



Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu
*Ministerie van Volksgezondheid,
Welzijn en Sport*

Detectiemiddelen bij brand met li-ion batterijen

RIVM, juli 2019

N. van Veen, E. van Putten, M. Boshuis

Colofon

© RIVM 2019

Delen uit deze publicatie mogen worden overgenomen op voorwaarde van bronvermelding: Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), de titel van de publicatie en het jaar van uitgave.

N. van Veen (auteur), E. van Putten, M. Boshuis, RIVM

Contact:

Niels van Veen

Centrum Veiligheid

Niels.van.veen@rivm.nl

Dit is een uitgave van:

**Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu**

Postbus 1 | 3720 BA Bilthoven

Nederland

www.rivm.nl

Inhoudsopgave

Inleiding — 4

- 1 Gasmeebuisjes voor meten van waterstoffluoride (HF) — 5**
 - 1.1 Waterstoffluoride (HF) op basis van pH indicatie — 5
 - 1.2 Waterstoffluoride op basis van de reactie met Zirkoniumhydroxide — 7
- 2 Detectiepapier — 9**
 - 2.1 Fluoridepapier — 9
 - 2.2 PH papier — 12
- 3 Ex/Ox /CO/CO2 meters — 15**
- 4 Partners — 16**
- 5 Conclusie — 17**
- 6 Referenties — 18**

Inleiding

Bij een brand met lithium-ion (li-ion) batterijen komt een cocktail aan (gevaarlijke) stoffen vrij. Onder andere enkele typerende stoffen zoals waterstoffluoride, lithium(hydr)oxide en zware metalen. Het gebruik van li-ion batterijen neemt toe en daarmee ook de kans om als hulpverlener geconfronteerd te worden met een li-ion brand. Het is voor de keuze van adequate maatregelen belangrijk om met detectiemiddelen een inschatting te kunnen maken van de risico's van stoffen die vrijkomen. Het meten van waterstoffluoride (HF) is niet eenvoudig en bij de beschikbare detectiemiddelen is het belangrijk te weten wat wel en wat niet te doen.

Het RIVM heeft metingen verricht bij brandexperimenten met li-ion batterijen bij de Technische Universiteit (TU) Eindhoven en de veiligheidsregio Noord- en Oost-Gelderland (VNOG) in Loenen. Bij deze experimenten is praktische ervaring opgedaan met detectiemiddelen. Het RIVM wil hulpverleners en – meer specifiek – Adviseurs Gevaarlijke Stoffen (AGS) van de brandweer praktische ondersteuning bieden. Vooral als het gaat om de voorbereiding op- en uitvoering van metingen bij li-ion branden. De informatie is beperkt tot de detectiemiddelen waarover de meeste veiligheidsregio's al beschikken, of eenvoudig kunnen beschikken. De focus ligt op detectie van de kenmerkende stoffen waterstoffluoride (HF) en lithiumoxide (Li₂O).

Het aantal brandproeven waarbij waarden van handheld detectiemiddelen is vergeleken met waarden van nauwkeuriger analyseapparatuur is nog beperkt en op dit vlak is meer onderzoek gewenst. Vanwege de toenemende kans op brand vindt het RIVM het belangrijk beschikbare ervaringen vroegtijdig te delen en niet te wachten tot de kennis 'volledig' is. Dit maakt dat het onderzoek soms is gebaseerd op een gering aantal proeven. Wanneer het vervolgonderzoek is uitgevoerd en uitgewerkt, zal een definitief rapport verschijnen.

