

Vervuiling van blus- en koelwater bij lithium-ion batterijen en elektrische voertuigen

Literatuurstudie en praktijkmetingen



Nederlandse Academie voor
Crisisbeheersing en Brandweezorg
Postbus 7010
6801 HA Arnhem
Kemperbergerweg 783, Arnhem
www.nipv.nl
info@nipv.nl
026 355 24 00

Colofon

© Nederlands Instituut Publieke Veiligheid (NIPV), 2026

| | |
|----------------|--------------|
| Auteur | H. Brans |
| Contactpersoon | I. Janssen |
| Datum | 24 juni 2026 |
| Coverfoto | Bergnet |

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.

Samenvatting

Blus- en koelwater dat vrijkomt bij incidenten met lithium-ion batterijen en elektrische voertuigen kan verontreinigd zijn met diverse schadelijke stoffen. Bluswater is het water dat vrijkomt bij het blussen en in de omgeving achterblijft. Koelwater is het water in een afgesloten bak of dompelcontainer waarin een (instabiele) batterij of elektrisch voertuig wordt ondergedompeld om te koelen. De aard en omvang van de verontreiniging van blus- en koelwater na batterijbranden zijn echter nog onvoldoende in beeld, terwijl hierover in de praktijk wel vragen bestaan, onder andere vanuit de brandweer, bergingssector en milieubeheer. Dit onderzoek heeft daarom tot doel om inzicht te geven in de samenstelling en concentraties van verontreinigingen in blus- en koelwater, op basis van zowel een literatuurstudie als praktijkmetingen aan koelwater uit dompelcontainers.

Uit de literatuurstudie blijkt dat bij blus- en koelactiviteiten bij branden met lithium-ion batterijen verschillende typen stoffen in het bluswater worden aangetroffen. Het gaat hierbij met name om zware metalen zoals nikkel, mangaan en kobalt. Deze metalen zijn kenmerkend voor lithium-ion batterijen van het subtype NMC (nikkel-mangaan-kobaltoxide), waarop de analyse van literatuurdata in dit onderzoek is gebaseerd. Daarnaast worden lithium, fluoride en in sommige gevallen PFAS gerapporteerd. Voor deze genoemde stoffen geldt dat zij in de experimenten uit de literatuur in concentraties worden gemeten die ruim boven gangbare normen voor oppervlakte- en drinkwater liggen. Daarnaast wordt in meerdere studies een verhoogde pH-waarde vastgesteld, wat duidt op basische en mogelijk bijtende eigenschappen van het blus- en koelwater.

De literatuur laat verder zien dat de mate van verontreiniging afhankelijk is van de omstandigheden waaronder de brand, de blussing en koeling plaatsvinden. Hierbij kan gedacht worden aan de schaal van het incident, de mate van beschadiging van het batterijpakket, de batterijchemie en de gekozen blusmethode. Met name in situaties waarin het water direct in contact komt met (beschadigde) batterijcellen, bijvoorbeeld bij inzet van technieken die water in het batterijpakket injecteren of koelwater langdurig in contact is met (beschadigde) batterijcellen, worden de hoogste concentraties gemeten. In situaties waarin het batterijpakket grotendeels intact blijft en het water slechts beperkt contact maakt met de cellen, blijven de concentraties lager, hoewel stoffen als lithium en fluoride ook dan duidelijk aanwezig kunnen zijn.

De praktijkmetingen in dit onderzoek richten zich op koelwater uit dompelcontainers. In totaal zijn acht incidenten bemonsterd, waarbij telkens watermonsters zijn genomen nadat het betrokken voertuig uit de dompelcontainer was verwijderd. Uit deze metingen blijkt dat in alle gevallen sprake is van verontreiniging met batterij-gerelateerde stoffen. De concentraties van nikkel, mangaan en kobalt liggen structureel boven de normen voor oppervlaktewater, terwijl koper in de meeste gevallen onder de drinkwaternorm blijft. Voor lithium en fluoride worden eveneens verhoogde concentraties gemeten die de normen voor oppervlaktewater overschrijden. Chloride wordt wel aangetroffen, maar blijft doorgaans binnen de normen. Daarnaast is in het koelwater PFAS aangetoond, zij het in relatief lage concentraties vergeleken met andere stoffen. Desondanks overschrijden deze waarden vaak de geldende

drinkwaternorm. De gemeten pH-waarden laten zien dat het koelwater licht tot matig basisch kan zijn.

Inhoud

| | | |
|----------|---|-----------|
| | Samenvatting | 3 |
| | Inleiding | 6 |
| 1 | Onderzoeksmethode | 8 |
| 1.1 | Literatuurstudie | 8 |
| 1.2 | Praktijkmetingen | 8 |
| 2 | Literatuurstudie | 12 |
| 2.1 | Stoffen en analysemethoden | 12 |
| 2.2 | Normen voor geselecteerde milieubelastende stoffen | 16 |
| 3 | Meetresultaten uit de literatuur | 18 |
| 3.1 | Meetgegevens van losse batterijen | 18 |
| 3.2 | Meetgegevens van (elektrische) voertuigen | 22 |
| 3.3 | Beschouwing | 24 |
| 4 | Meetresultaten praktijkmetingen dompelcontainers | 26 |
| 4.1 | Verslag van de monsternames | 26 |
| 4.2 | Zware metalen | 28 |
| 4.3 | Lithium, chloride en fluoride | 29 |
| 4.4 | PFAS | 29 |
| 4.5 | pH-waarde | 30 |
| 4.6 | Beschouwing | 32 |
| 5 | Conclusie | 34 |
| | Bibliografie | 35 |

Inleiding

Aanleiding

Blus- en koelwater na incidenten met lithium-ion batterijen en elektrische voertuigen kan vervuild raken met schadelijke stoffen. Bluswater is het water dat vrijkomt bij het blussen en in de omgeving achterblijft. Koelwater is het water in een afgesloten bak of dompelcontainer waarin een (instabiele) batterij of elektrisch voertuig wordt ondergedompeld om te koelen. Bij enkele praktijkmetingen door de brandweer zijn sterk verhoogde pH-waarden aangetroffen, wat duidt op bijtende eigenschappen en risico's oplevert voor brandweerpersoneel (M. Meijer, persoonlijke communicatie, 2023). Tegelijkertijd zijn er ook incidenten waarbij geen verhoogde pH-waarden zijn gemeten, zoals bij de BMW i8 in Breda (S. Korting, persoonlijke communicatie, 2023). Daarnaast is in een wetenschappelijk experiment (Held et al., 2022) vastgesteld dat de waarden van zware metalen in bluswater veel hoger liggen dan de normen die gelden voor oppervlakte- en drinkwater. Deze bevindingen wijzen erop dat de samenstelling van blus- en koelwater bij batterijbranden vervuild kan zijn, en dat de samenstelling en mate van verontreiniging kunnen variëren tussen incidenten.

De daadwerkelijke aard en mate van deze vervuiling, met name onder praktijkomstandigheden, zijn echter nog onvoldoende in beeld. Ook bestaat er onzekerheid over de samenstelling en schadelijkheid van koelwater uit dompelcontainers dat in contact is geweest met elektrische voertuigen. Uit gesprekken met bergingsbedrijven blijkt dat er behoefte is aan duidelijkheid, zowel vanwege de hoge kosten voor afvoer en verwerking als vanwege mogelijke risico's voor personeel. Tijdens het EU Energy System Safety-congres in 2023 dat plaatsvond bij het NIPV bleek bovendien dat deze kennis ook internationaal ontbreekt. Er bestaat dan ook een brede behoefte aan meer inzicht in de mate van vervuiling van blus- en koelwater bij incidenten met batterijen en elektrische voertuigen.

Doelstelling

Met dit onderzoek beogen wij door middel van een literatuurstudie en praktijkmetingen inzicht te verkrijgen in de concentraties van schadelijke stoffen in het vervuilde koel- en bluswater na incidenten met lithium-ion batterijen en elektrische autobranden waarbij het batterijpakket is betrokken geweest.

Om deze doelstelling te bereiken, richt dit onderzoek zich op drie onderdelen:

1. Het in kaart brengen van milieubelastende stoffen die in de literatuur worden beschreven, inclusief de toegepaste analysemethoden.
2. Het analyseren van in de literatuur gerapporteerde concentraties in koel- en bluswater bij batterij- en elektrische voertuigbranden.
3. Het uitvoeren en analyseren van praktijkmetingen aan koelwater afkomstig uit dompelcontainers.

De onderzoeksmethode wordt toegelicht in hoofdstuk 1.

Afbakening

In deze studie zijn de geciteerde meetresultaten uit de literatuur afgebakend tot het lithium-ion subtype NMC-batterijen (nikkel-mangaan-kobaltoxide) vanwege de aanwezigheid van relevante milieubelastende zware metalen en de beschikbare hoeveelheid onderzoeksgegevens.

Leeswijzer

In hoofdstuk 1 wordt de gebruikte onderzoeksmethode besproken. Hoofdstuk 2 gaat in op de bevindingen uit de literatuurstudie over de analyse van verschillende soorten vervuilde stoffen en op bestaande normen voor deze stoffen. In hoofdstuk 3 komen de meetresultaten aan bod die gevonden zijn in de literatuur. Hoofdstuk 4 bespreekt de resultaten van de praktijkmetingen aan het water uit dompelcontainers. Hoofdstuk 5 bevat de conclusie.

1 Onderzoeksmethode

1.1 Literatuurstudie

Dit onderzoek is gestart met een literatuurstudie met als doel bestaande kennis over de verontreiniging van blus- en koelwater bij lithium-ion batterijbranden te inventariseren en te structureren. Als uitgangspunt zijn twee publicaties bestudeerd die een eerste inhoudelijke basis boden voor het onderwerp. Vervolgens is gericht gezocht naar aanvullende literatuur waarin experimenteel onderzoek is uitgevoerd naar de samenstelling van water na blus- en koelactiviteiten bij batterijbranden. Deze zoekslag is uitgevoerd met behulp van Google Scholar en Science Direct met gerichte zoekopdrachten, zoals *'contamination of extinguishing water in li-ion battery fires'*. De selectie is daarbij beperkt tot studies waarin daadwerkelijk metingen aan watermonsters zijn gerapporteerd. De geselecteerde publicaties zijn bestudeerd om inzicht te verkrijgen in gehanteerde meetopzetten, analysetechnieken en gerapporteerde concentraties. Tijdens de literatuurstudie is ook contact opgenomen met een auteur van een bestudeerd artikel voor nadere toelichting.

Ter ondersteuning van de interpretatie van de gevonden stoffen is tevens informatie verzameld uit publieke bronnen, waaronder gezondheidsorganisaties, waterschappen, universiteiten en testlaboratoria. Deze bronnen zijn gebruikt om de potentiële effecten van aangetroffen stoffen op mens en milieu te duiden en om inzicht te verkrijgen in geschikte analysemethoden. Op basis van de literatuurstudie en deze aanvullende bronnen is een selectie gemaakt van stoffen die kenmerkend zijn voor lithium-ion batterijbranden en die, bij de gerapporteerde concentraties, potentieel schadelijk zijn voor mens en milieu. Deze selectie is gebruikt om de verdere analyse te structureren en om de meetresultaten in dit rapport overzichtelijk weer te geven. Tevens vormde deze selectie de basis voor de keuze van stoffen en analysemethoden waarvoor in het vervolg van het onderzoek metingen worden uitgevoerd.

