

# Onderzoek dompelcontainers

Een beoordeling van de dompelcontainer  
en mogelijke alternatieven



Nederlands Instituut Publieke Veiligheid  
Postbus 7010  
6801 HA Arnhem  
Kemperbergerweg 783, Arnhem  
www.nipv.nl  
info@nipv.nl  
026 355 24 00

## Colofon

© Nederlands Instituut Publieke Veiligheid (NIPV), 2023

Auteur(s)	T. Hessels MSc. en T. Geertsema BBA
Contactpersoon	T. Hessels MSc.
Opdrachtgever	Rijksdienst voor Ondernemend Nederland
Contactpersoon	Sipke Castelein
Datum	6 februari 2023
Versie	2.0

Wij hechten veel belang aan kennisdeling. Delen uit deze publicatie mogen dan ook worden overgenomen op voorwaarde van bronvermelding.

Het Nederlands Instituut Publieke Veiligheid is bij wet vastgelegd onder de naam Instituut Fysieke Veiligheid.

# Inhoud

<b>Samenvatting</b>	<b>4</b>
<b>Inleiding</b>	<b>6</b>
<b>1 Inzet van dompelcontainers</b>	<b>9</b>
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
<b>2 Verkenning van alternatieven</b>	<b>19</b>
2.1 Salvagecontainer	19
2.2 Coldcutter	21
2.3 e-Bluslans	22
2.4 Mobiele sprinkler	23
2.5 Mobiel waterbad	25
2.6 Brandwerende dekens	27
2.7 Blusdekens	28
2.8 RFC batterij blussysteem	29
2.9 Bluszak	30
2.10 Overig	31
2.11 Doel technieken / alternatieven	34
<b>3 Beoordeling van dompelcontainers en hun alternatieven</b>	<b>36</b>
3.1 Scenario 1a: brand in accupakket, voertuig goed bereikbaar	37
3.2 Scenario 1b: brand in accupakket, voertuig lastig bereikbaar	39
3.3 Scenario 2: accu mogelijk instabiel	40
<b>4 Beantwoording van de onderzoeksvragen</b>	<b>42</b>
<b>5 Duiding</b>	<b>44</b>
<b>Literatuurlijst</b>	<b>45</b>
<b>Bijlage 1: Argumentatie beoordeling dompelcontainer en alternatieven bij scenario 1a</b>	<b>49</b>
<b>Bijlage 2: Argumentatie beoordeling dompelcontainer en alternatieven bij scenario 1b</b>	<b>55</b>
<b>Bijlage 3: Argumentatie beoordeling dompelcontainer en alternatieven bij scenario 2</b>	<b>60</b>

# 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 toegepast in Nederland. Er kleven echter ook nadelen aan deze methode. De werkgroep Veiligheid elektrisch vervoer van de Nationale Agenda Laadinfrastructuur heeft het Instituut Fysieke Veiligheid, tegenwoordig Nederlands Instituut Publieke 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, zoals in een parkeergarage; 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, complicaties en/of schade 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. Onderzocht is welke methode voor een drietal scenario's het meest geschikt is. Deze scenario's zijn:

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

- > Scenario 1b: Brand in een elektrisch personervoertuig 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.

Daartoe zijn de verschillende alternatieven op de volgende zeven aspecten beoordeeld:

- > Veiligheid brandweerpersoneel
- > Veiligheid bergingspersoneel
- > Koelend effect
- > Nevenschade voertuig
- > Milieubelasting
- > Inzettijd
- > Praktische toepasbaarheid

Uit het onderzoek kan worden geconstateerd dat bij brand in een elektrisch voertuig een vulopening in het accupakket de beste methode is om de brand te doven. Is deze niet aanwezig is plaatsing en onderdompeling in een dompelcontainer de best beschikbare methode. In vergelijking met de andere maatregelen is de dompelcontainer 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 volgens de onderzoeker van het NIPV het BEST batterij blussysteem het meest geschikte middel, vooral vanwege het koelend vermogen. Tevens is gebleken dat het gebruik van de dompelcontainer als vervoersmiddel, dus zonder onderdompelen, het best geschikt 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<sup>1</sup>. Er kleven echter ook nadelen aan deze wijze van koelen. Zo levert onderdompeling mogelijk verdere schade op aan het voertuig. De werkgroep Veiligheid elektrisch vervoer van de Nationale Agenda Laadinfrastructuur die zich onder andere richt op brandveiligheid van elektrische personenauto's heeft het Nederlands Instituut Publieke Veiligheid (NIPV, destijds Instituut Fysieke Veiligheid, daarom gevraagd onderzoek te doen naar mogelijke alternatieven voor deze dompelcontainers.

## Onderzoeksvragen

De werkgroep Veiligheid van de NAL heeft het NIPV 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 gehouden over inzetten met dompelcontainers met bergingsbedrijven en regionale brandweerkorpsen, zowel via Microsoft Teams, als telefonisch of per e-mail. Voor het beantwoorden van

---

<sup>1</sup> Voorbeelden hiervan zijn een brand [in Vught](#) en [Breda](#).



onderzoeksvragen 3 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 4 wordt beantwoord door middel van expert opinion (intersubjectiviteit). De experts zijn meerdere onderzoekers en lectoren<sup>2</sup> van het Nederlands Instituut Publieke Veiligheid. Gezamenlijk zijn zij in een groepsdiscussie, gebruikmakend van de eerder opgedane kennis, 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. Ook is beoordeeld welk middel als meest geschikt is geacht.

## 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. In 2022 zijn inmiddels circa dertig dompelcontainers beschikbaar over heel Nederland.

Om te komen tot het inzicht in de effectiviteit van 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. Het opladen van elektrische of hybride voertuigen is niet meegenomen in het onderzoek.

---

<sup>2</sup> Lectoren Ricardo Weewer en Nils Rosmuller en onderzoekers Thijs Geertsema, Vincent Janssen en Tom Hessels.

## Leeswijzer

Als eerste wordt in hoofdstuk 1 ingegaan op de inzet van dompelcontainers. Daarmee komen de onderzoeksvragen 1 en 2 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 een kwalitatieve beoordeling gegeven van de in hoofdstuk 2 genoemde maatregelen. 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 in Nederland en welke afwegingen en protocollen bergers en brandweer daarbij hanteren.

