

# ***Boil-off systemen*** cruciaal voor veilig gebruik waterstof

Waterstofexpert Hans de Laat

creating  
trust  
***driving  
progress***



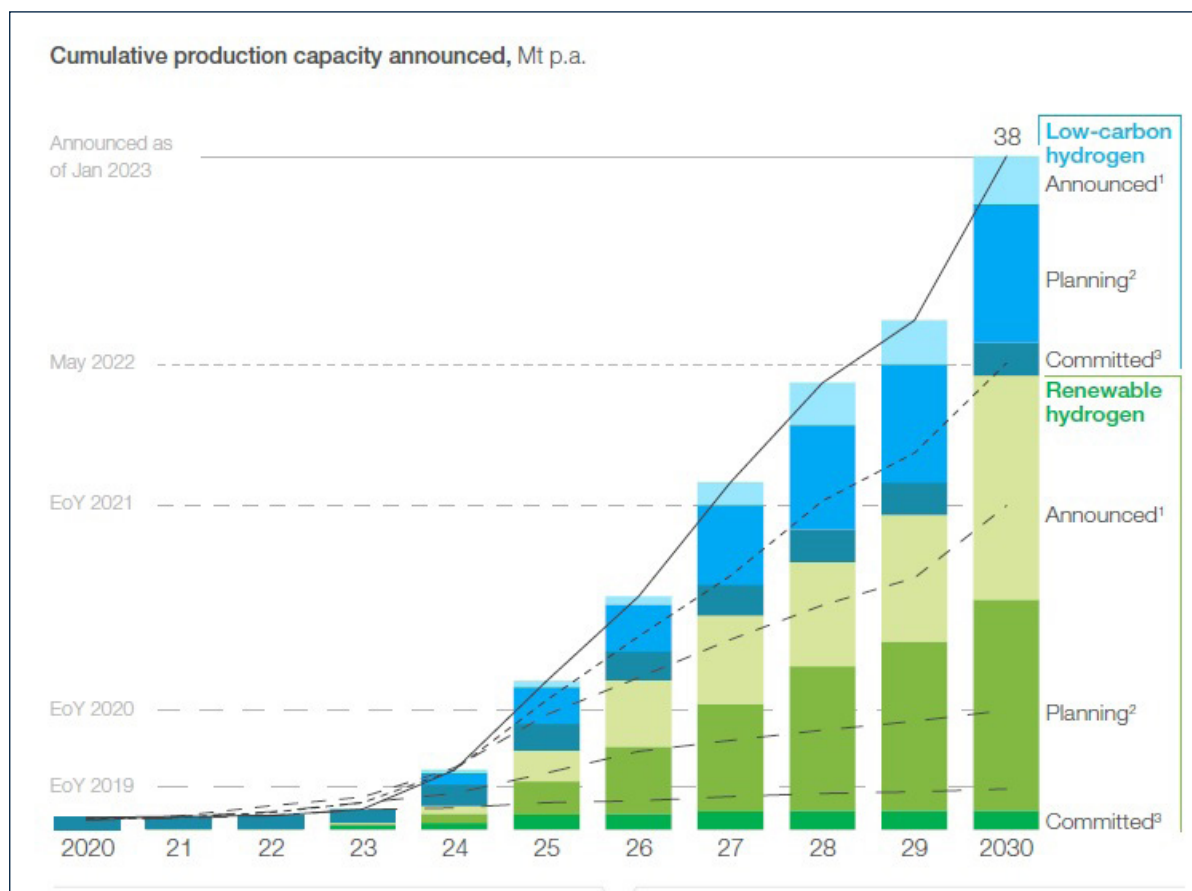
**kiwa**

# **Boil-off systemen** cruciaal voor veilig gebruik waterstof, door Hans de Laat

Waterstof wordt algemeen erkend als een milieuvriendelijk alternatief voor fossiele brandstoffen. Het is echter ook brandbaar én een broeikasgas. Bij de toepassing van waterstof in bijvoorbeeld voertuigen en bij het transport ervan in leidingnetwerken, ontstaat onvermijdelijk overtollig waterstof. Om te voorkomen dat dit vrijkomt, is het zaak voertuigen en waterstofnetwerken te voorzien van een boiloff managementsysteem (BMS) dat overtollig gas efficiënt kan afvoeren. Kiwa Technology's waterstofexpert Hans de Laat schreef hierover dit artikel.