1.2 Praktijkmetingen

1.2.1 Opstellen meetstrategie

De resultaten uit de literatuurstudie zijn gebruikt als uitgangspunt voor de opzet van de praktijkmetingen. Het doel van deze metingen was het aanvullen van de in de literatuur gerapporteerde meetgegevens met empirische data verkregen onder realistische omstandigheden. Om een meetplan te kunnen opstellen, is verkend hoe watermonsters van praktijkincidenten kunnen worden verzameld. Daarbij is onderscheid gemaakt tussen twee typen waterstromen: (a) bluswater dat na incidenten op straat achterblijft en (b) koelwater afkomstig uit dompelcontainers.

Uit deze verkenning is gebleken dat het bemonsteren van bluswater in de praktijk momenteel moeilijk uitvoerbaar is. Dit wordt voornamelijk veroorzaakt door het logischerwijs ongeplande karakter van incidenten en de beperkte controle over de omstandigheden waaronder de bemonstering zou plaatsvinden. Daarentegen bleek bemonstering van

koelwater uit dompelcontainers wel praktisch uitvoerbaar. Om die reden is de meetstrategie voor het bemonsteren van koelwater uit dompelcontainers verder uitgewerkt.

1.2.2 Uitvoering van bemonstering

Op basis van de kennis uit de literatuurstudie is een selectie gemaakt van uit te voeren wateranalyses, waarvoor is samengewerkt met een testlaboratorium dat deze analyses kon uitvoeren. Daarnaast is contact gelegd met Nederlandse bergingsbedrijven om een werkproces vast te stellen voor het verzamelen van watermonsters. Elektrische voertuigen waarbij sprake is van een (mogelijk) instabiele batterij kunnen na een incident in een dompelcontainer geplaatst en afgevoerd naar het terrein van een bergingsbedrijf, waar zij gedurende meerdere dagen tot circa een week ondergedompeld blijven in water. Er zijn monsters genomen van het water in de dompelcontainer op het moment dat dit, conform de reguliere werkwijze, wordt afgevoerd.

In Figuur 1.1 is de gebruikte meetuitrusting weergegeven. Deze bestaat onder meer uit een opstap voor het werken op geschikte, zij het beperkte, hoogte, een roerspaan voor het mengen van het water en een maatbeker aan een steel voor het nemen van monsters tot op de bodem van de container. Daarnaast zijn een pH-meter, persoonlijke beschermingsmiddelen en monsterflessen aanwezig. Per monster zijn afzonderlijke flessen gevuld voor verschillende analysetechnieken (figuur 1.3), namelijk ICP-MS, ion-chromatografie en LC-MS, die in het volgende hoofdstuk nader worden toegelicht. Verder omvat de uitrusting ondersteunende materialen zoals een emmer, spons en afvalzakken.



Figuur 1.1 Meetset watermonsters dompelcontainer

Per dompelcontainer zijn twee monsters genomen (monster A en monster B), afkomstig van tegenoverliggende zijden van de container en na circa drie minuten roeren. De analyse-resultaten van beide monsters zijn gemiddeld om tot één representatieve waarde per incident te komen. Deze werkwijze is gekozen, omdat de verontreinigingen in het water niet altijd homogeen verdeeld zijn. Met name slecht oplosbare componenten, zoals bepaalde (zware) metalen, kunnen zich ongelijkmatig verdelen of deels bezinken. Door het water vooraf te roeren wordt getracht de verdeling zo veel mogelijk te homogeniseren, terwijl het nemen van twee monsters op verschillende locaties binnen de container bijdraagt aan het beperken van lokale variaties.

Het bemonsteringsprotocol omvatte zodoende de volgende stappen:

1. Bij het verwijderen van het voertuig uit de dompelcontainer zijn waar mogelijk foto's gemaakt van het voertuig en van het beschadigde batterijpakket (figuur 1.2).
2. Het water in de dompelcontainer werd geroerd (figuur 1.3).
3. Er zijn twee afzonderlijke watermonsters genomen (figuur 1.3 en figuur 1.4).
4. De pH-waarde van de monsters is direct gemeten met een elektronische pH-meter.
5. De monsters zijn aangeboden aan een commercieel testlaboratorium voor analyse op zware metalen, lithium en PFAS.



Figuur 1.2 Links: uitgebrand voertuig uit dompelcontainer, rechts: dompelcontainer met achtergebleven vervuild koelwater



Figuur 1.3 Links roeren van het water, rechts nemen van watermonster



Figuur 1.4 Het vullen van de flesjes

1.2.3 Nulmeting

Om mogelijke achtergrondconcentraties te bepalen, is als referentie een nulmeting uitgevoerd. Het doel hiervan was het vaststellen van eventuele restverontreinigingen afkomstig van de dompelcontainer zelf. Hierbij is een 'bezemschoon' gereinigde dompelcontainer (figuur 1.5) gevuld tot een watervolume dat vergelijkbaar was met die van een reguliere inzet (figuur 1.6). Vervolgens zijn op identieke wijze als bij de praktijkmetingen watermonsters genomen.



Figuur 1.5 Bezemschoon opgeleverde dompelcontainer



Figuur 1.6 Gevulde dompelcontainer nulmeting

2 Literatuurstudie

In dit hoofdstuk wordt op basis van wetenschappelijke literatuur onderzocht welke stoffen in experimenten zijn aangetroffen in blus- en koelwater afkomstig van branden met lithium-ion batterijen en elektrische voertuigen. Daarbij wordt ook ingegaan op de aard van deze stoffen en de mogelijke risico's voor mens en milieu. Om onze analyse van vervuild bluswater te structureren, is een selectie gemaakt van relevante milieubelastende stoffen. Deze selectie is gebaseerd op stoffen die (1) aantoonbaar in verhoogde concentraties voorkomen bij batterij- en EV-branden, (2) chemisch gerelateerd zijn aan batterijen en (3) in de literatuur als potentieel schadelijk worden aangemerkt. Tot slot worden bij de geselecteerde stoffen geschikte analysemethoden beschreven en geldende normen en referentiewaarden benoemd.

2.1 Stoffen en analysemethoden

Blus- en koelwater dat tijdens brandbestrijding van batterijbranden en elektrische voertuigen wordt gebruikt, kan verontreinigd raken doordat deeltjes uit de rookpluim worden weggespoeld en schadelijke stoffen uit roet en materialen in het water terecht komen. Verschillende studies tonen aan dat bluswater van branden met elektrische voertuigen en batterijen aanzienlijke hoeveelheden schadelijke stoffen bevat, wat wijst op een potentieel milieurisico (Bordes et al., 2024; Held et al., 2022; RISE, 2023; RIVM, 2021). Daarbij blijkt met name het (na)spoelen en onderdompelen van batterijen te leiden tot hogere verontreinigingsniveaus, doordat het water intensief in contact komt met beschadigde batterijcellen. De onderstaande paragrafen zijn per stofcategorie opgebouwd. Per categorie wordt hieronder ingegaan op de aangetroffen stoffen, de selectie voor verdere analyse en welke analysemethoden geschikt zijn om stoffen in watermonsters te meten.

2.1.1 Zware metalen en Lithium

In de verbrandingsproducten van elektrische voertuigbranden en batterijbranden kunnen verschillende (zware) metalen worden aangetroffen. Wat betreft gezondheid en milieu, worden zware metalen beschouwd als de ernstigste vervuilers vanwege hun persistentie en mogelijke schadelijke effecten op de gezondheid (Quant et al., 2023). Lood (Pb), kwik (Hg), cadmium (Cd), arseen (As), chroom (Cr), nikkel (Ni) en koper (Cu) worden hierbij als schadelijke zware metalen gerekend (Briffa et al., 2020). Kwik, lood, cadmium en koper worden vaak genoemd als de ernstigste milieuverontreinigende stoffen, omdat ze bioaccumuleren en een hoge toxiciteit hebben voor waterorganismen (Quant et al. 2023). Van deze stoffen worden nikkel en koper in de bestudeerde literatuur ook daadwerkelijk in verhoogde concentraties in het bluswater gemeten. Chroom (Cr) is in een experiment in een zeer lage concentratie gemeten (Quant et al. 2023).

Andere metalen die in verhoogde concentraties zijn gemeten, zijn in het bijzonder lithium (Li) en verder mangaan (Mn), ijzer (Fe) en kobalt (Co). Lithium is gemeten in alle wateranalyses (Bordes et al., 2024; Held et al., 2022; RISE, 2023; RIVM, 2021). Hiervoor zijn echter geen eenduidige grenswaarden vastgesteld. Lithium en lithiumhoudende verbindingen uit

batterijen kunnen, zodra ze vrijkomen en met water in contact komen, reageren tot lithiumhydroxide (RIVM, 2019). Dit heeft een sterk verhogende werking op de pH-waarde en kan daardoor schadelijk zijn voor brandweerpersoneel.

Batterij-specifieke metalen zoals mangaan, nikkel, kobalt en lithium, afkomstig uit de kathode van de batterij, komen vrij bij thermal runaway van batterijmodules (Bordes et al., 2024). Deze metalen worden eveneens aangetroffen in het bluswater van batterijpakketten en elektrische voertuigen, en ontbreken of komen slechts in zeer beperkte mate voor bij voertuigen met een verbrandingsmotor (Quant et al., 2023).

Voor de selectie van stoffen om de meetresultaten van te analyseren hebben wij in deze studie gekozen voor nikkel, koper, kobalt en mangaan. Deze metalen komen namelijk voor in de kathode of andere onderdelen van lithium-ion batterijen. In experimenten met batterijen en EV-branden komen deze vier stoffen structureel naar voren als batterij-specifiek, en zijn in verhoogde concentraties gemeten (Bordes et al., 2024; Held et al., 2022; RISE, 2023; RIVM, 2021). Ze worden in de literatuur ook aangemerkt als zorgwekkend vanwege toxiciteit en mogelijke ecologische schade. Zwarte metalen zijn ook schadelijk voor (micro-)organismen in water. Zo kan er bijvoorbeeld milieuschade worden veroorzaakt wanneer bluswater terechtkomt in oppervlaktewater.

Verder komt ook lithium in verhoogde concentraties voor in alle wateranalyses uit de literatuur, dat vanzelfsprekend ook een belangrijk bestanddeel van lithium-ion batterijen vormt. Lithium dat vrijkomt bij batterijbranden kan bij contact met water reageren tot lithiumhydroxide, dat een sterk bijtende werking heeft (zie boven). Om deze redenen is lithium ook geselecteerd voor dit onderzoek.

ICP-MS

Inductief gekoppelde plasmamassaspectrometrie (ICP-MS) is een meettechniek waarmee op basis van het verschil in massa direct metalen en enkele niet-metalen gedetecteerd kunnen worden (Bordes et al. 2024). In totaal kunnen er ongeveer 80 verschillende elementen worden gedetecteerd. De ICP-MS heeft een zeer grote nauwkeurigheid en in principe kan met een ICP-MS-analyseronde de concentratie van alle mogelijke metalen worden gemeten.

2.1.2 Ionen (fluoride en chloride)

In de verbrandingsproducten van elektrische voertuigbranden en batterijbranden kunnen ook fluoride- en chloride-ionen worden aangetroffen. Uit testen met bluswater bleek dat fluoride-ionen (F^-) met name uit de batterij komen. Chloride-ionen (Cl^-) komen uit het voertuigchassis (Quant et al. 2023; Bordes et al. 2024). Hoewel chloride-ionen gebruikelijk zijn in afvalwater, kunnen verhoogde concentraties ongewenst zijn in het milieu; fluoride-ionen worden echter als duidelijk problematischer beschouwd en grote hoeveelheden fluoride zijn dan ook niet wenselijk in afvalwater (Lenntech, z.d.).