## 1.1 Incidenten met elektrische voertuigen

Zoals vermeld, is er sprake van een als maar toenemend aantal elektrische voertuigen in Nederland.<sup>3</sup> 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

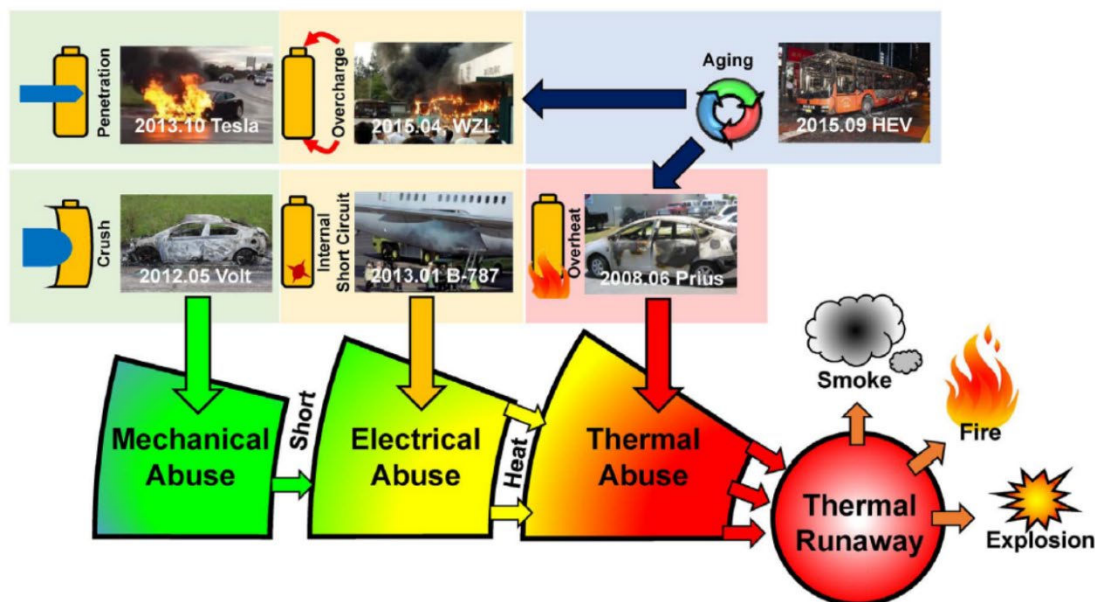
Thermal runaway is een faalmechanisme dat leidt tot zelfverhitting in een batterij(cel) en dat kan resulteren in brand (Colella et al., 2016). Batterijpakketten hebben allemaal hun eigen 'safety window' (veiligheidsmarge); wanneer condities hierbuiten komen, kan dit leiden tot het zichzelf opwarmen en veroorzaken van een thermal runaway (Air Resources Board, 2015<sup>1</sup>). 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 worden beschadigd, dat één of meerdere cellen in thermal runaway raken. De kans hierop is volgens CE Delft (2020) klein.

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

Als de thermal runaway eenmaal op gang is gekomen, 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 als gevolg van het feit dat 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 temperatuursverhoging ten opzichte van de normale situatie 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 (POF<sub>3</sub>). 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 2022 zijn dit er in Nederland circa dertig. Deze dompelcontainers worden op verschillende manieren ter plaatse gebracht. Een deel wordt vervoerd door het plaatsen van de dompelcontainer op het laadplateau van een bergingsvoertuig. Andere worden gebracht middels een haakarmvoertuig met daarop de dompelcontainer en één dompelcontainer is uitgevoerd als een truck-oplegger combinatie, waarbij op de oplegger de 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, des te 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.<sup>4</sup>

### 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 eisen 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 de 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

<sup>4</sup> 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. Een volledig geladen accu van 70 kWh bevat 252 MJ aan energie.

veroorzaakt, waardoor extreme temperaturen kunnen ontstaan. Daarnaast wil men het binnendringen van zout water voorkomen in verband met kortsluitingen.

Alhoewel het aan de Original equipment manufacturer (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 dat een batterij in basis vaak waterdicht is, 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). Deze waterdichtheid 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 voor hulpdiensten werkzaam in de buurt van een dompelbad 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; Instituut Fysieke Veiligheid, 2020). Er zijn diverse veiligheidssystemen die het elektrische 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 veelgebruikt 400 Volt systemen, als voor de in de toekomst meer gebruikte 800 Volt systemen. Ondanks het minimale elektrocutierisico 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 dompelbad<sup>5</sup>. 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 (NFPA, 2013). Deze tegenstrijdige visies worden mede veroorzaakt door de verschillen in testopzet, de mate waarin cellen en modules betrokken

---

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



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.

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 (2022) 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 november 2020 waren er drie bergingsbedrijven in actie gekomen om elektrische voertuigen te bergen. Uit cijfers van het eerste bedrijf komt naar voren dat dit bedrijf tot en met eind 2020 jaarlijks circa vijftientig keer met de dompelcontainer in actie komt om een elektrisch voertuig te bergen en vervolgens onder te dompelen. Het tweede bedrijf was tot november 2020 één keer ingezet. Een derde bedrijf was tot november 2020 één keer ingezet met de dompelcontainer voor het bergen van een te water geraakt voertuig.

Het eerste bedrijf geeft aan dat het tot november 2020 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. Het voornaamste deel van de inzetten betrof voertuigbranden. In enkele gevallen betrof het een ongeval met een brand tot gevolg. Daarnaast is ditzelfde 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' (een container met aerosol blussysteem om potentieel instabiele voertuigen te vervoeren, zie voor verdere toelichting paragraaf 2.1). In deze gevallen is het voertuig niet ondergedompeld.

Bij één bedrijf is de dompelcontainer tot november 2020 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 NIPV



benaderde bergingsbedrijven, circa acht, waren tot november 2020 nog niet in actie gekomen om elektrische voertuigen te bergen en onder te dompelen.

Vanaf 1 januari 2021 houden NIPV en Brandweer Nederland alle branden en ongevallen met alternatief aangedreven voertuigen waar de brandweer bij aanwezig is geweest. Uit deze cijfers blijkt dat in 2021 22 inzetten met een dompelcontainer zijn geweest (NIPV, 2022). Daarbij is het voertuig zover bekend 11 maal ook daadwerkelijk onder water gezet. Onbekend is hoeverre er voor november 2020 daadwerkelijk is ondergedompeld.

#### **1.4.2 Werkwijze bij de inzet van een dompelcontainer**

Binnen Nederland is het addendum op de Bergingsovereenkomst 2019-2022 getiteld "Berging en Stalling van Elektrische Voertuigen" van Stichting Incident Management Nederland (IMN) leidend voor de berging van elektrische voertuigen. Deze overeenkomst is op 1 juni 2021 in werking getreden en is ontstaan uit een samenwerking tussen brandweer, bergers, Rijkswaterstaat en Stichting IMN. Dit addendum geeft richting aan de werkwijze rondom de berging van elektrische voertuigen, maar biedt geen bindende werkwijze aan. In deze deelparagraaf wordt ingegaan op de daar uit volgende werkwijzen zoals deze in de praktijk worden gehanteerd. De berging is daarvoor opgedeeld in een aantal fases: alarmering, incidentlocatie en (stalling bij) het bergingsbedrijf

##### **Alarmering**

De berger met een dompelcontainer, in het hierboven addendum wordt de dompelcontainer salvagecontainer<sup>6</sup> genoemd, wordt gealarmeerd via de LCM, het Landelijk Centraal Meldpunt voor bergers<sup>7</sup>. De politie of brandweer kan een dompelcontainer bij het LCM aanvragen. Daarnaast kan een (mede-)berger zelf een dompelcontainer laten alarmeren via het LCM.