De markt voor duurzaam waterstof voor stationaire toepassingen, waterstofnetwerken en waterstofmobiliteit neemt wereldwijd in omvang toe. De Hydrogen Council verwacht dan ook dat de toename van de productiecapaciteit voor waterstof de komende jaren fors zal toenemen en in 2030 gegroeid zal zijn tot 38 Mton per jaar, een veelvoud van de productie in 2023 en voorgaande jaren.

(zie onderstaande figuur).



### Strengere eisen emissie waterstof

De cryogene opslag van waterstof zal in de toekomst een belangrijke rol spelen in de waterstofeconomie, omdat deze de hoogste energiedichtheid heeft. Daarnaast worden netwerken aangelegd voor transport van waterstof. De verwachte marktgroei van waterstof [1] is voor Kiwa Technology aanleiding om zijn kennis rondom het veilig evacueren van overtollig waterstof uit systemen te delen. Wij verwachten de wereldwijde waterstofmarkt te kunnen bedienen met onze systemen voor de veilige omzetting van waterstof naar water.

Waterstof is brandbaar en ook een broeikasgas. Internationale richtlijnen van onder andere de Wereldbank [2] en de Verenigde Naties [3] voor de emissies van de waterstofketen worden steeds strenger. Op termijn mag er slechts heel weinig of helemaal geen emissie van waterstof meer plaatsvinden. De spelers in de markt hebben echter te maken met overtollig waterstof in hun producten of in hun bedrijfsvoering. Dit is bijvoorbeeld boil-off gas van cryogene waterstof of het ontgassen van leidingsecties in een waterstofnetwerk. Een overzicht van opslagmethoden van waterstof is opgenomen in de tabel.

| Opslagmethode van waterstof         | Opslagdichtheid ten opzichte van hogedruk bij omgevingstemperatuur | Druk (bar) | Toepassing                                           |
|-------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|------------|------------------------------------------------------|
| Middendruk bij omgevingstemperatuur | 50%                                                                | 350        | Bussen                                               |
| Hogedruk bij omgevingstemperatuur   | 100%                                                               | 700        | Personenauto's                                       |
| Cryogene vloeibare waterstof        | 125%                                                               | 5 - 5,5    | Stationaire tanks en vervoer met waterstoftankwagens |
| Cryogeen lagedruk gasvormig         | 125%                                                               | 15-20      | Aandrijving van zware voertuigen                     |
| Cryogeen hogedruk gasvormig         | 150%                                                               | 300-350    | Aandrijving van zware voertuigen                     |

*Tabel: Soorten opslag van waterstof met hun opslagdichtheid, druk en toepassing*

Kiwa Technology ontwikkelde tussen 2001 en 2015 het eerste waterstof boil-off managementsysteem (BMS) voor voertuigen van BMW op cryogene waterstof. Een BMS heeft een katalysator die overtollig waterstof uit de tank met omgevingslucht laat reageren tot water. Er is geen vonk nodig voor ontsteking. Het voordeel van het Kiwa BMS is dat alleen de druk in de tank voldoende is om de waterstof om te zetten. Het is een passief veiligheidssysteem dat geen onderhoud vergt.



*Foto: BMW Hydrogen 7 met 5 bar vloeibare waterstoftank en BMS.*



*Foto: De BMW 5GT brandstofcelauto en een mobiel vulstation voor 350 bar cryo-gecomprimeerd waterstofgas. De CC op de nummerplaat verwijst naar de opslagmethode. De luchtinlaat en waterdampuitlaat van het BMS zijn blauw geaccentueerd en geïntegreerd in de zwarte achterbumper.*

Het BMS voor BMW-personenvoertuigen had een thermisch vermogen van 30 g/h waterstof, wat overeenkomt met 1 kW. Uit recente prototypebouw voor de toepassing in zware voertuigen is gebleken dat de Kiwa-technologie met een factor 10 te vergroten is, zónder technologische wijzigingen bij gelijke prestatie.

Een BMS bevat geen bewegende delen of elektrisch circuit. Hierdoor is certificering voor een bepaalde toepassing relatief eenvoudig.

### Ontwikkelen van een BMS

Kiwa Technology heeft een unieke combinatie van expertises die bij de ontwikkeling van een BMS een sterke positie betekenen:

- Onafhankelijk;
- Vijftien jaar ervaring met BMS voor uiteenlopende vormen van waterstofopslagsystemen: vloeibaar, cryogeen gas en cryo-gecomprimeerd gas;
- Testopstelling voor het meten van de prestatie van waterstofkatalysatoren en de luchtfactor van een BMS;
- Vergunning voor het werken met waterstof onder (zeer) hoge druk, tot 150 MPa;
- Sterke relatie met Kiwa Nederland N.V. en andere testhuizen, die testen onder extreme omstandigheden mogelijk maakt;
- Contacten met diverse grote leveranciers van katalysatoren.