Waterstoffluoride is een toxisch en corrosief gas dat kan vrijkomen bij een thermal runaway van lithium-ion batterijen uit fluorhoudende verbindingen (Simek et al. 2024). Dit kan tijdens incidenten een direct gevaar opleveren voor brandweerpersoneel. Bij inademing is het direct schadelijk voor de gezondheid. Daarnaast kan het leiden tot ernstige irritatie en diepe weefschade bij contact met huid of ogen (Schwerin en Hatcher, 2023); dit geldt ook voor andere fluorhoudende verbindingen (Universiteit Leiden, z.d.). Fluorhoudende verbindingen

kunnen zich hechten aan oppervlakken en daardoor achterblijven in de omgeving, bijvoorbeeld op materialen, in ruimtes en op brandweeruitrusting na een incident.

Er is geen directe correlatie tussen de gemeten fluorideconcentratie in water en de concentratie waterstoffluoride die tijdens het incident is vrijgekomen. Fluoride kan daarom niet gebruikt worden om de hoeveelheid HF die is vrijgekomen bij een incident kwantitatief te bepalen, maar het kan wel dienen als indicatieve parameter voor de aanwezigheid van fluorhoudende verbindingen (Sjölin, 2025).

Voor de verdere analyse in deze studie worden zowel fluoride als chloride meegenomen. Fluoride wordt geselecteerd vanwege de mogelijke relatie met fluorhoudende verbrandingsproducten en vanwege de intrinsieke schadelijkheid bij verhoogde concentraties. Chloride wordt meegenomen, omdat dit een component is van waterstofchloride (HCl), een ander toxisch en corrosief gas dat kan vrijkomen bij thermal runaway.

Ion-chromatografie

Ion-chromatografie wordt vaak gebruikt om ionen in watermonsters te analyseren. Ion-chromatografie werkt door de vloeistof door een speciale kolom te laten stromen, waarin de verschillende soorten ionen worden gescheiden op basis van hun elektrische lading (Instrument Solutions, 2020). Ze worden vervolgens gedetecteerd en gekwantificeerd.

2.1.3 pH-waarde

De pH-waarde vormt een belangrijke indicator voor acute risico's voor hulpverleners. Afwijkende pH-waarden kunnen leiden tot huid- en oogletsel. Een verhoogde pH-waarde wordt met name veroorzaakt door de vorming van metaaloxiden en in het bijzonder lithiumhydroxide (Bordes et al., 2024). In experimenten is aangetoond dat de pH-waarde bij elektrische voertuigbranden hoger ligt dan bij conventionele voertuigbranden (RISE, 2023). Zeer hoge pH-waarden worden met name gemeten wanneer bluswater direct op batterijen wordt gebracht of wanneer batterijen worden ondergedompeld (Held et al., 2022; Quant et al., 2023).

pH-papier en elektronische pH-meter

Met pH-papier of elektronische pH-meters kan binnen enkele minuten een pH-meting worden gedaan.

2.1.4 PFAS

PFAS (poly- en perfluoralkylstoffen) is een verzamelnaam voor een groot aantal stoffen. Deze stoffen worden als milieuverontreinigend beschouwd, omdat ze zich ophopen in de voedselketen in de natuur (bioaccumulatie) (Quant et al. 2023). PFAS is al enige tijd onder de aandacht als milieuprobleem. Inmiddels is er vanuit de Europese Unie strengere regelgeving voor PFAS. In een recent onderzoek is vastgesteld dat er een hoeveelheid PFAS vrij kan komen bij batterijbranden (Willstrand et al., 2025). Daarbij is in de experimenten één verboden PFAS-soort gedetecteerd, afkomstig uit een batterijcel (J. Hynynen, persoonlijke communicatie 17 juli 2024). PFAS geeft bij blootstelling geen acute lichamelijke reacties, maar heeft wel op de lange termijn negatieve effecten op de gezondheid. Aangezien PFAS op Europees niveau onder streng toezicht staat en de risico's ervan breed erkend zijn, is gekozen deze stofgroep mee te nemen in dit onderzoek.

LC-MS

PFAS kunnen worden gedetecteerd met de LC-MS techniek. Dit staat voor Liquid Chromatography Mass Spectrometry en is een geavanceerde analysetechniek, die bestaat uit ten minste twee stappen. Eerst scheidt een vloeistofchromatograaf (LC) de verschillende stoffen op basis van chemische eigenschappen. Daarna worden deze stoffen in een massaspectrometer (MS) gedetecteerd op basis van massa en elektrische lading. Door de combinatie van de twee analysetechnieken kunnen met grote nauwkeurigheid stoffen worden geïdentificeerd.

2.1.5 PAK's en VOS

PAK's zijn polycyclische aromatische koolwaterstoffen die kunnen vrijkomen in het bluswater bij branden (Bordes et al. 2024). Bij een experiment van RISE zijn metingen aan PAK's in bluswater verricht van een los (dus zonder voertuig erom heen) batterijpakket, een conventioneel voertuig en een elektrisch voertuig. Hierbij zijn geen PAK's aangetoond bij de test met het batterijpakket. Wel zijn er PAK's aangetroffen bij de voertuigbranden, en lag de concentratie PAK's het hoogst bij het conventionele voertuig, hetgeen impliceert dat het voertuigchassis en benzine de grootste bijdrage aan de hoeveelheid PAK's leveren (Quant et al. 2023). Bij het spoelen van de rookgassen zijn wel concentraties PAK waargenomen, maar deze waren een stuk hoger. De hoeveelheid PAK's vormen daarmee naar onze verwachting geen dominant of substantieel onderdeel van de verontreiniging als gevolg van batterijbranden en worden daarom niet meegenomen in de wateranalyses.

Hetzelfde geldt voor VOS, vluchtige organische stoffen. Deze worden vaker bij conventionele voertuigen gemeten en zijn in de batterijtesten ook niet boven de drempelwaarde gemeten (RISE, 2023). Om die reden houden wij geen rekening met deze categorie stoffen in dit onderzoek .

2.1.6 Toxiciteit

Als onderdeel van een uitgebreide wateranalyse heeft RISE uit Zweden ook toxiciteitstesten uitgevoerd. Aanleiding hiervoor was de discussie over de vervuiling van bluswater na incidenten met elektrische voertuigen in vergelijking met conventionele voertuigen (J. Hynynen, persoonlijke communicatie, 17 juli 2024). Om de toxiciteit te bepalen, zijn biologische testen uitgevoerd met bacteriën en algen door een gespecialiseerd laboratorium. Het gaat om de volgende testen:

- > Microtox, SS-EN ISO 11348-3:2008
- > Green Algae, SS-EN ISO 8692:2012
- > Daphna Magna, SS-EN ISO 6341:2012.

De analyses toonden aan dat het bluswater giftig was voor de geteste aquatische soorten, wat een indicatie is van de milieu-impact en ecologische schade van het vervuilde water. De genoemde aquatische soorten staan namelijk laag in de voedselketen. De testen zeggen verder niets over de samenstelling van het water. Hoewel dergelijke analyses nuttig zijn, worden deze in onze praktijkmetingen niet uitgevoerd, omdat die zich in eerste instantie richten op het onderzoeken van de stoffen en concentraties daarvan. Daarnaast zijn deze testen ook kostbaar en kunnen alleen uitgevoerd worden door gespecialiseerde laboratoria.

2.2 Normen voor geselecteerde milieubelastende stoffen

In Tabel 2.1 staan verschillende normen voor de geselecteerde stoffen, afkomstig uit diverse wetten en richtlijnen die zijn opgenomen in het *zoeksysteem risico's van stoffen* van het RIVM. Hierbij is onderscheid gemaakt tussen normen voor drinkwaterkwaliteit, oppervlaktewater en signaleringswaarden in het kader van grondwatersanering. De drinkwaternormen zijn doorgaans de laagste concentraties (en daarmee het strengst), gevolgd door de normen voor oppervlaktewater en vervolgens de signaleringswaarden voor grondwatersanering. Niet voor alle stoffen zijn binnen elk kader namelijk normen vastgesteld. De normen in Tabel 2.1 worden in deze rapportage gebruikt als referentiekader. Hierbij wordt opgemerkt dat ze mogelijk niet altijd specifiek zijn afgestemd op de onderzochte situatie en dat in de praktijk verdunning kan optreden. De normen dienen daarom vooral ter duiding van de gemeten concentraties.

De signaleringsparameter voor de beoordeling van grondwatersanering is een indicatieve waarde die aangeeft wanneer mogelijk sprake is van verontreiniging van bodem of grondwater en nader onderzoek nodig kan zijn. De MAC-MKN (maximaal aanvaardbare concentratie – milieukwaliteitsnorm) is een milieukwaliteitsnorm voor oppervlaktewater en geeft de concentratie aan waarbij geen acute schadelijke effecten optreden voor aquatische organismen. De drinkwaterkwaliteitseis geeft de maximale concentratie van een stof in water die veilig is voor menselijke consumptie en geen risico vormt voor de volksgezondheid.

De MTR-waarden (maximaal toelaatbaar risico) voor oppervlaktewater geven de concentratie aan waarbij op de lange termijn geen schadelijke effecten voor het aquatisch milieu worden verwacht. Deze normen zijn gericht op chronische blootstelling van organismen in oppervlaktewater. Voor sommige stoffen wordt onderscheid gemaakt tussen normen voor zoet of zout water. Hierbij gelden vaak verschillende grenswaarden, omdat de verspreiding, oplosbaarheid en toxiciteit van stoffen kunnen verschillen tussen zoet en zout water.

Tabel 2.1 Normen voor geselecteerde stoffen (bron: RIVM, <https://rvszoeksysteem.rivm.nl/Stoffen>)

| Stof | Normen | |
|----------|-------------|--|
| Nikkel | 0,075 mg/l | Signaleringsparameter beoordeling grondwatersanering |
| | 0,034 mg/l | MAC-MKN |
| | 0,020 mg/l | Drinkwaterkwaliteitseis |
| Mangaan | 0,5 mg/l | Oppervlaktewater voor drinkwater |
| | 0,050 mg/l | Drinkwaterkwaliteitseis |
| Kobalt | 0,1 mg/l | Signaleringsparameter beoordeling grondwatersanering |
| | 0,0014 mg/l | MAC-MKN |
| Koper | 2 mg/l | Drinkwaterkwaliteitseis |
| Lithium | 0,120 mg/l | Oppervlaktewater zout |
| | 0,0035 mg/l | Oppervlaktewater zoet |
| Fluoride | 1,5 mg/l | MTR Landoppervlaktewateren |
| | 1,0 mg/l | Drinkwaterkwaliteitseis |
| Chloride | 200 mg/l | MTR Landoppervlaktewateren |
| | 150 mg/l | Drinkwaterkwaliteitseis |

| | | |
|------------------|----------|-------------------------|
| PFAS | 0,1 µg/l | Drinkwaterkwaliteitseis |
| pH-waarde | 7 – 9,5 | Drinkwaterkwaliteitseis |

3 Meetresultaten uit de literatuur

In dit hoofdstuk zijn de meetresultaten van wateranalyses opgenomen van diverse experimenten aan losse batterijcellen en batterijmodules, afkomstig uit de literatuur. Tevens worden de meetresultaten gepresenteerd van wateranalyses uitgevoerd tijdens experimenten met volledige voertuigen, eveneens afkomstig uit de literatuur.

3.1 Meetgegevens van losse batterijen

In deze paragraaf worden de meetresultaten zoals gepubliceerd in de wetenschappelijk literatuur, besproken van wateranalyses van diverse experimenten aan losse batterijcellen en batterijmodules. Hierbij is onderscheid gemaakt tussen metingen aan bluswater en koelwater.