In het addendum valt te lezen dat een dompelcontainer wordt gealarmeerd als er sprake is van brandgevaar, waarbij brandgevaar beschreven als: "Dit is het geval als de batterij of de oranje hoogspanningskabels in het voertuig zichtbaar beschadigd zijn en/of de batterij rookt, lekt, pruttelt en/of een chemische stank verspreidt." (Stichting IMN, 2021, p.5)

##### **Incidentlocatie**

Drie bergingsbedrijven gaven in 2020 aan dat zij als procedure hanteren 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.

Andere geïnterviewde bergingsbedrijven hanteerden in november 2020 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. Onderzoek middels de database AAV (NIPV, 2021) heeft in 2022 niet geleid tot andere inzichten: de meeste bergingsbedrijven en brandweerkorpsen hanteren soortgelijke procedures

<sup>6</sup> Gezien in hiervoor en in hoofdstuk 2 reeds een salvagecontainer met gasblussing wordt behandeld welke reeds in 2021 bij verschijnen al zo genoemd werd, wordt in dit rapport gewerkt met de werktitel 'dompelcontainer' voor de in het addendum bedoelde 'salvagecontainer.'

<sup>7</sup> <https://www.stichtingimn.nl/incident-management.php>

## **Transport**

Rondom het transport van het elektrische voertuig naar de bergingslocatie zijn anno 2022 verschillende visies, met name als het gaat om het risico op herontbranding in relatie tot begeleiden van het transport door de brandweer.

Enkele veiligheidsregio's hanteren als uitgangspunt dat de berger verantwoordelijk is voor vervoer. De brandweer rijdt daarbij niet achter het bergingsvoertuig aan, tenzij er een serieus risico op herontbranding onderweg is. Mocht de brand onderweg herontsteken, dient de berger de dompelcontainer af te laden van het bergingsvoertuig en de brandweer te alarmeren.

Bij een samenwerkingsverband tussen vier bergers en enkele brandweerregio's wordt het elektrische voertuig in de dompelcontainer getransporteerd naar één locatie, waar de containers worden gestald. Daarbij rijdt een brandweervoertuig (tankautospuits 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 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.

In verband met de rijveiligheid wordt er door bijna alle bedrijven aangegeven dat zij te allen tijden 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 schadeafhandeling, 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 heeft 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.

Bij andere bergers én brandweerregio's is er onduidelijkheid over de verantwoordelijkheid over het afvullen van de container. Enkele brandweerregio's geven aan dit als een taak voor de berger te zien: het gaat immers om het bedrijfsproces van de berger. Bergers geven daartegenin weer aan niet over de mogelijkheid te beschikken om de waterbak (snel) af te vullen. Het addendum schrijft daarbij voor dat „bluswerkzaamheden (het vullen van de container met water) worden door de brandweer uitgevoerd.” (Stichting IMN, 2021, p.5).

### **1.4.3 Persoonlijke beschermingsmiddelen**

Het addendum van Stichting IMN schrijft voor dat bergingschauffeurs als de situatie daarom vraagt moeten zijn uitgerust met “passende persoonlijke beschermingsmiddelen.” (Stichting IMN, 2021, p.6). Zij schrijft daarbij echter niet voor wat deze persoonlijke beschermingsmiddelen kunnen c.q. moeten zijn.

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.

De Vereniging van Bergings- en Mobiliteitsspecialisten Nederland (VBM) heeft voor bergers een calamiteitenkoffer samengesteld die 1000V handschoenen, dampmaskers met een voor deze toepassing geëigend filter, een wegwerpoveral, een veiligheidsbril en veiligheidsschoenen bevat. Zij adviseert leden deze aan te schaffen indien zij in het bezit zijn van een dompelcontainer. Dit advies is niet bindend: een bergingsbedrijf hoeft deze niet aan te schaffen. In de praktijk zijn er ook bergingsbedrijven die geen PBM gebruiken bij de inzet van een dompelcontainer.

### 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, wegwerpoverall, veiligheidsbril, redhaak
Op verzoek berger	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	VBM-koffer met 1000V handschoenen, dampmaskers met een voor deze toepassing geëigend filter, een wegwerpoverall, een veiligheidsbril en veiligheidsschoenen bevat
		Transport zonder water in de container, uitgezonderd truck-oplegger combinatie	Voertuig gestald tussen betonblokken	Geen
		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.

## 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's<sup>8</sup> 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 'salvage container' genoemd wordt.<sup>9</sup> 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.



**Afbeelding 2.1 Salvagecontainer (Foto: Vreugdenhil berging)**

<sup>8</sup> 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.

<sup>9</sup> 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.

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 ademlucht – te openen en het voertuig uit de container te halen. Vervolgens wordt het voertuig alsnog in een doppelcontainer geplaatst.

#### **Aerosol blussystemen**

Een aerosol is een vloeistof of vaste stof die verspreid is door een gas als kleine deeltjes (nm tot  $\mu\text{m}$ ) (NIPV, 2022). 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).

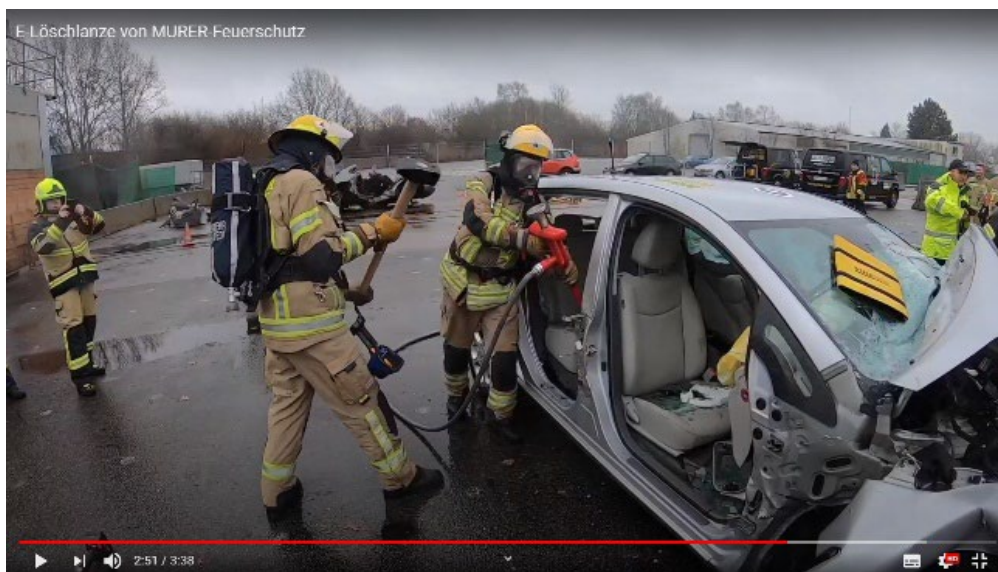


**Afbeelding 2.3 E-bluslans  
(bron: Murer, 2020)**

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



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

DEKRA geeft bij het NIPV 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. 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 zijn nog niet beschikbaar. 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.