1 Gasmeebuisjes voor meten van waterstoffluoride (HF)

Rook is altijd een complex mengsel van stoffen. Het meten van mengsels is moeilijker dan het meten van zuivere stoffen. Bij de brandexperimenten in Loenen en uit wetenschappelijke publicaties blijkt dat er grote verschillen kunnen zijn tussen de meetresultaten van diverse meettechnieken. Zowel in Loenen als bij experimenten die onder gecontroleerde omstandigheden in laboratoria zijn uitgevoerd, worden afwijkingen geconstateerd. Deze afwijkingen kunnen oplopen tot een factor twee tussen verschillende HF meettechnieken (zie referentie 1: verschil meetresultaten FTIR en gas washing bottles). Deze afwijking kan bij een werkelijke brandsituatie nog groter zijn. Daarnaast is HF een reactieve stof die kan reageren tot andere verbindingen die je mogelijk niet meer meet. Ook hangt de bronterm van HF onder andere samen met de hoeveelheid individuele accucellen die afblazen tijdens de meting. De bronterm van HF varieert daardoor sterk in de tijd. Tot slot kan de rookdichtheid variëren onder invloed van bijvoorbeeld wind.

Samenvattend: de rookgasmeting is een indicatie en een momentopname. Ondanks deze beperkingen, zal de AGS toch een inschatting moeten maken van het risico. Voor deze inschatting zullen veel veiligheidsregio's zijn aangewezen op gasmeetebuisjes voor HF.

Er zijn bij de brandproeven twee soorten HF gasmeetebuisjes getest die ieder specifieke voor- en nadelen hebben. Om het meetresultaat juist te interpreteren is het belangrijk rekening te houden met deze verschillen. Deze verschillen beschrijven we per type gasbuisjes in onderstaande paragrafen.

1.1 Waterstoffluoride (HF) op basis van pH indicatie

Dit meetbuisje verkleurt na contact met zure dampen. Per merk meetbuisje zijn er verschillende verkleuringen; van blauw naar geel (Dräger 0,5a) of van beige naar paars (RAE).

- Het meetprincipe is een soort pH indicator gekalibreerd op HF, daardoor is het kruisgevoelig voor HCl en andere anorganische zuren.
- Bij li-ion batterij branden komt ook HCl vrij. Er is geen vaste verhouding tussen de HCl en de HF emissie (hoe meer chloorhoudend kunststof, hoe waarschijnlijker dat er veel HCl vrijkomt). Je meet dus het mengsel van (onder andere) HF en HCl.
- HF is een zwak zuur terwijl HCl een sterk zuur is. Het meetbuisje dat gekalibreerd is op een zwak zuur, reageert in orde van grootte 5x sterker op HCl dan op HF (deze waarde is gebaseerd op een test met 10 ppm HCl kalibratiegas, waarbij de meetwaarde van een HCl meetbuisje als referentiewaarde geldt). Hierdoor zal de aangegeven waarde bij een HF-HCl mengsel veel hoger zijn dan de werkelijke HF concentratie.
- Een omgevingstemperatuur tussen 10 en 30°C en een relatieve luchtvochtigheid tussen 30 en 80% zijn geschikte condities voor

deze meetbuisjes. Sommige buisjes verdragen iets hogere waarden.

- Er zijn geen correctiefactoren voor temperatuur, het buisje dient voor gebruik binnen het temperatuurbereik te vallen, bij voorkeur 20°C. Als dit niet gebeurt of als het buisje tijdens de meting afkoelt zal de uitslag lager uitvallen. Ter indicatie: bij een test van dit type meetbuisje met kallibratiegas bij 20°C en 0°C bleek eenzelfde gas +/- 25 ppm versus +/- 15 ppm aan te geven.
- Luchtvochtigheid heeft grote invloed op de meetwaarde. Daarom is het belangrijk dat de luchtvochtigheid bekend is en de correctiefactor kan worden toegepast. Het gaat bij luchtvochtigheid niet om wat de weersite weergeeft, maar om de luchtvochtigheid van de rook waarin je meet. Bluswerkzaamheden kunnen de luchtvochtigheid bijvoorbeeld sterk beïnvloeden. Je hebt dus een luchtvochtigheidsmeter nodig voor het bepalen van de luchtvochtigheid ter plaatse. Een eenvoudige luchtvochtigheidsmeter kan hierbij een goede indicatie geven. De correctiefactoren staan in de handleiding van het meetbuisje.