3.1.1 Bluswater

In de wetenschappelijke literatuur en onderzoeksrapporten zijn meerdere studies gevonden waarin wateranalyses van losse batterijcellen of batterijmodules zijn uitgevoerd. In twee studies (RIVM, 2021 en Held et al., 2022) is water dat in contact is gebracht met vrijkomende (rook)gassen van batterijbranden geanalyseerd. Dit zogenoemde 'waswater' is hier opgenomen, omdat bluswater ook in contact kan komen met de rookgassen. Twee andere studies hebben het bluswater geanalyseerd in een laboratoriumomgeving (RISE, 2023 en Bordes et al., 2024). In een vervolgstudie van RISE werd het roet van een batterijbrand bovendien nader geanalyseerd, met specifieke aandacht voor de aanwezigheid van PFAS (Willstrand et al., 2025). Daarnaast is in een test van Coldcut Academy het achtergebleven bluswater geanalyseerd na inzet van een ultrahogedruk snij- en blussysteem (uhd-blussysteem) op een los batterijpakket (Coldcut Academy, 2021). Het uhd-blussysteem is een relatief nieuwe methode voor de bestrijding van batterijbranden in elektrische auto's, waarbij water in het batterijpakket wordt geïnjecteerd (Hessels & Brans, 2024). De hier beschreven studies worden hieronder verder toegelicht in het blauwe kader onder Tabel 3.1.

In Tabel 3.1 zijn de meetwaarden van de testen aan bluswater van losse batterijcellen en batterijmodules weergegeven. Van elke studie wordt hierbij telkens één meting weergegeven. In de toelichting in het blauwe kader onder de tabel wordt hier verder op ingegaan. In de tabel zijn de concentraties weergegeven van de milieubelastende stoffen die in deze studie worden geanalyseerd (zie het vorige hoofdstuk). In deze tabel betekent 'geen meting' dat er geen meting is verricht, en '< detectie' dat er wel een meting is verricht, maar dat de stof niet werd gemeten of de meetwaarde zich onder de detectiegrens bevond. De stoffen worden in concentraties van mg/l genoemd, met uitzondering van PFAS, die staan weergegeven in µg/l. De pH-waarde heeft geen eenheid.

Tabel 3.1 Meetwaarden bluswater losse Li-ion NMC-batterijen in experimenten

| Experiment | RIVM, 2021 | Held et al., 2022 | RISE, 2023 | Bordes et al., 2024 | Coldcut Academy, 2021 | Normen ¹ (zie toelichting par. 2.2) |
|------------------------|--|-----------------------------|---|---|--|--|
| <i>Testobject</i> | 4 stuks NMC-batterijcellen, totaal 42 Wh | 4,15 kWh NMC-batterijmodule | 50 kWh NMC-batterijpakket (uitgebrand, behuizing intact gebleven) | 0,5 kWh NMC-batterijmodule (volledig uitgebrand, module beschadigd) | Uhd-inzet op los 78 kWh NMC-batterijpakket | |
| Nikkel (mg/l) | 5,6 | 36 | < detectie ² | 49 | 60 | 0,075 (a) |
| Mangaan (mg/l) | 2,0 | 36 | < detectie | 17 | 18 | 0,5 (b) |
| Kobalt (mg/l) | 1,2 | 36 | < detectie | 12,8 | 14 | 0,1 (a) |
| Koper (mg/l) | 0,2 | geen meting | 0,002 | 0,26 | 0,77 | 2 (b) |
| Lithium (mg/l) | 47,3 | 7 | 110 | 27,8 | 310 | 0,120 (c) |
| Fluoride (mg/l) | 83,4 | 8 | 70 | 91,6 | 131 | 1,5 (d) |
| Chloride (mg/l) | geen meting | 2 | 53 | 36,5 | 87,4 | 200 (d) |
| PFAS (µg/l) | geen meting | geen meting | 4,7 | geen meting | 5,47 | 0,1 (b) |
| pH-waarde | geen meting | 8,2 | 9,1 | 5,9 | 9,1 | 7 – 9,5 (b) |

Toelichting bij experimenten uit de literatuur in Tabel 3.1

RIVM, 2021

Het RIVM heeft in 2021, als onderdeel van een experiment naar de rookgassen die vrijkomen bij een thermal runaway van Li-ion-batterijen, ook metingen verricht aan water dat in contact is gekomen met deze rookgassen. In de betreffende publicatie wordt dit aangeduid als *waswater*. De rookgassen zijn met behulp van een sproeinevel uitgewassen, waarna het opgevangen water is geanalyseerd op onder andere fluoriden en zware metalen. Dit water is dus niet direct op de batterijen gesproeid, maar is specifiek gebruikt om de rook uit te wassen. Het doel was om inzicht te krijgen in de vervuilende stoffen die worden opgenomen, wanneer water in contact komt met rookgassen tijdens incidentbestrijding. Er zijn drie testen uitgevoerd waarbij waswater is opgevangen. Test 1 betrof twee cilindrische NMC-cellen, test 2 een enkele LFP-pouchcel, en test 3 vier cilindrische NMC-cellen. In de voorliggende rapportage zijn de resultaten van test 3 opgenomen. Dit is de test met het grootste aantal batterijcellen en met NMC-chemie, waarbij relatief veel zware metalen vrijkomen.

Held et al., 2022

In het experiment van Held et al. (2022) is een 4,15 kWh NMC-batterijmodule, bestaande uit twaalf prismatische NMC-cellen, in thermal runaway gebracht via mechanische penetratie. De module is

¹ (a): Signaleringswaarde voor bodemsanering. (b): Drinkwaterkwaliteitseis. (c): Oppervlaktewater zout. (d): MTR Landoppervlaktewateren.

² Hoewel in dit experiment nikkel, mangaan en kobalt niet zijn gemeten in het bluswater, zijn deze stoffen wel in aanzienlijke concentraties in het roet waargenomen: nikkel in 51 promille, mangaan in 7,9 promille en kobalt in 9,5 promille roet.

daarbij niet geblust. Net als in de studie van het RIVM zijn de vrijgekomen rookgassen met een sproeiveel uitgewassen, waarna het opgevangen waswater werd geanalyseerd.

RISE, 2023

In dit experiment van RISE is bluswater geanalyseerd na testen met een batterijpakket uit een elektrische auto, een volledig batterij-elektrische auto en een conventionele auto (de metingen aan de auto's worden in het volgende hoofdstuk besproken). De test met het batterijpakket betrof een 50 kWh NMC-batterij uit een kleine SUV. Deze werd met behulp van een propaangasbrander in brand gezet om een thermal runaway te initiëren. Het batterijpakket was afgeschermd om het chassis van een voertuig te simuleren. Tijdens de test werd verwacht dat het bluswater slechts een beperkt koelend effect zou hebben, omdat het op de behuizing werd gespreid en nauwelijks in direct contact kwam met de cellen – een probleem dat ook in de praktijk wordt gezien.

Het valt op dat bij de test met het afgeschermd batterijpakket geen zware metalen werden gemeten door RISE, maar wel lithium en fluoride. De auteurs van RISE geven als een mogelijke verklaring dat de vervuilende stoffen ongelijk verdeeld zijn in het bluswater, door variaties in verbranding, rookdichtheid, oplosbaarheid en de manier waarop het water met de rook in contact kwam. Bovendien was sprake van een statische sprinkleropstelling en werd slechts een deel van het water bemonsterd. De onderzoekers van RISE raden om deze redenen af om deze data te gebruiken voor extrapolatie, wat geïnterpreteerd zou kunnen worden dat meer metingen onder andere omstandigheden nodig zijn om een betrouwbaarder beeld te krijgen van de daadwerkelijke vervuiling bij incidenten.

Bordes et al., 2024

In een test in Frankrijk zijn metingen uitgevoerd aan drie batterijmodules die in thermal runaway zijn gebracht en vervolgens door een watersproeier zijn gespreinklerd. In dit experiment zijn drie testen uitgevoerd. Test 1 en test 2 zijn uitgevoerd met een 500 Wh batterijmodule van prismatische NMC-cellen die door een gasbrander in thermal runaway is gebracht. Bij beide testen is 7 liter water opgevangen. Bij test 3 is een 900 Wh batterijmodule met cilindrische NMC-cellen door een verwarmingsplaat in thermal runaway gebracht en is 9 liter water opgevangen. In Tabel 3.1 zijn de resultaten van test 2 opgenomen.

Coldcut Academy, 2021

Door Coldcut Academy zijn testen uitgevoerd op het NMC-batterijpakket van twee hybride voertuigen en twee elektrische voertuigen. Hierbij zijn testen met additieven en zonder additieven aan het bluswater uitgevoerd. In Tabel 3.1 is het watermonster opgenomen van test 4 zonder additieven.

Uit de meetwaarden in Tabel 3.1 blijkt dat in het bluswater verschillende zware metalen, zoals nikkel, mangaan en kobalt, evenals stoffen als lithium en fluoride, in duidelijke concentraties voorkomen. Voor nikkel, mangaan, kobalt, lithium en PFAS geldt dat de gemeten concentraties in diverse experimenten boven gangbare milieukundige grens- en richtwaarden liggen voor oppervlaktewater of lozing (zie paragraaf 2.2). Dit duidt op significante verontreiniging van het bluswater.

Het blijkt dat met name in experimenten waarbij sprake is van directe aantasting van batterijcellen (zoals bij uitgebrande en beschadigde batterijmodules) of inzet van blusmethoden die water in het batterijpakket injecteren (zoals bij het uhd-blussysteem), hogere concentraties zware metalen worden gemeten. In experimenten waarbij het batterijpakket intact blijft of afgeschermd is, worden juist lagere of geen concentraties zware metalen aangetroffen, terwijl stoffen als lithium en fluoride wel duidelijk aanwezig blijven. Dit wijst erop dat de mate waarin cellen daadwerkelijk worden aangetast, van grote invloed is op de samenstelling van het bluswater.

3.1.2 Koelwater

Er zijn drie experimenten gevonden in de literatuur waarin metingen zijn verricht aan koelwater. Twee daarvan maken deel uit van studies waarin ook bluswater is geanalyseerd (zoals besproken in de vorige paragraaf). In deze gevallen zijn de batterijcellen, na afloop van de rookgastesten, ondergedompeld in water om af te koelen. Het derde experiment, uitgevoerd door de Tsjechische Brandweeracademie, was specifiek gericht op het dompelen van batterijcellen met als doel ze te koelen en de waterkwaliteit te analyseren.

In Tabel 3.2 zijn de meetresultaten weergegeven van experimenten waarin batterijcellen en batterijmodules zijn gedompeld in koelwater. Bij elk experiment uit de literatuur is een toelichting gegeven in het blauwe kader onder de tabel. De indeling van deze tabel heeft dezelfde structuur als die van Tabel 3.1 in paragraaf 3.1.1.