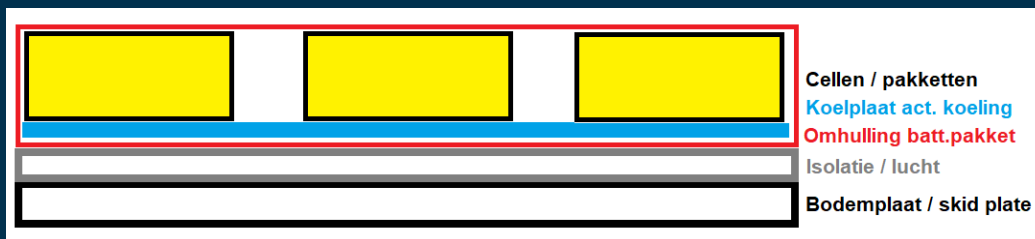


**Afbeelding 2.5 Twee mobiele sprinklers (foto links: EnerSafe, rechts: RI.SE)**



### 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.



**Afbeelding 2.6 Mobiele dompelcontainer (bron: Pelastusopiston)**

In 2022 is er ook een mobiele dompelcontainer op de markt gebracht die bestaat uit een viertal metalen zijpanelen die rondom het voertuig moeten worden geplaatst. Deze metalen delen worden met elkaar verbonden en vastgezet met metalen pinnen. De metalen delen kunnen met water worden gevuld ter verzwaring van de mobiele dompelcontainer. Aan de onder- en zijpanelen van de metalen delen zitten rubbers voor een betere afdichting op het wegdek en tussen de delen. Daarnaast is deze mobiele dompelcontainer uitgerust met een Storz-koppeling voor de aan- en afvoer van water. Het systeem berust er daarmee op dat het op een vloeistofdichte bodem wordt geplaatst, anders loopt het water immers weg. Volgens de leverancier kan het geheel door twee personen binnen twee minuten in elkaar worden gezet. Dit systeem is weergegeven in Afbeelding 2.7.





Afbeelding 2.7 Mobile dospelcontainer. Bron: [CGK-online.be](https://www.cgk-online.be)

## 2.6 Brandwerende dekens

In Duitsland en Oostenrijk zijn op dit moment een tweetal brandwerende dekens 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 afbeelding 2.8, 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.



Afbeelding 2.8 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 leverancier<sup>10</sup>, 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 NIPV geen praktijkervaringen bekend met de inzet van deze brandwerende deken bij branden in / transport van elektrische voertuigen.

## 2.7 Blusdekens

Naast brandwerende dekens om een auto te transporteren zijn er ook zogeheten blusdekens op de markt. Deze zijn bedoeld om over een brandend voertuig heen te trekken en zo de vlammen in het voertuig te doven<sup>11</sup>. De blusdekens zijn veelal geschikt voor temperaturen ruim boven de 1500 graden Celsius, aldus de leveranciers. De dekens kennen afhankelijk van de leverancier verschillende formaten, maar zijn altijd van voldoende omvang om een personenvoertuig te kunnen bedekken.

De blusdeken moet door twee personen over het brandende voertuig worden getrokken. De blusdeken moet daarbij met beleid worden aangebracht, omdat scherpe objecten of een te ruwe werkwijze de blusdekens kunnen beschadigen.

---

<sup>10</sup> Zie: [Brandversuche \(gelkoh.de\)](http://Brandversuche.gelkoh.de).

<sup>11</sup> Daarbij kan eventueel een aerosol-'blusbom' onder de deken worden gelegd om zo de vlammen (eerder) te doven. Ook spreekt een leverancier over het aanbrengen van water op de deken om de temperatuur omlaag te brengen.



Afbeelding 2.9 Blusdeken (Bron: [Fireisolater.com](https://www.fireisolater.com))

Op dit moment zijn bij het NIPV geen praktijkervaringen bekend met de inzet van deze blusdekens bij branden in van elektrische voertuigen. Op videobeelden van leveranciers is echter te zien dat bij het over de auto trekken van de deken er nog steeds rook en dampen onder het voertuig vandaag komen.

## 2.8 BEST batterij blussysteem

In 2022 heeft de Oostenrijks leverancier Rosenbauer een blussysteem voor batterijbranden in elektrische voertuigen op de markt gebracht, de Battery Extinguishing System Technology (BEST). Dit systeem slaat een doorborend mondstuk in het batterijpakket, waarna er via het mondstuk water in het batterijpakket kan worden ingebracht.

Het systeem bestaat uit een tweetal onderdelen: de bluseenheid met daarin het doorborende mondstuk, zoals te zien in afbeelding 2.10, en een regeleenheid. Beide zijn met elkaar verbonden met slangen met een lengte van circa acht meter. De bluseenheid wordt onder de auto geschoven. Ook kan de bluseenheid worden gebruikt via het interieur of de bagageruimte. Indien het voertuig te weinig bodemspeling heeft wordt het voertuig daartoe eventueel met een krik omhooggetild. Het doorborende mondstuk wordt middels luchtdruk ingebracht in het batterijpakket. Voor deze luchtdruk wordt een persluchtflus op de regeleenheid aangesloten. Het is echter onbekend hoeveel speling er minimaal nodig is het systeem te plaatsen en tot welke hoogte van bodemspeling het systeem maximaal in te zetten is. Ook is onbekend of het systeem in te zetten is als het batterijpakket dieper in het voertuig ligt.

Rosenbauer geeft aan dat zij er van bewust zijn dat het inbrengen van het mondstuk extra batterijcellen kan beschadigen en daarmee in thermal runaway kan brengen, maar dat deze vervolgens direct door het ingebrachte water gekoeld worden. Het systeem kan volgens Rosenbauer in het voertuig blijven zitten tijdens berging en stalling bij de berger voor het geval het accupakket opnieuw tot ontbranding komt.