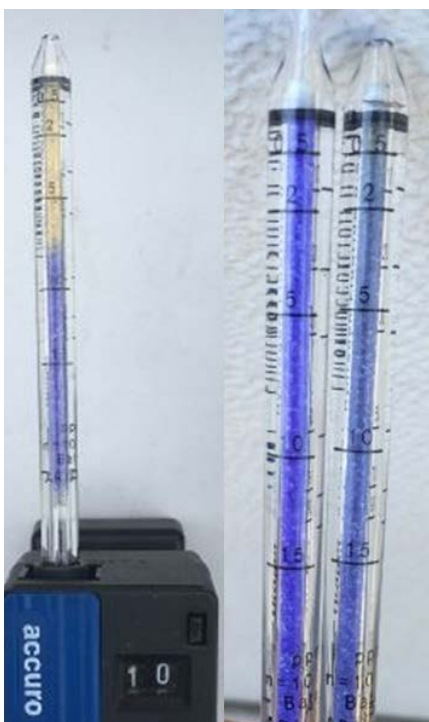
Voorbeelden van correctiefactoren voor luchtvochtigheid:

Relatieve luchtvochtigheid	30%	40%	50%	70%	80%
Correctiefactor voor Draeger meetbuisjes (het meetresultaat moet vermenigvuldigd worden met de correctiefactor)	0,8	0,9	1,0	1,35	1,5

Relatieve luchtvochtigheid	30%	40%	50%	70%	80%	90%
Correctiefactor voor RAE meetbuisjes (het meetresultaat moet vermenigvuldigd worden met de correctiefactor)	0,3	0,4	1,0	1,3	2,0	2,6

Ervaringen bij brandproeven:

- De benodigde meettijd kan tot 3 minuten duren.
- Roetdeeltjes lijken een verkleuring te kunnen veroorzaken, die niet typerend is voor de HF reactie van het meetbuisje. Dit kan verwarring geven. Raadpleeg de handleiding om te zien of de verkleuring ook voldoet aan het beoogde resultaat om tot een goede interpretatie te komen.
- Bij lage concentraties (1-2 ppm HF) was vrijwel geen uitslag af te lezen.
- Als we in overweging nemen dat een meetafwijking van een factor twee aanvaardbaar is, paste de afgelezen meetwaarde van het meetbuisje bij hogere concentraties (+/- 10 ppm in het beeld van meetresultaten met andere meettechnieken (als FTIR, impingers en HF filters).
- Bij een test waarbij naast de batterijen een PVC buisje van +/-10 cm lengte verbrand werd, gaven de meetbuisjes een tweemaal hoge meetwaarde voor HF dan de gemiddelde waarden van de andere meettechnieken. Hierbij wordt bevestigd dat de vorming van HCl een grote invloed heeft op de gemeten waarde van dit meetbuisje.



Afbeelding1: Links een gele verkleuring als gevolg van onder andere HF, midden een ongebruikt buisje, rechts een grauwe verkleuring die niet typerend is voor het beoogde meetresultaat (boven de 0,5 ppm begint de gele verkleuring).

1.2 Waterstoffluoride op basis van de reactie met Zirkoniumhydroxide

Dit is een wit meetbuisje dat lichtroze verkleurt na contact met HF. Wij hebben het Dräger Hydrogen Fluoride 1,5b buisje toegepast.

- Het meetprincipe is een reactie tussen HF en $Zr(OH)_4$ (Zirkoniumhydroxide). Dit meetbuisje is niet kruisgevoelig voor andere anorganische zuren (zoals HCl) of gehalogeneerde koolwaterstoffen.
- Als er meer dan 9mg water per liter lucht aanwezig is ($\approx 30\%$ luchtvochtigheid bij $30^\circ C$) kan HF mist worden gevormd. Bij hogere luchtvochtigheid zal de af te lezen concentratie HF lager zijn dan de werkelijke concentratie (zie ook referentie 3). Ook hier is de luchtvochtigheid van de rook waarin je meet relevant en biedt een eenvoudige luchtvochtigheidsmeter uitkomst.
- Let op: er zijn buisjes in omloop met schaalverdelingen voor verschillende pompjes, kies de juiste schaalverdeling en houd rekening met een hoog aantal pompslagen.