Tabel 3.2 Meetwaarden koelwater van batterijen in experimenten

| Experiment | RIVM, 2021 | Held et al., 2022 | Karl et al., 2022 | Karl et al., 2022 | Normen ⁴ (zie toelichting par. 2.2) |
|------------------------|--|---|---|---|---|
| <i>Testobject</i> | <i>1,5 uur dompelen van 4 losse NMC-batterijcellen 42 Wh</i> | <i>Onbekende tijdsduur dompelen³ van 4,15 kWh NMC-batterijmodule</i> | <i>24 uur dompelen van 4 losse NMC-batterijcellen 42 Wh</i> | <i>1 week dompelen van 4 losse NMC-batterijcellen 42 Wh</i> | |
| Nikkel (mg/l) | 0,6 | 55 | 4,56 | 2,9251 | 0,075 (a) |
| Mangaan (mg/l) | 0,1 | 53 | 0,91 | 2,1122 | 0,5 (b) |
| Kobalt (mg/l) | 0,2 | 50 | 1,02 | 0,9505 | 0,1 (a) |
| Koper (mg/l) | 0,3 | geen meting | 0,0013 | 0,0089 | 2 (b) |
| Lithium (mg/l) | 676 | 1460 | 425,54 | 542,69 | 0,120 (c) |
| Fluoride (mg/l) | 59,7 | 330 | geen meting | geen meting | 1,5 (d) |
| Chloride (mg/l) | geen meting | 22 | geen meting | geen meting | 200 (d) |
| PFAS (µg/l) | geen meting | geen meting | geen meting | geen meting | 0,1 (b) |
| pH-waarde | 13 | 12,3 | 12,35 | 12,20 | 7 – 9,5 (b) |

Toelichting bij experimenten uit de literatuur

RIVM, 2021

Het RIVM heeft de geteste NMC-batterijcellen (2 stuks en 4 stuks), zoals besproken in het blauwe kader in paragraaf 3.1, in 150 ml water gedompeld gedurende 1,5 uur. In Tabel 3.2 wordt net als in de vorige paragraaf het monster met 4 stuks NMC-batterijcellen weergegeven.

Held et al. 2022

Bij deze meting is een NMC-batterijmodule van 4,15 kWh nadat deze was uitgebrand ondergedompeld in koelwater. De tijdsduur van het dompelen wordt in het artikel niet vermeld.

³ In dit artikel wordt voor de metalen “dissolved” (opgelost) en “particle bound” (deeltjesgebonden) concentraties gegeven. In deze tabel wordt de opgeloste concentraties weergegeven.

⁴ (a): Signaleringswaarde voor bodemsanering. (b): Drinkwaterkwaliteitseis. (c): Oppervlaktewater zout. (d): MTR Landoppervlaktewateren.

Karl et al. 2022

In dit experiment van de Tsjechische Brandweeracademie in Praag zijn vijf testen uitgevoerd met telkens vier cilindrische NMC-cellen, genummerd van sample 1 tot en met 5. Hiervan zijn twee setjes met onverbrande cellen (sample 1 en 2) en drie setjes met verbrande cellen (sample 3, 4 en 5) ondergedompeld in afzonderlijke containers met 1500 ml water. Daarnaast zijn drie setjes prismatische NMC-cellen getest, waarvan één onverbrand (sample 3) en twee verbrand (sample 1 en 2). Van elk monster zijn watermetingen verricht na 24 uur, 48 uur, 1 week en 1 maand dompeling. In de Tabel 3.2 is sample 5 (cilindrisch, verbrand) opgenomen, met meetresultaten van 24 uur en 1 week na dompeling.

Uit de meetwaarden in Tabel 3.2 blijkt dat het koelwater na onderdompeling van (verbrande) NMC-batterijen verontreinigd raakt. Met name de concentraties van zware metalen zoals nikkel, mangaan en kobalt liggen in meerdere experimenten ruim boven de gehanteerde grenswaarden. Dit geldt in het bijzonder voor de metingen van Held et al. (2022), waar concentraties tientallen tot honderden malen hoger liggen dan de grenswaarden.

Daarnaast vallen de zeer hoge concentraties lithium op, die in alle experimenten in grote hoeveelheden in het water aanwezig zijn. Ook fluoride wordt, waar gemeten, in duidelijke concentraties aangetroffen. Deze stoffen zijn sterk gerelateerd aan materialen uit de batterij en bevestigen dat bij onderdompeling deze stoffen uit de batterij in het water vrijkomen. Ook wordt duidelijk uit de tijdsafhankelijke metingen van Karl et al. (2022) dat bij langere dompeltijden (tot één week) relevante concentraties metalen aanwezig blijven en in sommige gevallen toenemen. Dit wijst erop dat het vrijkomen van stoffen uit de batterij in het water gedurende langere tijd kan doorgaan.

Verder valt de zeer hoge pH-waarde op (circa 12–13), die ruim buiten de gangbare grenswaarden ligt (pH 7–9,5). Dit wijst op sterk basisch water en onderstreept dat het koelwater chemisch aanzienlijk verandert door contact met batterijmaterialen. Hoewel de meetresultaten variëren tussen de experimenten, onder andere door verschillen in testopzet, batterijtype, verbrandingsgraad en dompeltijd, laten de resultaten consistent zien dat koelwater bij batterijbranden een belangrijke drager is van milieubelastende stoffen. De gemeten concentraties overschrijden in meerdere gevallen de geldende grenswaarden.

3.2 Meetgegevens van (elektrische) voertuigen

In deze paragraaf worden de meetresultaten gepresenteerd van wateranalyses afkomstig uit experimenten met volledige voertuigen. Het gaat hier om wateranalyses die drie scenario's uit de praktijk nabootsen:

1. Bluswater na lagedrukblussing van een elektrisch voertuig (BEV)
2. Bluswater na lagedrukblussing van een conventioneel voertuig (ICEV)
3. Inzet van een uhd-blussysteem op het batterijpakket van een elektrisch voertuig (BEV).

Hierbij dient opgemerkt te worden dat scenario 3 kan volgen op scenario 1, wanneer bij de blussing van de voertuigcarrosserie van een elektrisch voertuig blijkt dat het batterijpakket is betrokken en wordt besloten om het uhd-blussysteem in te zetten. In Tabel 3.3 zijn de meetresultaten van experimenten met volledige voertuigen uit de literatuur weergegeven. De experimenten zelf worden toegelicht in het blauwe kader onder Tabel 3.3.

Tabel 3.3 Meetresultaten bluswater elektrisch voertuig

| Experiment | RISE, 2023 | RISE, 2023 | RIVM, 2025 | RIVM, 2025 | Normen ⁵ (zie toelichting par. 2.2) |
|------------------------|------------------------------------|----------------------------------|--|--|---|
| <i>Testobject</i> | <i>BEV met 50 kWh NMC-batterij</i> | <i>ICEV met 40 liter benzine</i> | <i>BEV met 75 kWh NMC-batterij, voor uhd-inzet</i> | <i>BEV met 75 kWh NMC-batterij, na uhd-inzet</i> | |
| Nikkel (mg/l) | 0,08 | 0,02 | 16,2 | 920 | 0,075 (a) |
| Mangaan (mg/l) | 0,14 | - | 22,6 | 82 | 0,5 (b) |
| Kobalt (mg/l) | 0,03 | 0,06 | 2,8 | 152 | 0,1 (a) |
| Koper (mg/l) | 0,03 | 0,04 | 1,7 | 42 | 2 (b) |
| Lithium (mg/l) | 4,10 | 0,05 | 12,3 | 286 | 0,120 (c) |
| Fluoride (mg/l) | 19 | 7,6 | 9,1 | 160 | 1,5 (d) |
| Chloride (mg/l) | 140 | 250 | 359 | 134 | 200 (d) |
| PFAS (µg/l) | 0,196 µg/l | 0,856 µg/l | Geen meting | Geen meting | 0,1 (b) |
| pH-waarde | 7,3 - 7,7 | 2,6 – 2,8 | Geen meting | Geen meting | 7 – 9,5 (b) |

Toelichting bij de experimenten uit Tabel 3-3

RISE, 2023

RISE heeft in dit onderzoek een batterij elektrisch voertuig (BEV) en een conventioneel voertuig met verbrandingsmotor (ICEV) in brand gezet en door middel van sprinklers geblust. Het betrof beide een kleine SUV; de energie-inhoud van het NMC-batterijpakket was 50 kWh. Het elektrisch voertuig werd door een propaangasbrander onder het batterijpakket in brand gezet, zodat het batterijpakket ook bij de brand betrokken zou raken. De sprinklers waren 30 minuten lang geactiveerd, waarbij 11.160 liter water werd verbruikt. Er werden om de tien minuten en aan het einde van de test samples genomen van het bluswater ter analyse.

In tabel 3.3 het watermonster opgenomen dat aan het einde van de test is verzameld. Er is één experiment in de literatuur gevonden waarin het water van een conventioneel voertuig op eenzelfde manier is geanalyseerd als bij een BEV. Dat is het experiment van RISE genoemd in de vorige paragraaf. Dat is op dezelfde manier uitgevoerd als genoemd in Tabel 3.3. Daarom worden in deze paragraaf alleen de meetresultaten weergegeven in Tabel 3.3. Voor de volledigheid wordt aanvullend de hoeveelheid gemeten PAK's weergegeven, omdat deze in de RISE-studie wordt vergeleken met die van een BEV.

RIVM, 2025

In 2024 hebben wij brandexperimenten uitgevoerd met twee volledig elektrische auto's in het kader van een onderzoek naar de geschiktheid van uhd-blussystemen voor de bestrijding van batterijbranden in elektrische voertuigen (Hessels & Brans, 2024). Tijdens deze experimenten heeft het

⁵ (a): Signaleringswaarde voor bodemsanering. (b): Drinkwaterkwaliteitseis. (c): Oppervlaktewater zout. (d): MTR Landoppervlaktewateren.

RIVM metingen gedaan naar de vrijgekomen gassen, de depositie en de vervuiling van het achtergebleven bluswater.

Voor wat betreft de bluswatermetingen zijn zowel monsternames gedaan vóór de uhd-inzet als daarna. De metingen vóór de uhd-inzet zijn indicatief voor de watervervuiling die vrijkomt bij het blussen van (de carrosserie van) een elektrisch voertuig met lagedrukstralen, want op dat moment was het uhd-blussysteem nog niet ingezet. De metingen na de uhd-inzet zijn op hun beurt weer indicatief voor de vervuiling na een uhd-inzet op een batterijpakket. Er is geen PFAS-meting uitgevoerd.

Uit de meetresultaten in de literatuur wordt duidelijk dat de vervuilende stoffen die bij experimenten met losse batterijen worden gemeten, ook bij experimenten met elektrische voertuigen worden aangetroffen. Daarnaast wordt duidelijk dat het water na uhd-inzet voor wat betreft concentratie van deze stoffen aanzienlijk hoger ligt dan de gemeten concentraties waarbij alleen met lagedrukstralen of sprinklerkoppen is geblust. Tegelijkertijd is er ook een spreiding in de gemeten concentraties te zien, die vooral wordt verklaard door de mate waarmee de batterijcellen in direct contact zijn gekomen met het blus- of koelwater.

3.3 Beschouwing

In Tabel 3.4 is een overzicht gegeven van de bandbreedtes van alle gerapporteerde concentraties stoffen in blus- en koelwater in de literatuur.⁶ Hieruit wordt duidelijk dat de ondergrens van de concentraties relatief laag ligt, en dat de uitschieters in concentratie tot een factor 1000 hoger kunnen zijn. Ook valt op dat de bandbreedte van de gerapporteerde concentraties (met uitzondering van uitschieters) in blus- of koelwater voor de zware metalen nikkel, mangaan en kobalt in de orde van 10 mg/l ligt, oftewel ongeveer enkele tot tientallen mg/l. Voor koper ligt de concentratie daar duidelijk onder en de concentratie lithium kan fors hoger liggen. PFAS wordt in enkele microgrammen per liter gemeten. Tot slot is de pH-waarde licht tot matig alkalisch tot maximaal pH = 13.