Op dit moment zijn bij het NIPV geen praktijkervaringen bekend met de inzet van dit systeem bij branden in elektrische voertuigen.



Afbeelding 2.10 Rosenbauer BEST blussysteem (bron: [Rosenbauer](#))

## 2.9 Bluszak

De bluszak is een kunststof zak waarin elektrische voertuigen kunnen worden ingepakt. Dit systeem, waarin twee Duitse leveranciers beide een eigen variant hebben ontwikkeld [\(1\)\(2\)](#), werkt volgens het principe dat het voertuig met hefkussens zijdelings op wordt getild. Door eerst links het voertuig op te liften, en later rechts, is men in staat de zak onder het voertuig door te schuiven. Daarna worden er hefbanden rond het voertuig geplaatst. Vervolgens wordt de zak om en over het voertuig heen getrokken en in de breedte en lengte vastgezet met meerdere spanbanden. De bluszak kan middels de hefbanden achterop een sleepwagen worden getild. Een bluszak kan, waar nodig, middels een Storz-koppeling worden gevuld met water. Een leverancier geeft aan dat hiervoor circa 2000 liter water nodig is. De andere bluszak kan middels een hoge- of lagedruk straal vanaf de zijkant worden gevuld.



Afbeelding 2.11 Voorbeeld van een auto ingepakt in een bluszak. (Bron: [Vetter.de](https://www.vetter.de))

## 2.10 Overig

Naast de bovengenoemde alternatieve technieken die kunnen worden ingezet, zijn er nog andere mogelijkheden voor de incidentbestrijding van accubranden in elektrische voertuigen 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.

### 2.10.1 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 afbeelding 2.12).



Afbeelding 2.12 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. 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.

### **2.10.2 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.

### **2.10.3 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.

## 2.11 Doel technieken / alternatieven

In de voorliggende paragrafen zijn diverse middelen en -methodes beschreven om batterijbranden in een elektrisch voertuig onder controle te brengen en/of te bestrijden. Deze dienen verschillende doelen: enkele zijn bedoeld voor blussing (volledig doven) van de brand in het accupakket, andere voor koeling (klein houden / onderdrukken van de brand) en andere zijn weer geschikt voor het (veilig) vervoeren van een elektrisch voertuig. In onderstaande tabel is samengevat welk techniek/alternatief voor welk doel, of welke doelen, te weten blussing, koeling en vervoer, de techniek bedoeld is/zijn volgens de beschikbare informatie. Dit wordt aangegeven middels een kruisje in onderstaande tabel

**Tabel 2.1 Doel technieken / alternatieven**

Technieken / alternatieven	Blussing	Koeling	Vervoer
Dompelcontainer	X		X
Salvagecontainer		X	X
Cobra Coldcutter	X		
e-Bluslans	X		
Mobiele sprinkler		X	
Mobiel waterbad	X		
Brandwerende deken		X	X
Blusdeken		X	
BEST batterij blussysteem	X		
Bluszak	X		X
Vulopening	X		
Gecontroleerd uit laten branden	X		

Het NIPV heeft voor de werking van de technieken / alternatieven de onderstaande beschrijving gehanteerd.

- > Dompelcontainer: waterdichte container die gevuld kan worden met water waardoor het batterijpakket van het voertuig onder water komt te staan. De thermal runaway wordt hiermee beoogd te stoppen. De container wordt ter plaatse gebracht met een bergingsvoertuig.
- > Salvagecontainer: afgesloten container met aerosol blussysteem welke geactiveerd wordt bij (het vermoeden van) brand. De aerosolblussing wordt beoogd een eventuele voertuigbrand te blussen, maar stopt niet de thermal runaway in een batterijpakket. Er is dus alleen sprake van koeling van het batterijpakket.

- > Cobra Coldcutter: hogedruk blussysteem waarmee het batterijpakket wordt gepenetreerd en water in het batterijpakket kan worden ingebracht. Hiermee wordt beoogd de thermal runaway te stoppen.
- > e-Bluslans: een lans die in het batterijpakket wordt geslagen waar vervolgens water mee in het batterijpakket kan worden ingebracht. Hiermee wordt beoogd de thermal runaway te stoppen.
- > Mobiele sprinkler: systeem dat onder het voertuig wordt geschoven waarmee de onderkant van het batterijpakket wordt beoogd te koelen. Hiermee wordt beoogd de propagatie van de thermal runaway te beperken.
- > Mobiel waterbad: ter plaatse opbouwbaar dompelcontainer. Deze bestaat uit meerdere metalen schotten die aan elkaar worden gekoppeld. De metalen schotten worden gevuld met water ter verzwaring tegen het wegschuiven. Als het mobiele waterbad eenmaal gevuld is met water komt het batterijpakket van het voertuig onder water komt te staan. De thermal runaway wordt hiermee beoogd te stoppen .. Het mobiele waterbad beschikt niet over een bodem.
- > Brandwerende deken: brandwerende deken waarin een voertuig met een (een vermoeden van een) beschadigd batterijpakket wordt gereden of getakeld. De deken wordt vervolgens om het voertuig heen gevouwen, waarna het 'pakket' kan worden getransporteerd, bijvoorbeeld op een bergingsvoertuig. Een eventuele thermal runaway, die ontstaat als het voertuig in de deken zit, wordt niet gestopt.
- > Blusdeken: hittebestendige deken die over het voertuig heen wordt getrokken. De deken moet vervolgens rond de auto worden 'ingestopt'. De voertuigbrand wordt gedoofd, maar de blusdeken stopt niet de thermal runaway in een batterijpakket.
- > BEST batterij blussysteem: systeem dat onder het voertuig wordt geschoven en een naald in het batterijpakket schiet. Hiermee kan water in het batterijpakket worden ingebracht en wordt beoogd de thermal runaway te stoppen.
- > Bluszak: kunststof zak waar het voertuig ingetakeld moet worden. Over het voertuig moeten vervolgens diverse spanbanden worden getrokken om de zak te bevestigen. De zak kan vervolgens worden gevuld met water. De thermal runaway wordt daarmee beoogd te stoppen.
- > Vulopening: door brand komt, in theorie, deze vulopening vrij te liggen, waarna water door de opening in het batterijpakket wordt gebracht. De thermal runaway wordt daarmee beoogd te stoppen.
- > Gecontroleerd uit laten branden: het voertuig brandt volledig uit. Alle energie uit het batterijpakket brandt daarmee op, waardoor de thermal runaway stopt.