Ervaringen bij brandproeven:

- De kleurverandering van het meetbuisje is zeer gering. Dat maakt interpretatie lastig.
- Proeven waarbij veel rook bij vrijkwam leken een andere verkleuring te veroorzaken dan de proeven waarbij weinig rook vrijkwam.
- Als we in overweging nemen dat een meetafwijking van een factor twee aanvaardbaar is, paste de afgelezen meetwaarde van het meetbuisje bij hogere concentraties (± 10 ppm in het beeld

van meetresultaten met andere meettechnieken als FTIR, impingers en HF filters). Hierbij was een uitzondering waarbij de door ons geïnterpreteerde waarde beduidend hoger dan de waarden die we met andere meetapparatuur hebben uitgevoerd (Zie linker gebruikte buisje afbeelding 2).

- Omstandigheden waren bij de testen 25-30% luchtvochtigheid bij 30°C.



Afbeelding2: Linker gebruikt buisje heeft gemeten in concentraties van 2-3 ppm. Het rechter gebruikte buisje is gebruikt in concentraties van 9- 14 ppm.

2 Detectiepapier

Bij li-ion branden kunnen twee soorten detectiepapier worden ingezet; pH papier en fluoride testpapier. Je kunt detectiepapier inzetten voor rook, koel- of bluswater en depositie. Tijdens een brand stapelt depositie zich op. Na verloop van tijd is het dan ook een redelijke indicator om vast te stellen waar mogelijk schadelijke rook is geweest. Nadeel is dat een uitslag pas na langere depositietijd (achteraf) zichtbaar wordt en de weersomstandigheden geschikt moeten zijn om dit te kunnen meten (geen harde wind en geen neerslag).

2.1 Fluoridepapier

Met fluoride papier kan bij li-ion branden aangetoond worden of er F- ionen aanwezig zijn in depositie en / of rook. Er bestaan verschillende soorten fluoride testpapier; voor kwalitatieve indicatie en met een concentratie indicator. Testpapier voor een kwalitatieve indicatie geeft vanaf 20mg/l een verkleuring ofwel +/- 20 ppm. Er is testpapier met een concentratie indicator die de concentratie weergeeft in stappen van 10, 25, 50 en 100 ppm. Deze zijn ontwikkeld voor controle van fluoride gehalte in vloeistoffen. Bij de brandproeven hebben wij het fluoride testpapier toegepast voor kwalitatieve metingen. De beschreven ervaringen zijn gebaseerd op dit testpapier. Bij brandexperimenten met li-ion batterijen hebben we het volgende geconstateerd:

Depositie:

- Fluoride papier reageert op F- ionen als het conform de handleiding met een HCl oplossing is bevochtigd (pH < 1 of ongeveer 5g HCl/l).
 - Fluoride test strips met een concentratie indicator hebben een pH van 0,5 of lager nodig.
- De verkleuring bij F- ionen gaat van roze naar geel-wit. Bij lagere concentraties fluoride ontstaan kringvormige lijnen.
- Het papier moet nog vochtig zijn tijdens de meting. De HCl oplossing maakt de kleur van het fluoride papier iets lichter dan onbehandeld papier.
- Fluoridepapier dat met water is bevochtigd of droog fluoride papier verkleurt praktisch niet als het in contact komt met (fluoride houdende) depositie. Alleen bij zeer hoge concentraties lijkt het te verkleuren.
- Schoonmaakazijn werkt beter dan water, maar resulteert in minder gevoelig detectiepapier dan bij een HCl oplossing. De detectiegrens lijkt toe te nemen door gebruik van Azijn i.p.v. HCl oplossing.
- Testpapier geeft vooral een representatief beeld op gladde vlakken (bijv. een elektriciteitskast, geparkeerde auto, etc). Een ruw oppervlak (zoals een stoeptegel of beton) kan leiden tot beperkt contact tussen testpapier en depositie, waardoor de meting geen representatief beeld geeft.
- Let bij de zoektocht naar contaminatie door rook in binnenruimten ook op afzetting op wanden en plafonds. Deze

bleken bij brandproeven ook grote hoeveelheden fluoridesporen te bevatten.

