oordeel: ++	Oordeel: --	Oordeel: --
Brandwerende deken	Voor aanbrengen langere tijd dichtbij voertuig staan.	N.v.t.	Geen	N.v.t.	Gassen ontsnappen uit deken en verspreiden zich in de ruimte.	Geen slangen uitrollen, wordt relatief makkelijk over auto heengetrokken.	Relatief praktisch toe te passen.
	Oordeel: -		Oordeel: --		Oordeel: -	Oordeel: ++	Oordeel: +

Bijlage 3: Argumentatie beoordeling dompelcontainer en alternatieven bij scenario 2

Maatregel	Veiligheid brandweerpersoneel	Veiligheid bergingspersoneel	Koelend effect	Nevenschade voertuig	Milieubelasting	Inzettijd	Praktische toepasbaarheid
Plaatsing zonder onderdompelen in dompelcontainer	Korte tijd rondom voertuig, personeel beschermd tegen eventuele thermal runaway. Oordeel: ++	Korte tijd rondom voertuig, relatief goed beschermd tegen eventuele thermal runaway. Oordeel: +	N.v.t.	Geen. Oordeel: ++	Geen. Oordeel: ++	Relatief snel in te zetten. Oordeel: +	Voertuig eenvoudig te bergen, middel makkelijk toepasbaar. Oordeel: +
Mobiele sprinkler (preventieve plaatsing)	Korte tijd rondom voertuig. Oordeel: ++	Korte tijd rondom voertuig. Oordeel: ++	N.v.t.	Voertuig lange tijd blootgesteld aan water, afschermen belendingen. Oordeel: +	Geen. Oordeel: ++	Opbouwen systeem kost in vergelijking met andere maatregelen relatief veel tijd. Oordeel: +-	+-
Salvagecontainer	Korte tijd rondom voertuig. Oordeel: ++	Geen tot beperkt zicht op, geen alarmering wanneer situatie escaleert.	N.v.t.	Geen. Oordeel: ++	Geen. Oordeel: ++	Relatief snel in te zetten. Oordeel: +	Voertuig eenvoudig te bergen, middel makkelijk toepasbaar.

	Oordeel: -				Oordeel: +		
Plaatsing zonder onderdempelen in mobiel waterbad	T.o.v. andere alternatieven relatief lang dichtbij het voertuig. Oordeel: +	T.o.v. andere alternatieven relatief lang dichtbij het voertuig. Oordeel: +-	N.v.t.	Geen. Oordeel: ++	Geen. Oordeel: ++	(Mogelijk) langdurige stalling op locatie. Oordeel: --	Opbouwen kost relatief veel tijd, voertuig blijft op locatie achter. Oordeel: -
Brandwerende deken	T.o.v. andere alternatieven relatief lang dichtbij het voertuig. Oordeel: +	T.o.v. andere alternatieven relatief lang dichtbij het voertuig. Oordeel: +-	N.v.t.	Geen. Oordeel: ++	Geen. Oordeel: ++	Relatief snel in te zetten. Oordeel: +	Inpakken vereist enige vaardigheid. Oordeel: +-
Niks doen en monitoren	Voertuig hoeft niet benaderd te worden. Oordeel: ++	Voertuig hoeft niet benaderd te worden. Oordeel: ++	N.v.t.	Geen. Oordeel: ++	Geen. Oordeel: ++	Langdurige inzetijd. Oordeel: --	Bij escalatie geen maatregel getroffen waardoor incident nooit kan worden beheerst, monitorduur onbekend. Oordeel: --