# 3 Beoordeling van dompelcontainers en hun alternatieven

In dit hoofdstuk worden per scenario de in hoofdstuk 2 besproken alternatieve technieken en de dompelcontainer beoordeeld op hun invloed op de in de inleiding beschreven scenario's op basis van verschillende criteria. Deze criteria staan in de onderstaande tabel 3.1.

**Tabel 3.1 Criteria bij het beoordelen van de verschillende alternatieve technieken**

criterium	Omschrijving
Veiligheid brandweer- personeel	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 bergings- personeel	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 toepasbaar- heid	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 opinions (intersubjectiviteit). De experts zijn meerdere onderzoekers en lectoren van het Nederlands Instituut Publieke Veiligheid. Gezamenlijk zijn zij in een groepsdiscussie 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.

De reeds in de inleiding benoemde scenario's zijn:

- > 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 benoemd omdat deze grotendeels bepalend zijn voor de mogelijkheden en effectiviteit van de alternatieve technieken. 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). Hoe hoger dit getal, des te beter het alternatieve middel/techniek,

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

Techniek	Veiligheid brandweerpersoneel	Veiligheid berging personeel	Koelend effect	Neven schade voertuig	Milieu belasting	Inzettijd	Praktische toepasbaarheid	Ranking (aantal punten/aantal indicatoren)
Plaatsing en eventueel onderdompelen 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 onderdompelen in mobiel waterbad	--	--	++	N.v.t.	+/-	--	-	-5/6
Blusdeken	--	N.v.t.	--	N.v.t.	+/-	+	-	-4/5
BEST batterij blussysteem	+/-	N.v.t.	++	N.v.t.	+/-	+/-	+/-	2/5
Bluszak	--	--	++	N.v.t.	++	--	--	-4/6
Vulopening	+	N.v.t.	+	N.v.t.	+/-	++	+/-	4/5
Gecontroleerd uit laten branden	++	++	--	N.v.t.	--	-	++	1/6

De conclusie op basis van deze tabel luidt dat een ingebouwde vulopening in het voertuig het beste middel is (4/5) een brand in het accupakket te blussen. Gebruikmaking van de vulopening is relatief snel mogelijk en zorgt voor effectieve koeling.

Is deze vulopening niet aanwezig in het voertuig dan luidt onze conclusie dat het onderdompelen van een voertuig waarbij het batterijpakket instabiel is, een goede 'second best' is (3/6). 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 brandweerpersoneel	Veiligheid Bergingspersoneel	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	-	N.v.t.	++	N.v.t.	+-	--	--	-3/5
Blusdeken	--	N.v.t.	--	N.v.t.	+-	+	-	-4/5
BEST batterij blussysteem	+-	N.v.t.	++	N.v.t.	+	+-	+-	3/5
Bluszak	--	N.v.t.	++	N.v.t.	++	--	--	-2/5
Vulopening	+	N.v.t.	+	N.v.t.	+-	++	+-	4/5

De conclusie op basis van deze tabel luidt dat een ingebouwde vulopening in het voertuig het beste middel is een brand in het accupakket te doven (4/5). Gebruikmaking van de vulopening is relatief snel mogelijk en zorgt voor effectieve koeling. Is deze niet aanwezig valt te concluderen dat het inzetten van het BEST batterij blussysteem in een parkeergarage het second best beschikbare alternatief is in deze situatie (3/5). Daarbij springt vooral het koelend vermogen in het oog. De inzet van een blusdeken scoort in vergelijking met de andere maatregelen het laagst (-4/5), met name vanwege het beperkte koelend vermogen ervan bij een brand in het batterijpakket en de veiligheidsrisico's voor het brandweerpersoneel..

### 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, e-Bluslans en BEST batterij blussysteem 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 1a 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 en onderdompelen in mobiel waterbad in de garage	+	+/-	n.v.t.	++	++	--	-	2/6
Brandwerende deken	+	+/-	n.v.t.	++	++	+	+/-	6/6
Bluszak	+	+/-	n.v.t.	++	++	+	-	5/6
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 (9/6), mobiele sprinkler (7/6), salvagecontainer (7/6) en de brandwerende deken (6/6). 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 dompelcontainers nu gebruikt ter voorkoming of bestrijding van een batterijbrand (bij elektrische voertuigen)?**

Tot op heden zijn de dompelcontainers ingezet op verzoek van de brandweer bij branden in en enkele ongevallen met elektrische voertuigen. Het protocol van bergingsbedrijven is dat de dompelcontainer ter plaatse komt in geval van manipulatie van het batterijpakket, bijvoorbeeld bij een aanrijding. Daarbij wordt de dompelcontainer 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 onderdempeling vindt plaats op de stallingsplaats van het bergingsvoertuig.

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

Een dompelcontainer 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 dompelcontainer een aanzienlijk deel van schadelijke stoffen uit de vrijkomende gassen. De effectiviteit van de 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. 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 dompelcontainers is effectief indien het batterijpakket bij de brand betrokken is geweest. Zoals aangegeven bij de eerste onderzoeksvraag zijn de dompelcontainers tot op heden, zover het NIPV weet, 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 dompelcontainer 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 naast de dompelcontainer. Deze alternatieven zijn:

- > Salvagecontainer
- > Cobra Coldcutter
- > e-Bluslans
- > Mobiele sprinkler
- > Mobiel waterbad
- > Brandwerende deken
- > Blusdeken
- > BEST batterij blussysteem
- > Bluszak
- > Vulopening
- > Gecontroleerd uit laten branden

### **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 in geval van brand in een elektrisch voertuig waarbij de batterij (waarschijnlijk) betrokken is een vulopening in het voertuig de best beschikbare techniek is. Als deze niet aanwezig is, dan is plaatsing en eventueel onderdompelen in een dompelcontainer de second best oplossing. In vergelijking met de andere maatregelen is de dompelcontainer 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, naast de vulopening, het BEST batterij blussysteem het best beschikbare middel. Daarbij springen vooral het koelend vermogen 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 niks 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.