- Breng een kant van het testpapier in contact met de depositie en houd de andere zijde schoon om kleurveranderingen waar te nemen. Depositie kan veel zwarte roet bevatten wat aflezen lastig maakt.
 - Fluoride test strips met een concentratie indicator zijn op een plastic staafje geplakt en worden aan zijde afgelezen die in depositie is gehouden. Als de depositie veel roet bevat kan dat interpretatie hinderen.
- Depositie van de brandproeven gaf na 6 weken drogen nog steeds een uitslag bij fluoridepapier. Dit geeft de indruk dat (een deel) van de fluoride ionen zich aan moleculen in de depositie bindt en dus niet in gasvorm voorkomen (waterstoffluoride of fosforylfluoride POF_3).
- Ter relativisering; tandpasta met fluoride geeft (met 1450 ppm F-ionen) ook een uitslag bij fluoride testpapier. Als fluoride papier verkleurt wil dat niet automatisch zeggen dat er een acuut gezondheidsrisico is.



Afbeelding 3: Het aanzuren van fluoride testpapier heeft invloed op de gevoeligheid. Drie metingen op dezelfde plaats in de brandruimte: Links met azijnzuur, midden met zoutzuur, rechts met water.



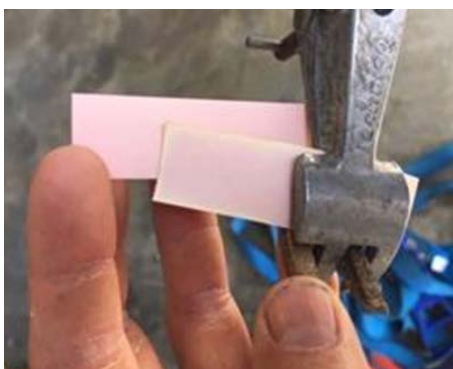
Afbeelding 4: Tandpasta met 1450 ppm Fluoride verkleurt fluoride testpapier ook.



Afbeelding 5: Lage concentraties Fluoride ionen in depositie geven kringvormige vlekken.

Rook:

- Bij de brandexperimenten zijn aan de randen van met HCl bevochtigd fluoride papier lichte verkleuringen geconstateerd. Hierbij was contact met rookdampen met HF concentraties in orde grootte van 5-15 ppm (luchttemperatuur +/- 25°C en een luchtvochtigheid van 30-40%).
- Bij (zeer) hoge concentraties HF houdende rook verkleurt uiteindelijk fluoridepapier, ook als het niet met HCl of een ander zuur bevochtigd is. We hebben geen waarde kunnen vaststellen van een '(zeer) hoge concentratie', maar het testpapier hing hier vlak boven de brandende batterij.
- Vochtig fluoridepapier kan bij detectie in rook opdrogen (bij warm weer, wind en lage luchtvochtigheid gaat dit snel). Droog papier reageert minder gevoelig, ook als het daarvoor met HCl bevochtigd is geweest.
- Het gebruik van een statief (of een alternatief) beperkt besmetting als je fluoride test papier in de rook wilt gebruiken.



Afbeelding 6: Fluoride papier verkleurde aan de randen bij concentraties in orde van 5-15 ppm.



Afbeelding 7: Twee strookjes fluoride papier blootgesteld aan dezelfde rook en beiden met zoutzuur bevochtigd. Het linker papier was voor de proef opgedroogd en het rechter papier was nog nat tijdens de proef.