Nu blijkt dat de meest opvallende uitschieters, die van nikkel, mangaan en kobalt alle afkomstig zijn van het experiment met de watermeting na de uhd-inzet op een elektrisch voertuig. Dit kan verklaard worden door het zeer intensieve contact tussen het bluswater en de (beschadigde) batterijcellen. Tegelijkertijd is de ondergrens van de concentraties afkomstig uit experimenten van RISE, waarbij het water nauwelijks in contact kwam met batterijcellen tijdens de brand, omdat de behuizing van het batterijpakket verhinderde dat koelwater bij de batterijen in de buurt kwam. Het is dus zo, dat een effectievere koeling wordt bereikt wanneer water direct in contact komt met batterijcellen, maar dat dit ernstig vervuild water op kan leveren, terwijl blus- en koelwater dat enkel in contact komt met de behuizing en dus weinig koelend effect heeft, minder vervuild raakt. Ook valt op dat de pH-waarde fors verhoogd is, met name die van koelwater, waarbij een vast volume water lange tijd in contact is geweest met batterijcellen.

⁶ Aangezien sommige stoffen niet bij elk experiment zijn gemeten, wordt in de linkerkolom van Tabel 3.4 vermeld op basis van hoeveel experimenten de bandbreedte is weergegeven.

Tabel 3.4 Bandbreedte gerapporteerde concentraties vervuilende stoffen in blus- en koelwater bij NMC-batterijen in de literatuur

| Stof | Bandbreedte ⁷ | Uitschieters | Normen ⁸ | |
|-----------------------------|--------------------------|--------------------|--|--|
| Nikkel (n = 11) | 0,08 – 60 mg/l | 920 mg/l | 0,075 mg/l 0,034 mg/l 0,020 mg/l | Signaleringsparameter ⁹ MAC-MKN Drinkwaterkwaliteitseis |
| Mangaan (n = 11) | 0,1 – 36 mg/l | 82 mg/l | 0,5 mg/l 0,050 mg/l | Oppervlaktewater ¹⁰ Drinkwaterkwaliteitseis |
| Kobalt (n = 11) | 0,003 – 36 mg/l | 152 mg/l | 0,1 mg/l 0,0014 mg/l | Signaleringsparameter ¹¹ MAC-MKN |
| Koper (n = 10) | 0,002 – 1,7 mg/l | 30 mg/l 42 mg/l | 2,0 mg/l | Drinkwaterkwaliteitseis |
| Lithium (n = 11) | 4,1 – 676 mg/l | 1460 mg/l | 0,120 mg/l 0,0035 mg/l | Oppervlaktewater zout Oppervlaktewater zoet |
| Fluoride (n = 8) | 8 – 160 mg/l | 330 mg/l | 1,5 mg/l 1,0 mg/l | MTR Landoppervlaktewater Drinkwaterkwaliteitseis |
| Chloride (n = 6) | 2 – 140 mg/l | 359 mg/l | 200 mg/l 150 mg/l | MTR Landoppervlaktewater Drinkwaterkwaliteitseis |
| PFAS (n = 3) | 0,196 – 4,7 µg/l | - | 0,1 µg/l | Drinkwaterkwaliteitseis |
| pH-waarde (n = 8) | 5,9 – 13 | - | 7 – 9,5 | Drinkwaterkwaliteitseis |

Dit betekent dat de samenstelling en mate van verontreiniging van blus- en koelwater sterk afhankelijk zijn van de mate waarin het water daadwerkelijk in contact komt met (beschadigde) batterijcellen. Ondanks de grote spreiding in de gerapporteerde waarden blijkt dat de concentraties van meerdere stoffen, zoals nikkel, mangaan, kobalt, lithium en fluoride, in veel gevallen ruim boven de gehanteerde normen liggen. Dit wijst erop dat blus- en koelwater bij batterijbranden in potentie als verontreinigd afvalwater moet worden beschouwd. Tegelijkertijd maakt de grote variatie duidelijk dat de mate van verontreiniging niet eenduidig kan worden vastgesteld en sterk afhankelijk is van het specifieke incidentverloop en de toegepaste bestrijdingsmethode.

⁷ Alle waarden liggen binnen 1,5 keer de interkwartielafstand, zie ook toelichting in paragraaf 4.1.

⁸ Zie paragraaf 2.2 voor een toelichting, bron: <https://rvszoekstelsysteem.rivm.nl/>.

⁹ Signaleringsparameter beoordeling grondwatersanering.

¹⁰ Oppervlaktewater voor drinkwaterwinning.

4 Meetresultaten praktijkmetingen dompelcontainers

In dit hoofdstuk worden de meetresultaten van onze eigen praktijkmetingen aan het koelwater in dompelcontainers beschreven en van een toelichting voorzien.

4.1 Verslag van de monsternames

In de periode juni 2025 tot en met december 2025 zijn, in samenwerking met de Vereniging voor bergings- en mobiliteitsspecialisten (VBM), de brancheorganisatie voor bergingsbedrijven, metingen uitgevoerd aan het koelwater van ingezette dompelcontainers. In deze periode zijn acht monsternames verricht. Elke monstername bestond telkens uit twee monsters, namelijk monster A en B, waarvan de concentraties zijn gemiddeld. De criteria hierbij waren dat het betrokken voertuig volledig elektrisch of plug-in hybride elektrisch moest zijn, en dat het gedompeld werd in een met water gevulde dompelcontainer. De monsters zijn telkens genomen nadat het voertuig uit de dompelcontainer was verwijderd, zodat de mate van vervuiling kon worden gemeten van het (afval)water.

Er is gekozen voor de weergave van concentraties door middel van een boxplot, omdat de meetresultaten een forse spreiding hadden. Een boxplot is een grafiek die in één oogopslag inzicht geeft in de spreiding en verdeling van data. In het blauwe kader is een toelichting gegeven bij de elementen waaruit een boxplot bestaat.

Toelichting Boxplot

Mediaan (middelste streep in de box)

De mediaan is de middelste waarde: 50% van de waarnemingen ligt hierboven en 50% hieronder. Dit geeft een goed beeld van het 'typische' niveau, zonder dat extreme waarden het beeld vertekenen.

Gemiddelde (kruisje in de box)

Dit is het gemiddelde van de gemeten data.

Box (van onderste tot bovenste kwartiel)

De box bevat de middelste 50% van de data.

- > De onderkant van de box is het 25e percentiel (eerste kwartiel).
- > De bovenkant van de box is het 75e percentiel (derde kwartiel).

Hoe groter de box, hoe groter de spreiding in deze middelste helft van de gegevens.

Sprieten (de lijnen buiten de box)

Deze geven de laagste en hoogste waarden weer die nog als 'normaal' worden beschouwd en laten zien hoe ver de data zich buiten de box uitstrekken. De sprieten omvatten een deel van de overige

50% van de waarnemingen (dus buiten de middelste helft), maar niet noodzakelijk alle waarden. In de gebruikte definitie lopen de sprietten tot maximaal 1,5 maal de interkwartielafstand (IQR) onder en boven de box; extremere waarden worden als uitschieters apart weergegeven.

De **interkwartielafstand (IQR = Q3 – Q1)** is het verschil tussen het eerste kwartiel (Q1, waar 25% van de waarden onder ligt) en het derde kwartiel (Q3, waar 75% onder ligt) en geeft de spreiding van de middelste 50% van de data weer. De grens voor 'normale' waarden wordt bepaald met $1,5 \times \text{IQR}$, wat leidt tot een bandbreedte van $Q1 - 1,5 \times (Q3 - Q1)$ tot $Q3 + 1,5 \times (Q3 - Q1)$; waarden buiten deze grenzen gelden als mogelijke uitschieters.

Uitschieters (indien aanwezig)

Punten buiten de sprietten zijn uitschieters. Dit zijn uitzonderlijke waarden die afwijken van het algemene beeld en buiten 1,5 keer de interkwartielafstand vallen.

4.1.1 Nulmeting

In Tabel 4.1 zijn de concentraties van de geselecteerde stoffen weergegeven zoals die zijn gemeten bij de nulmeting (bij een met water gevulde dompelcontainer zonder dat daar een voertuig in heeft gestaan en die vooraf bezemschoon was gemaakt). Deze container was gevuld met leidingwater tot een volume dat vergelijkbaar was aan dat bij een reguliere inzet. De gemeten concentraties zijn weergegeven naast de norm drinkwaterkwaliteitseis.

Te zien is, dat alleen de gemeten concentratie mangaan hoger ligt dan de norm voor drinkwater. Deze hoge concentratie wordt mogelijk veroorzaakt door achtergrondconcentraties van het gebruikte leidingwater en/of uit interactie met bijvoorbeeld containermateriaal (coatings) of bezinksel dat niet volledig kon worden weggeveegd.

De overige gemeten stoffen liggen alle onder de drinkwaternormen, wat erop wijst dat de bijdrage van de container en het gebruikte water aan metaalconcentraties in de beginsituatie beperkt is. Dit impliceert dat de invloed van een schoongemaakte, maar wel reeds gebruikte dompelcontainer binnen het experiment beperkt is.

Tabel 4.1 Meetresultaten nulmeting

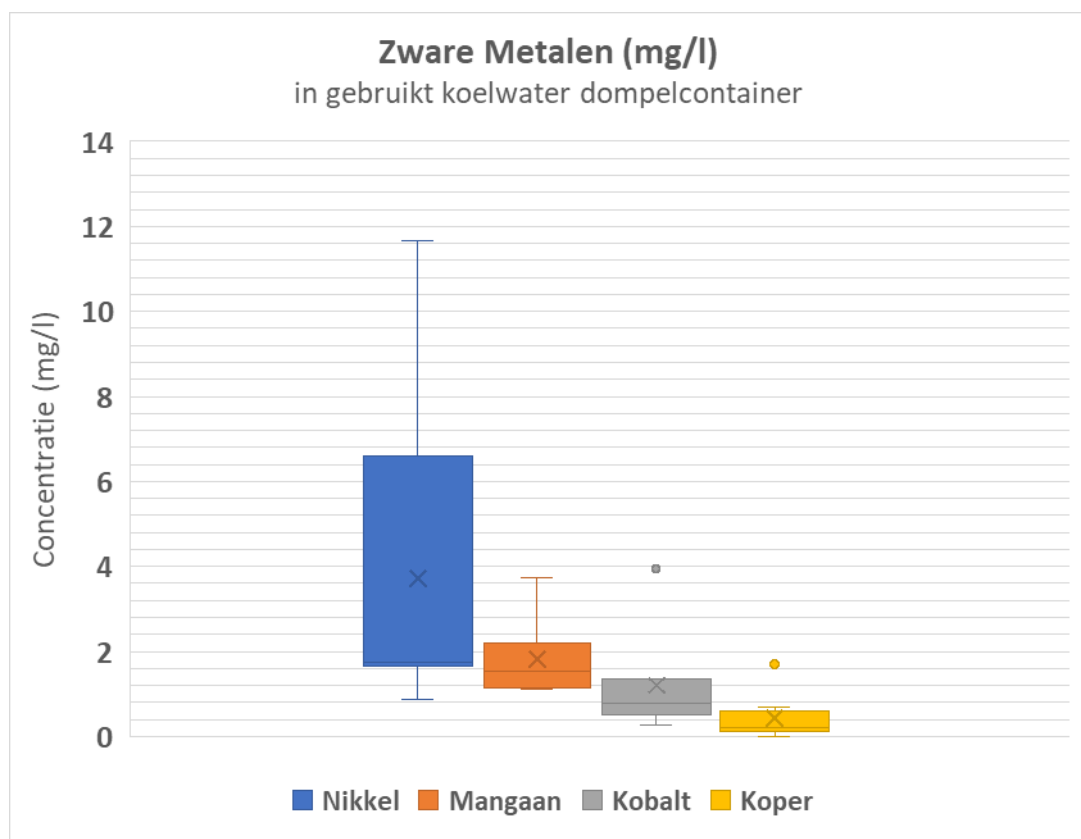
| Stof | Nulmeting | Norm Drinkwaterkwaliteitseis¹¹ |
|-------------|------------------|--|
| Nikkel | 0,013 mg/l | 0,020 mg/l |
| Mangaan | 0,120 mg/l | 0,050 mg/l |
| Kobalt | 0,003 mg/l | niet vastgesteld |
| Koper | 0,010 mg/l | 2 mg/l |
| Lithium | 0,006 mg/l | niet vastgesteld |
| Fluoride | <0,1 mg/l | 1 mg/l |
| Chloride | 32,65 mg/l | 150 mg/l |
| PFAS | <0,0025 µg/l | 0,1 µg/l |
| pH-waarde | 8,62 | 7 – 9,5 |

¹¹ Bron: <https://rvszoeksteststroom.rivm.nl/>.