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. De vulopening die in dit rapport is besproken is hier een goed voorbeeld van. 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.
- Instituut Fysieke Veiligheid (2020). [Onderbouwing van risico op elektrocutie/elektrische schok bij incidenten met e-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](http://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 binnenzet](#). Arnhem: NIFV.
- NIPV. (2022). [Jaarrapportage 2021 incidenten met alternatief aangedreven voertuigen](#). Arnhem: NIPV.
- Petit Boulanger, C., Labadie, O., Poutrain, B., Gentilleau, M., & Bazin, H. (2016). [A partnership between Renault and french first responders to ensure fase intervention on crash or fire-damaged electrical vehicles](#).
- Rivière, P., Gugeon, 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..
- Stichting Incident Management Nederland. (2021). *Addendum Berging en Stalling van Elektrische Voertuigen*. Den Haag.
- 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.
- 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* (pp. 1–10).
- Bisschop, R., Willstrand, O., & Rosengren, M. (2020). Handling Lithium-Ion Batteries in Electric Vehicles: Preventing and Recovering from Hazardous Events. *Fire Technology*, 56(6), 2671–2694. <https://doi.org/10.1007/s10694-020-01038-1>
- Instituut Fysieke Veiligheid. (2020). *Brandveiligheid van parkeergarages met elektrisch aangedreven voertuigen*. Arnhem: IFV.
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2006.05.004>
- 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*. Chalmers university of technology.
- 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*. <https://doi.org/10.1007/s10694-020-00988-w>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.12.045>
- Mellert, L. D., Welte, U., Tuchschnid, M., Held, M., Hermann, M., & Kompatscher, M. (2020). Risk minimisation of electric vehicle fires in underground traffic infrastructures, (August 2020).
- Murer Feuerschutz. (2020). E-Extinguishing Lance for Batteries User Manual. Retrieved December 15, 2020, from [www.murer-feuerschutz.de](http://www.murer-feuerschutz.de)
- NIPV. (2022). *Alternatieve blusmiddelen*. Retrieved from <https://nipv.nl/wp-content/uploads/2022/11/20221021-NIPV-Alternatieve-blusmiddelen.pdf>
- 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.
- Ribière, 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. <https://doi.org/10.1039/c1ee02218k>
- Sun, P., Bisschop, R., Niu, H., & Huang, X. (2020). A Review of Battery Fires in Electric Vehicles. *Fire Technology*. Springer. <https://doi.org/10.1007/s10694-019-00944-3>
- United Nations. UNEECE R100: Uniform provisions concerning the approval of vehicles with regard to specific requirements for the electric power train (2011). 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*. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2019.03.002>
- Willstrand, O., Bisschop, R., & Rosengren, M. (2019). *Fire Suppression Tests for Vehicle Battery Pack*.
- 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. <https://doi.org/10.1590/0104-6632.20150323s00003510>



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

Maatregel	Veiligheid brandweerpersoneel	Veiligheid bergingspersoneel	Koelend effect	Nevenschade voertuig	Milieubelasting	Inzettijd	Praktische toepasbaarheid	Opmerkingen
<b>Plaatsing en eventueel onderdompelen in dompelcontainer</b>	Bij het aanpakken aan het laadkraan of lier moet men dicht bij het voertuig komen (risico op herontsteking).  Dit risico wordt beoordeeld als te overzien.  Oordeel: +/-	Bij het aanpakken aan het laadkraan of lier moet men dicht bij het voertuig komen (steekvlammen, gassen). Bij dompelen komt o.a. H <sub>2</sub> vrij.  Gezien de berger minder goed beschermd is dan de brandweer, is het daarom risicovoller voor berger dan brandweer.  Oordeel: -	Mits water kan doordringen tot aan omhulling batterijpakket of batterijcellen is het effect maximaal.  Oordeel: ++	N.v.t.	Het vervuilde koelwater kan worden hergebruikt en blijft in de container.  Oordeel: ++	Lange inzettijd, onderdompelen duurt meerdere dagen.  Oordeel: -	Maakt gebruikt van bestaande systemen. Is echter in een lastig bereikbaar plek, zoals een parkeergarage, minder goed toepasbaar.  Oordeel: +	Indien brand geblust, weinig tot geen kans op herontsteking
<b>Cobra Coldcutter</b>	Bij penetreren	N.v.t.	Water komt daar	N.v.t.	Kapot maken extra	Snel in te	Zeer lastig: waar	Afhankelijk van

<p>batterijpakket mogelijke (explosieve) ontbrandingen van cellen. Ook kunnen cellen wegschieten en is plek waar te penetrenen lastig te bepalen. Ook is er mechanische manipulatie en kan er door het blusmiddel overdruk in het batterijpakket ontstaan. Penetratie kan thermal runaway initiëren.</p> <p>Oordeel: -</p>	<p>waar het moet zijn.</p> <p>Oordeel: ++</p>	<p>cellen betekent aanvullende milieubelasting, echter een kleine hoeveelheid.</p> <p>Oordeel: +-</p>	<p>zetten.</p> <p>Oordeel: +</p>	<p>en hoe diep te blussen is bijna ondoenlijk.</p> <p>In auto verhoogt complexiteit.</p> <p>Inzet door specialisten, dat vraagt om meer kennis en opleiding.</p> <p>Oordeel: --</p>	<p>tot waar Coldcutter weet te penetrenen.</p>
--	---	---	----------------------------------	---	--

**e-Bluslans**

Bij penetrenen  
batterijpakket  
mogelijke  
(explosieve)  
ontbrandingen van  
cellen. Ook kunnen  
cellen wegschieten  
en is plek waar te  
penetrenen lastig te  
bepalen. Ook is er  
mechanische  
manipulatie en kan

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



er door het blusmiddel overdruk in het batterijpakket ontstaan. Penetratie kan thermal runaway initiëren.

opleiding.

Oordeel: --

Oordeel: -

<b>Mobiele sprinkler</b>	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: +-  Oordeel: -	Je moet relatief dichtbij komen om op te bouwen.  Oordeel: +-  Oordeel: -	Goede oplossing om op lastig bereikbare plekken tijd te winnen tot berging.
--------------------------	---	--------	---	--------	--	--	---	---

<b>Salvagecontainer</b>	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.  Oordeel: --	Het afbreken van vlammen voorkomt ontstaan stralingswarmte, maar bluspoeder koelt de batterijen niet.  Oordeel: --	N.v.t.	Beperkt.  Oordeel: +-  Oordeel: --	Moet afkoelen aan de lucht.  Oordeel: --	Voertuig eenvoudig erin te slepen.  Oordeel: ++
-------------------------	--	--	--	--------	--	--	---

<b>Plaatsing en eventueel onderdempelen in mobiel waterbad</b>	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.	Geen bodem, dus blijft altijd een laagje restwater over. Verder goed af te voeren.  Oordeel: +-	Lange opbouwtijd (schotten zijn sneller dan zeil, maar moeten verzwaaard worden).  Oordeel: --	Veel handelingen (opbouwen, verzwaren, vullen).  Oordeel: -
<b>Blusdeken</b>	Voertuig moet dicht genaderd worden. Blusdeken moet ook dekkend over voertuig aangebracht worden (kost tijd). Gasvorming onder deken kan een probleem vormen.  Oordeel: --	N.v.t.	Geen koelend effect Oordeel: --	N.v.t.	Beperkt rookverspreiding/verdere verbranding, maar deken is niet gasdicht.  Oordeel: +-	Snel overheen te trekken, maar moet wel zorgvuldig gebeuren  Oordeel: +	Brandend voertuig moet dicht genaderd worden. Goed toepassen vergt enige kennis en oefening.  Oordeel: -
<b>BEST batterij blussysteem</b>	Voertuig kan op een afstand benaderd worden. Opkrikken en onderschuiven kan snel gebeuren.	N.v.t.	Water komt waar het moet zijn.  Oordeel: ++	N.v.t.	Oordeel +- Zelfde argumentatie als bluslans.	Unit is snel in te zetten, maar auto opgekrikt moet worden.	De onderzoekers hebben nog een hoop vragen: Hoe zit het met bodemspeling?