Bluswater of koelwater van verbrande accu's:

Met koelwater wordt het water bedoeld waar verbrande accu's in gekoeld worden.

- Zoals eerder beschreven moet fluoridepapier aangezuurd worden met HCl oplossing voor gebruik. Blus en/of koelwater van li-ion branden is (vaak) basisch door lithiumhydroxide, terwijl fluoride papier een zure omgeving nodig heeft. In basische oplossing verkleurt fluoride papier naar donkerroze. Aantonen van fluoride ionen in bluswater zal hierdoor minder snel plaatsvinden. Bij brandexperimenten hebben wij geen verkleuring in het bluswater kunnen waarnemen door fluoride papier. Er is verder niet onderzocht of - en hoeveel fluoride ionen zich in het bluswater bevinden.

2.2 PH papier

Bij incidenten met li-ion batterijen komen zowel zuren als basen vrij waardoor pH papier een praktisch indicatiemiddel kan zijn dat in rook, depositie en bluswater toegepast kan worden. Bij gebruik van pH papier in rook en depositie is het nodig het pH papier eerst nat te maken. Het is daarom handig een spuitfles met water mee te nemen (pH 7).

Depositie:

- Bij controle van depositie met pH papier is een glad oppervlak nodig (bijv. elektriciteitskast, geparkeerde auto, etc). Een ruw oppervlak (zoals een stoeptegel of beton) kan leiden tot beperkt contact tussen pH papier en depositie, waardoor je meting minder representatief is.
- Voor controle van oppervlakken is het handig pH papier te gebruiken dat aan beide zijden af te lezen is. Roet van de depositie zorgt ervoor dat de pH waarde niet af te lezen is aan de zijde die in contact met de depositie is gekomen.
- Houd rekening met de locatie van metingen. Depositie van lithium(hydr)oxide (hoge pH) vinden we bij brandexperimenten alleen terug op de bodem (en andere platte vlakken). Het plafond van brandruimtes bleek een lage pH te hebben (en uit te slaan op fluoride detectiepapier).
- Bij onderzoek naar depositie constateerden wij relatief hoge gehalten zware metalen (mangaan, kobalt, nikkel, en koper) wanneer er ook hoge gehalten lithium aangetoond werden. De concentratie lithium kwam op hoofdlijnen overeen met de concentratie hydroxiden, die invloed heeft op de pH waarde. Met andere woorden: een hoge pH is in potentie een indicator voor

aanwezigheid van zware metalen. Deze conclusie is gebaseerd op een beperkt aantal metingen en moet nog verder onderbouwd worden in vervolgonderzoek.

Ph papier kan met bovenstaand punt toegepast worden als indicator voor de mate van besmetting van bijvoorbeeld ingezet brandweerpersoneel of materieel.



Afbeelding 8: Zwarte depositie maakt het onmogelijk pH papier af te lezen aan de zijde die in contact is gebracht met depositie.



Afbeelding 9: pH papier dat dubbelzijdig af te lezen is blijkt praktischer. Het pH papier dat op de vloer gemeten heeft duidt met groen-blauw op een hoge pH (+/- pH 13). Het pH papier dat op het plafond gemeten heeft duidt met oranje op een lage pH (+/- pH3)

Rook:

- Het pH papier bleek bij brandexperimenten snel te kunnen drogen (door warmte, zon en wind). Droog papier reageert beduidend minder snel en goed dan nat papier.
- Bij brandproeven gaf pH papier in rook een lage pH aan ondanks aanwezigheid van Li_2O stof.
- Het gebruik van een statief (of een alternatief) beperkt besmetting als je pH papier in de rook wilt gebruiken.



Afbeelding 10: In de rook verkleurt pH papier naar een lage pH (tussen pH 2-5).

Koelwater en bluswater:

In verbrande li-ion accu's bevindt zich lithium(oxide). Na onderdompelen in water reageert lithium oxide met water tot lithiumhydroxide.