4.2 Zware metalen

In Figuur 4.1 zijn de concentraties zware metalen van de acht monsters uit de dompelcontainer weergegeven. Te zien is, dat van de zware metalen de concentratie nikkel het hoogste is, en dat de spreiding van nikkel tussen de 0,865 en 11,56 mg/l ligt. Hierbij ligt de ondergrens al ruim boven de normen van het RIVM, waarbij de signaleringswaarde 0,075 mg/l nikkel was. De spreiding van concentraties mangaan liggen tussen 1,105 en 3,75 mg/l en ook boven de norm oppervlaktewater voor drinkwaterbereiding van 0,5 mg/l. Kobalt varieert tussen de 0,266 en 1,35 mg/l met een uitschieter van 4,5 mg/l. Deze waarden liggen ook boven de signaleringsparameter 'beoordeling grondwatersanering'. Bij koper varieert de concentratie tussen de 0 en 0,69 mg/l met een uitschieter van 1,7 mg/l. Omdat de drinkwaterkwaliteitseis 2,0 mg/l is, is de concentratie koper minder zorgelijk.

De spreiding in concentraties is naar alle waarschijnlijkheid te verklaren zijn, doordat de voertuigen in verschillende mate waren beschadigd en uitgebrand; daarnaast is in sommige gevallen (een deel van) het dompelwater hergebruikt, waardoor vervuilende stoffen in concentratie kunnen toenemen. Voor wat betreft de zware metalen liggen de concentraties nikkel, mangaan en kobalt duidelijk boven vastgestelde normen.

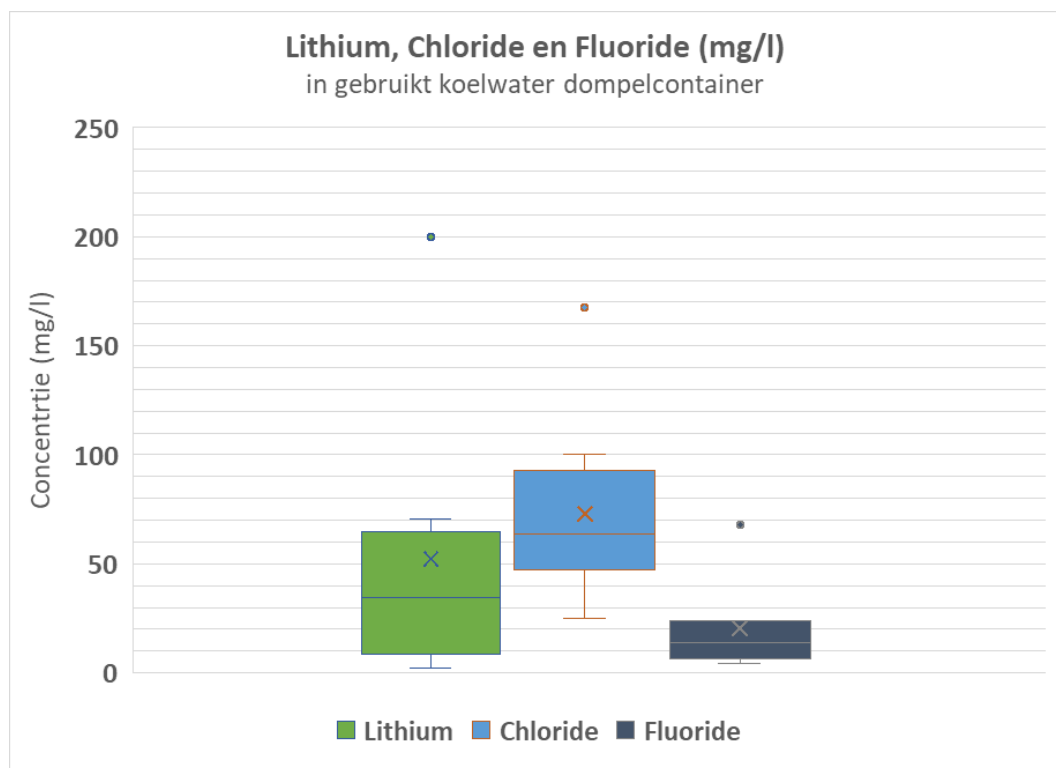


Figuur 4.1 Boxplot van concentraties gemeten zware metalen (n = 8)

4.3 Lithium, chloride en fluoride

In Figuur 4.2 zijn de concentraties lithium, chloride en fluoride van de acht monsters uit de dompelcontainer weergegeven. Er is voor gekozen deze drie stoffen in dezelfde boxplot te zetten, omdat de concentraties in dezelfde orde grootte lagen.

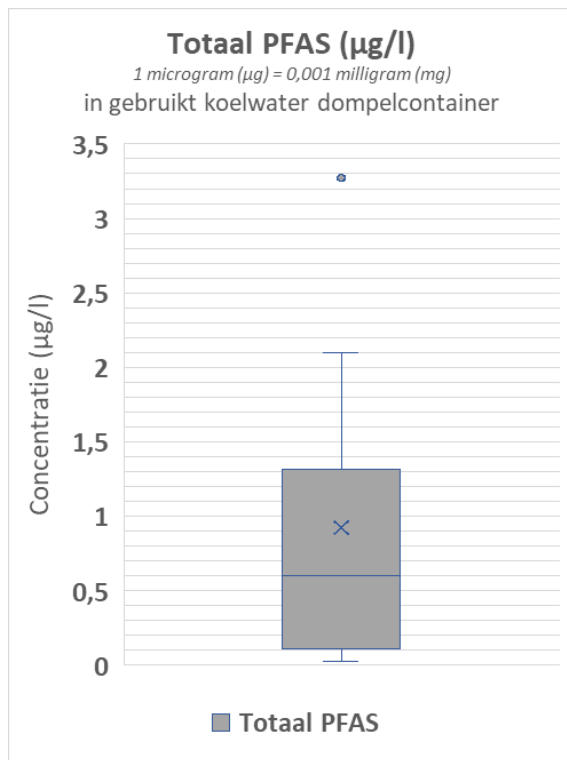
De concentraties lithium liggen tussen 2,40 en 70,5 mg/l, met een uitschieter van 200 mg/l, en hiermee boven de oppervlaktewaternormen voor zowel zout (0,120 mg/l) als zoet (0,0035 mg/l) water. Voor fluoride ligt de gemeten concentratie tussen de 4,49 en 24,2 mg/l, met een uitschieter van 68 mg/l; deze waarden liggen boven de MTR voor landoppervlaktewateren van 1,5 mg/l. Voor chloride varieert de waarde tussen 25,05 en 69,7 mg/l, met een uitschieter van 100,5 mg/l, en ligt hiermee onder de drinkwaterkwaliteitseis (150 mg/l). Uit de metingen blijkt dat de concentraties lithium en fluoride boven vastgestelde normen liggen. Voor chloride blijft de gemeten concentratie onder de normen.



Figuur 4.2 Boxplot van lithium, chloride en fluoride (n = 8)

4.4 PFAS

In Figuur 4.3 is de PFAS-concentratie weergegeven in microgram per liter. Voor wat betreft PFAS zijn de volgende componenten in concentraties boven 0,1 microgram per liter gemeten: 6:2 FTS, PFBS en PFHxA. De totale concentratie PFAS die is gemeten, varieert tussen 0,0247 – 2,096 µg/l, met een uitschieter van 3,271 µg/l. Voor PFAS is enkel een norm vastgesteld als drinkwaterkwaliteitseis. Deze ligt op 0,1 µg/l, waaruit blijkt dat het water een licht tot matig verhoogde concentratie PFAS bevat.



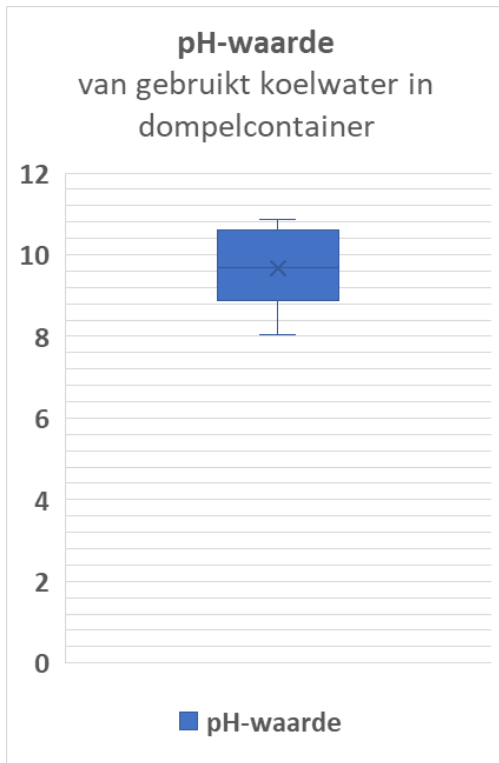
Figuur 4.3 Boxplot PFAS-concentratie (n = 8)

4.5 pH-waarde

In Figuur 4.4 is de pH-waarde van de monsters weergegeven. Voor het berekenen van de gemiddelden van monsters A en monsters B is rekening gehouden met de logaritmische schaal van de pH-waarde. Dit wil zeggen dat de gemiddelde pH-waarde van monster A en monster B is berekend met:

$$\overline{pH} = -\log_{10} \left(\frac{10^{-pH_A} + 10^{-pH_B}}{2} \right)$$

De spreiding van de pH-waarde bevindt zich richting basische waarden (hoger dan 7) en ligt tussen 8,05 – 10,87, waarbij voor drinkwater een pH-waarde van ten hoogste 9,5 nog acceptabel is. Dit betekent, dat zelfs in de verdunning van het koelwater in dompelcontainers de pH-waarde zwak tot matig basisch is.



Figuur 4.4 pH-waarde van de monsters (n = 8)

4.6 Beschouwing

In Tabel 4.2 is een overzicht weergegeven van alle bandbreedtes van de gemeten stoffen in de monsternames bij het koelwater in dompelcontainers. Ook zijn de normen opgenomen ter vergelijking.