	Verder idem aan bluslans/cobra.					Oordeel: +-  Oordeel: +-	Hoe lang is de naald? Kan de naald nog terug na gebruik? Hoeveel kennis/opleiding is nodig?  Oordeel: +-
<b>Bluszak</b>	Voertuig moet dicht benaderd worden, voor langere duur.  Oordeel: --	N.v.t.	Idem als dompelcontainer  Oordeel: ++	N.v.t.	Voorbehouden dat het water in de zak blijft, beperkte belasting. Oordeel: ++	Oordeel: -- Zak moet er overheen getrokken worden, vastgemaakt en vervolgens gevuld.	Oordeel: -- Zelfde argumenten als links.
<b>Vulopening</b>	Voertuig moet alleen kortstondig dicht benaderd worden.  Oordeel: +	N.v.t.	Water komt waar het ongeveer moet zijn. Rond batterijomhulling, maar niet erin.  Oordeel: +	N.v.t.	Idem aan bluslans Oordeel: +-	Oordeel: ++ Opening is al aanwezig, mits de fabrikant het ingebouwd heeft.	Oordeel: +- Opening is al aanwezig, mits de fabrikant het ingebouwd heeft. De opening moet wel bereikbaar zijn (kapje/bedekking moet weggebrand zijn!).

<b>Gecontroleerd uit laten branden</b>	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
<b>Cobra Coldcutter</b>	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.	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.
	Oordeel: --							

<b>e-Bluslans</b>	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: -
<b>Mobiele sprinkler</b>	Je moet voertuig dicht benaderen.  Oordeel: +-	N.v.t.	Afhankelijk van constructiewijze batterij en auto: zeer beperkt. Voorkomt verdere overslag bij herontsteking.  Oordeel: -	N.v.t.	In vergelijking met situatie op straat wast de sprinkler rookgassen uit in de besloten ruimte, controle over bluswater dat wegstroomt.  Oordeel: +-	Snel neer te leggen.  Oordeel: ++	Geen invasieve maatregel, er hoeven slechts slangen uitgerold te worden.  Oordeel: +



<b>Plaatsing en onderdempelen in mobiel waterbad</b>	Voor aanbrengen waterbad dicht op auto staan voor langere tijd, aanvullende risico's door vrijkomende gassen en mogelijke herontsteking.  Oordeel: --	N.v.t.	Mits water kan doordringen tot aan omhulling batterijpakket of batterijcellen is het effect maximaal.  Oordeel: ++	N.v.t.	Geen bodem, dus blijft altijd een laagje restwater over. Verder goed af te voeren.  Oordeel: +	Lange opbouwtijd.  Oordeel: --	Onhandig op te bouwen.  Oordeel: --
<b>Blusdeken</b>	Voertuig moet dicht genaderd worden. Blusdeken moet ook dekkend over voertuig aangebracht worden (kost tijd). Gasvorming onder deken kan een probleem vormen.  Oordeel: --	N.v.t.	Geen koelend effect op batterij pakket Oordeel: --	N.v.t.	Beperkt rookverspreiding/verdere verbranding, maar deken is niet gasdicht.  Oordeel: +-	Snel overheen te trekken, maar moet wel zorgvuldig gebeuren  Oordeel: +	Brandend voertuig moet dicht genaderd worden. Goed toepassen vergt enige kennis en oefening. Lastig wanneer er sprake is van beperkt zicht en een lastig bereikbaar voertuig  Oordeel: -
<b>BEST batterij blussysteem</b>	Voertuig kan op een afstand benaderd worden. Opkrikken en onderschuiven	N.v.t.	Water komt waar het moet zijn.  Oordeel: ++	N.v.t.	Beperkt waterverbruik, water kan in parkeergarage worden opgevangen.	Unit is snel in te zetten, maar auto opgekrikt moet	De onderzoekers hebben nog een hoop vragen: Hoe zit het met

	kan snel gebeuren. Verder idem aan bluslans/cobra.				Oordeel: +	worden. Oordeel: +/-	bodemspeling? Hoe lang is de naald? Kan de naald nog terug na gebruik? Hoeveel kennis/opleiding is nodig?  Oordeel: +/-
<b>Bluszak</b>	Voertuig moet dicht benaderd worden, voor langere duur.  Oordeel: --	Voertuig moet dicht benaderd worden, voor langere duur.  Oordeel: --	Idem als dompelcontainer  Oordeel: ++	N.v.t.	Voorbehouden dat het water in de zak blijft, beperkte belasting.  Oordeel: ++	Zak moet er overheen getrokken worden, vastgemaakt en vervolgens gevuld.  Oordeel: --	Zak moet er overheen getrokken worden, vastgemaakt en vervolgens gevuld.  Oordeel: --
<b>Vulopening</b>	Voertuig moet alleen kortstondig dicht benaderd worden.  Oordeel: +	N.v.t.	Water komt waar het ongeveer moet zijn. Rond batterijomhulling, maar niet erin.  Oordeel: +	N.v.t.	Beperkte milieubelasting door vrijkomend water.  Oordeel: +/-	Opening is al aanwezig, mits de fabrikant het ingebouwd heeft.  Oordeel: ++	Opening is al aanwezig, mits de fabrikant het ingebouwd heeft. De opening moet wel bereikbaar zijn (kapje/bedekking moet weggebrand

zijn!).

Oordeel: +/-

# Bijlage 3: Argumentatie beoordeling dompelcontainer en alternatieven bij scenario 2

Maatregel	Veiligheid brandweerpersoneel	Veiligheid bergingspersoneel	Koelend effect	Nevenschade voertuig	Milieubelasting	Inzettijd	Praktische toepasbaarheid
<b>Plaatsing zonder onderdempelen in dompelcontainer</b>	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: +
<b>Mobiele sprinkler (preventieve plaatsing)</b>	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: +-	+-
<b>Salvagecontainer</b>	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: +

<b>Plaatsing zonder onderdempelen in mobiel waterbad</b>	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: -
<b>Brandwerende deken</b>	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: +-
<b>Bluszak</b>							
<b>Niks doen en monitoren</b>	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: --