- Houd er rekening mee dat de pH van koelwater (dat nog in contact is met een uitgebrande accu) na verloop van tijd steeds verder op kan lopen.
- Het lijkt erop dat hoe langer een batterij gebrand heeft, hoe meer lithiumoxide in het batterij-residu aanwezig is. (Dit hoeft niet aan de buitenzijde van het residu meetbaar te zijn met pH papier).
- Verbrande batterij-residuen kunnen na afloop van een brand aan de buitenzijde een neutrale pH tonen. Dat wil niet zeggen dat het residu vrij is van zware metalen en andere gevaarlijke stoffen.

3 Ex/Ox /CO/CO2 meters

Het elektrolyt van li-ion batterijen bevat organische oplosmiddelen zoals bijvoorbeeld dimethylcarbonaat. Bij verbranding komt er ook koolmonoxide CO en CO₂ vrij. De concentraties CO en CO₂ blijken bij brandproeven vele malen hoger te zijn dan HF en HCl. De gassen CO en CO₂ kunnen daarom worden toegepast als tracer voor andere gevaarlijke stoffen. Let op; gebruik van ex-ox meters in hoge concentraties corrosieve dampen kan leiden tot beschadiging van de meetapparatuur. Vooral de O₂ sensor is kwetsbaar voor corrosieve dampen.

4 Partners

Bij li-ion branden met impact kan de Milieu Ongevallen Dienst (MOD) van het RIVM meet- ondersteuning bieden. De MOD is bezig met een pilot voor HF detectiemiddelen die bij kunnen dragen voor het vormen van een risicobeeld. Daarnaast beschikt de MOD over diverse monsternamemiddelen om gehalten van zware metalen in rook en depositie te bepalen. Voor een goed resultaat is het altijd wenselijk om de MOD vroegtijdig te waarschuwen. Dit kan 24/7 via de MOD-coördinator (06-52451725). Bij twijfel is het altijd mogelijk ruggespraak te houden met de MOD coördinator.

Bij het LIOGS (010-2468642) is ook 24/7 deskundigheid beschikbaar over branden en bestrijdingsstrategieën bij li-ion branden.

5 Conclusie

Het bepalen van de HF emissie bij brand blijft ook met de juiste combinatie van HF gasmeetbuisjes een lastige opgave. Om de meting van gasmeetbuisjes zo veel mogelijk te valideren is het raadzaam twee verschillende typen meetbuisjes gelijktijdig in te zetten en de luchtvochtigheid te meten. Brandomstandigheden maken het waarschijnlijk dat een meetbuisje gebaseerd op de pH waarde een te hoge uitslag geeft (door aanwezigheid van HCl) terwijl een meetbuisje op basis van zirkoniumhydroxide een te lage uitslag kan geven (door hoge luchtvochtigheid). Houd altijd rekening met een meetafwijking. Kennis van wat er brandt en deskundigheid van de AGS zijn nodig om een interpretatie van de meetresultaten te kunnen maken. Als metingen uitgevoerd worden door meetploegen die minder achtergrondkennis hebben, dan is het wellicht een goede suggestie altijd een foto van het meetbuisje te vragen voor een dubbelcheck van het geïnterpreteerde meetresultaat. Fluoride testpapier en pH papier kunnen een belangrijke aanvullende bijdrage leveren in de beeldvorming van het effectgebied van de brand. Schakel tijdig partners in als je met een langdurig incident te maken krijgt.

6 Referenties

1. F. Larsson, P Andersson, P. Blomqvist & B.E. Mellander Toxic fluoride gas emissions from lithium-ion battery fires Nature scientific reports 2017 p1,6
2. Gebruiksaanwijzing Machery-Nagel Fluoride testpapier
3. Gebruiksaanwijzing Dräger Hydrogenfluoride 0,5/a
4. Gebruiksaanwijzing Dräger Hydrogenfluoride 1,5/b
5. RAE Gas detection data sheet hydrogen fluoride