Tabel 4.2 Bandbreedte van gemeten concentraties vervuilende stoffen in koelwater dompelcontainer

| Stof | Bandbreedte ¹² (n = 8) | Uitschieters | Normen ¹³ | |
|------------------|-----------------------------------|--------------|--|---|
| Nikkel | 0,865 – 11,56 mg/l | - | 0,075 mg/l 0,034 mg/l 0,020 mg/l | Signaleringsparameter ¹⁴ MAC-MKN Drinkwaterkwaliteitseis |
| Mangaan | 1,105 – 3,75 mg/l | - | 0,5 mg/l 0,050 mg/l | Oppervlaktewater ¹⁵ Drinkwaterkwaliteitseis |
| Kobalt | 0,266 – 1,35 mg/l | 4,50 mg/l | 0,1 mg/l 0,0014 mg/l | Signaleringsparameter ¹¹ MAC-MKN |
| Koper | 0 – 0,69 mg/l | 1,7 mg/l | 2,0 mg/l | Drinkwaterkwaliteitseis |
| Lithium | 2,40 – 70,5 mg/l | 200 mg/l | 0,120 mg/l 0,0035 mg/l | Oppervlaktewater zout Oppervlaktewater zoet |
| Fluoride | 4,49 – 24,2 mg/l | 68 mg/l | 1,5 mg/l 1,0 mg/l | MTR Landoppervlaktewater Drinkwaterkwaliteitseis |
| Chloride | 25,05 – 69,7 mg/l | 100,4 mg/l | 200 mg/l 150 mg/l | MTR Landoppervlaktewater Drinkwaterkwaliteitseis |
| PFAS | 0,0247 – 2,096 µg/l | 3,271 µg/l | 0,1 µg/l | Drinkwaterkwaliteitseis |
| pH-waarde | 8,05 – 10,87 | - | 7 – 9,5 | Drinkwaterkwaliteitseis |

De praktijkmetingen aan het koelwater in dompelcontainers laten zien dat in alle onderzochte gevallen sprake is van meetbare verontreiniging met batterij-gerelateerde stoffen. In vergelijking met de nulmeting liggen de concentraties van zware metalen, lithium, PFAS en fluoride in het gebruikte koelwater in dompelcontainers duidelijk hoger, wat erop wijst dat deze stoffen uit het batterijpakket in het water zijn gekomen.

Tegelijkertijd valt op dat de concentraties een grote van spreiding vertonen. Deze spreiding kan mogelijk worden verklaard door verschillen in de omstandigheden waaronder de voertuigen in de dompelcontainer zijn geplaatst. Factoren zoals de mate van beschadiging van het batterijpakket, de verblijfsduur in de container en de mate waarin water daadwerkelijk in contact komt met de batterijcellen spelen hierbij waarschijnlijk een rol. Ook het (her)gebruik van dezelfde dompelcontainer, bijvoorbeeld wanneer meerdere voertuigen, na elkaar, in

¹² Alle waarden binnen 1,5 keer de interkwartielafstand, zie ook de toelichting in paragraaf 4.1.

¹³ Zie paragraaf 2.2 voor een toelichting, bron: <https://rvszoekstelsysteem.rivm.nl/>.

¹⁴ Signaleringsparameter beoordeling grondwatersanering.

¹⁵ Oppervlaktewater voor drinkwaterwinning.

hetzelfde water worden gestald, kan bijdragen aan variaties in de gemeten concentraties. Incidenten waarbij het batterijpakket daadwerkelijk is geopend of sterk beschadigd, zullen naar verwachting leiden tot het vrijkomen van hogere concentraties stoffen dan situaties waarbij de behuizing grotendeels intact is gebleven.

Dit betekent dat, ondanks de variatie, in alle gevallen rekening moet worden gehouden met relevante verontreiniging van het koelwater. Daarbij blijkt dat voor meerdere stoffen de gemeten concentraties structureel boven de gehanteerde normen liggen, wat duidt op zowel mogelijke lokale milieurisico's als een noodzaak tot zorgvuldige omgang met dit verontreinigde afvalwater. Het koelwater uit dompelcontainers vraagt om het maken van bewuste keuzes ten aanzien van opvang, afvoer en verwerking.

5 Conclusie

Op basis van de uitgevoerde literatuurstudie en de praktijkmetingen kan worden geconcludeerd dat blus- en koelwater bij incidenten met lithium-ion batterijen en elektrische voertuigen in veel gevallen verontreinigd raakt met stoffen die potentieel schadelijk zijn voor het milieu. Verder blijkt dat de pH-waarde van het water, met name bij koelwater, verhoogd kan zijn tot basische waarden. Dit wijst erop dat het water niet alleen milieubelastend is, maar ook bijtende eigenschappen kan krijgen, wat kan leiden tot risico's voor hulpverleners en bergers.

Uit de literatuurstudie blijkt dat in experimenten structureel verhoogde concentraties worden aangetroffen van batterij-gerelateerde stoffen, waaronder zware metalen (zoals nikkel, mangaan en kobalt), lithium, fluoride en in mindere mate PFAS. Deze zware metalen zijn kenmerkend voor het subtype NMC-batterijen (nikkel-mangaan-kobaltoxide), waarop de analyse in dit onderzoek is gebaseerd. In de meeste gevallen overschrijden deze concentraties gangbare milieukundige grenswaarden, wat duidt op een relevante mate van verontreiniging. Tegelijkertijd valt op dat de gerapporteerde concentraties een zeer grote spreiding vertonen. Deze spreiding wordt in belangrijke mate verklaard door verschillen in testopzet en -omstandigheden, met name de mate waarin het blus- of koelwater daadwerkelijk in contact komt met (beschadigde) batterijcellen. Experimenten waarbij bluswater in het batterijpakket wordt geïnjecteerd of waarbij (beschadigde) batterijcellen langdurig in contact staan met koelwater, laten hogere concentraties zien dan situaties waarin de behuizing intact blijft en het contact met water beperkt is.

De praktijkmetingen aan koelwater uit dompelcontainers bevestigen dit beeld. In alle onderzochte gevallen worden verhoogde concentraties van zware metalen, lithium, fluoride en PFAS aangetroffen, wat erop wijst dat deze stoffen uit het batterijpakket in het water zijn gekomen. Ook in de praktijk is sprake van een duidelijke spreiding in concentraties. De verschillen tussen de concentraties worden naar verwachting veroorzaakt door factoren zoals de mate van beschadiging van het batterijpakket, de duur van het verblijf in de dompelcontainer en de mate waarin water daadwerkelijk in contact komt met de batterijcellen.

Blus- en koelwater dat vrijkomt bij batterijbranden kan daarmee worden beschouwd als verontreinigd afvalwater. De mate van verontreiniging hangt samen met de omstandigheden van het incident, waarbij direct contact tussen water en beschadigde batterijcellen, zoals bij het injecteren van water in batterijpakketten of het langdurig onderdompelen van cellen in koelwater, kan leiden tot hogere concentraties van vervuilende stoffen. Het vrijkomen en de mogelijke verspreiding van dit blus- en koelwater in de omgeving kunnen lokaal bijdragen aan milieubelasting. In dat licht is het voor brandweer, bergers en andere betrokkenen zinvol om zowel bewust te zijn van mogelijke blootstelling en verspreiding, alsook om aandacht te hebben voor het gebruik van persoonlijke beschermingsmiddelen en arbeidshygiënische maatregelen bij contact met verontreinigd blus- en koelwater.

Bibliografie

Al-Hakkani, M. F. (2019). Guideline of inductively coupled plasma mass spectrometry “ICP–MS”: fundamentals, practices, determination of the limits, quality control, and method validation parameters. *SN Applied Sciences*, 1(7), 1–15. <https://doi.org/10.1007/s42452-019-0825-5>

Bordes, A., Papin, A., Marlair, G., Claude, T., El-Masri, A., Durussel, T., Bertrand, J. P., Truchot, B., & Lecocq, A. (2024). Assessment of Run-Off Waters Resulting from Lithium-Ion Battery Fire-Fighting Operations. *Batteries*, 10(4), 118. <https://doi.org/10.3390/batteries10040118>

Briffa, J., Sinagra, E., & Blundell, R. (2020). Heavy metal pollution in the environment and their toxicological effects on humans. *Heliyon*, 6(9), e04691. <https://doi.org/10.1016/J.HELIYON.2020.E04691>

Coldcut Academy. (2021). *Li-ion battery pack extinguishing tests*. <https://www.dropbox.com/scl/fi/idk0r1wy8vw52k7plhd8z/Li-Ion-Battery-Pack-Extinguishing-Tests.pdf?rlkey=ueabe9dwiwm5o29tr1cfxmo7p&e=2&dl=0>

Held, M., Tuchschnid, M., Zennegg, M., Figi, R., Schreiner, C., Mellert, L. D., Welte, U., Kompatscher, M., Hermann, M., & Nachev, L. (2022). Thermal runaway and fire of electric vehicle lithium-ion battery and contamination of infrastructure facility. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 165, September 2022), 12474. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112474>

Hessels, T., & Brans, H. (2024). *Brandexperiment over de inzet van ultrahogedruk snij- en blussystemen bij branden in batterijen van elektrische voertuigen*. NIPV. <https://nipv.nl/nieuws/uhd-blussysteem-onder-voorwaarden-geschikt-om-batterijen-van-elektrische-voertuigen-te-blussen/>

Instrument Solutions. (2020). *Ion Chromatography System S 150*. <https://www.instrument-solutions.com/wp-content/uploads/Sykam-S-150-Ion-Chromatography-System-Brochure.pdf>

Karl, J., Suchý, O. & Martinec, M. (2022). *Zpráva o výsledcích analýzy vzorků vody po kontaminaci Li- baterií*. Technický ústav požární ochrany (Technisch Instituut voor Brandveiligheid, Praag).

Lenntech. (z.d.). *Chloor (Cl) en Water: Reacties, milieu- en gezondheidseffecten*. <https://www.lenntech.nl/elementen-en-water/chloor-en-water.htm>

Quant, M., Willstrand, O., Mallin, T., & Hynynen, J. (2023). Ecotoxicity Evaluation of Fire-Extinguishing Water from Large-Scale Battery and Battery Electric Vehicle Fire Tests. *Environmental Science and Technology*, 57(12), 4821–4830. <https://doi.org/10.1021/acs.est.2c08581>

Radboud Universiteit. (z.d.). *ICP-MS*. <https://www.ru.nl/science/gi/facilities-activities/elemental-analysis/icp-ms/>

RISE. (2023). *Investigation of extinguishing water and combustion gases from vehicle fires*. <https://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A1744894&dswid=-3309>

RIVM (2019). *Detectiemiddelen bij brand met li-ion batterijen*. <https://www.rivm.nl/documenten/detectiemiddelen-bij-brand-met-li-ion-batterijen>

RIVM. (2021). *Risico's van rook door branden van Li-ion-batterijen*. <https://doi.org/10.21945/RIVM-2021-0019>

RIVM. (2025). *Meetresultaten bij branden met elektrische voertuigen en gebruik van ultrahogedruk snij en blussystemen*. <https://www.rivm.nl/publicaties/meetresultaten-bij-branden-met-elektrische-voertuigen-en-gebruik-van-ultrahogedruk>

Schwerin DL, Hatcher JD. Hydrofluoric Acid Burns. [Updated 2023 Jul 17]. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2026 Jan-. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK441829/>

Šimek, A., Kazda, T., Báňa, J. *et al.* Basic method for water detection in LiPF₆-based electrolytes. *Monatsh Chem* 155, 313–317 (2024). <https://doi.org/10.1007/s00706-023-03163-3>

Sjölin, A. (2025). *Analysis of fluoride compounds from Li-ion battery fires*. Lund University. <https://lup.lub.lu.se/student-papers/search/publication/9213268>

Universiteit Leiden (z.d.). *Werken met HF en andere fluorides*. https://www.student.universiteitleiden.nl/binaries/content/assets/science/amd/vom015_nl_hf_en_andere_fluorides.pdf

Willstrand, O., Quant, M., & Hynynen, J. (2025). Contaminations from Lithium-Ion Battery Fires—Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS) in Soot. *Fire Technology*, Volume 61, pages 2889–2899.