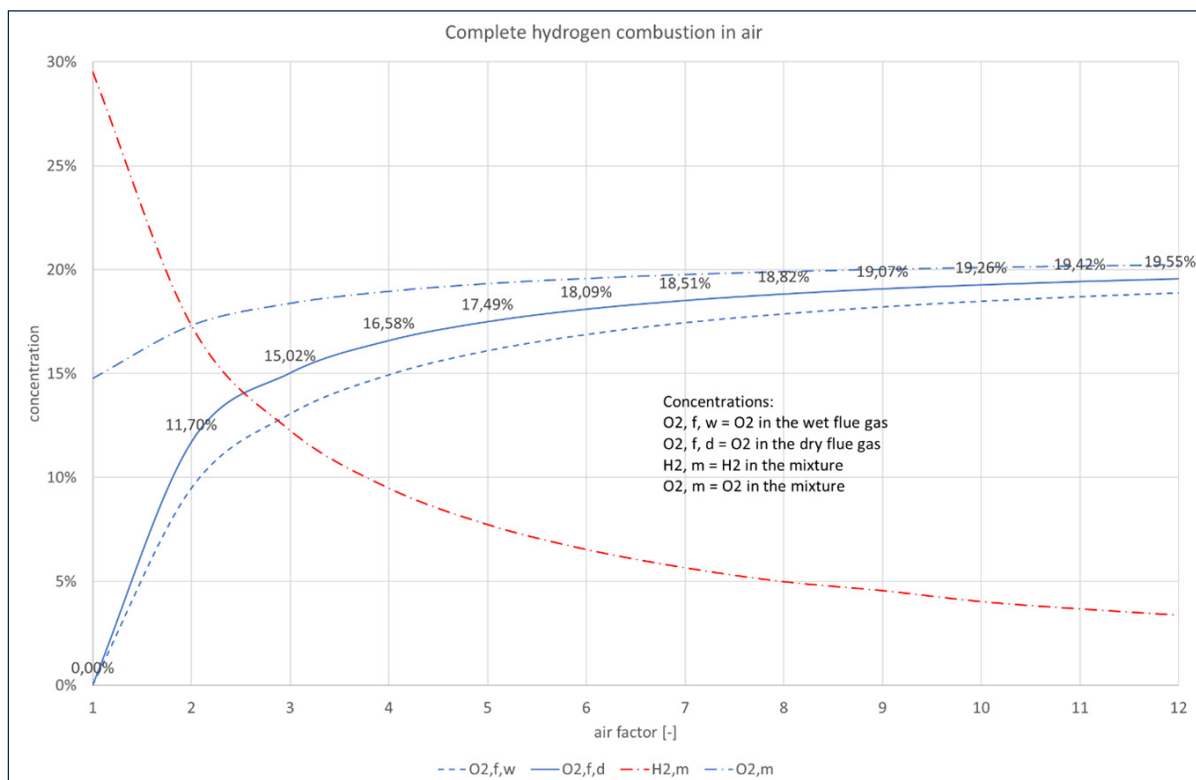
Hierdoor is Kiwa Technology in staat oplossingen te bieden voor uiteenlopende emissiesituaties.

### Werking van een BMS

Waterstof heeft de eigenschap dat het bij aanwezigheid van een katalysator tot water reageert met zuurstof uit de lucht bij omgevingstemperatuur. De systemen van Kiwa zijn

getest in de klimaatruimte bij lage omgevingstemperatuur tot  $-40^{\circ}\text{C}$ . Het BMS vertoont bij de start en bij continue belasting onder iedere omstandigheid lage emissie die voldoet aan de eisen die onder andere gesteld zijn door de VN [3]. De lage emissies worden bereikt door een snel reagerende katalysator.

Het buitenoppervlak van het BMS van Kiwa Technology blijft koel. Ons BMS onderscheidt zich door een lage verbrandingstemperatuur die wordt bereikt met een hoge luchtfactor. Typische luchtfactoren zijn 6 tot 7 maal de vereiste hoeveelheid lucht die nodig is om het waterstof om te zetten. Door de luchtkoeling is de temperatuur van het BMS laag, tussen  $400$  en  $450^{\circ}\text{C}$ .



Grafiek: De samenstelling van het mengsel van waterstof en lucht in het BMS en de uitlaatgassen als functie van de luchtfactor.

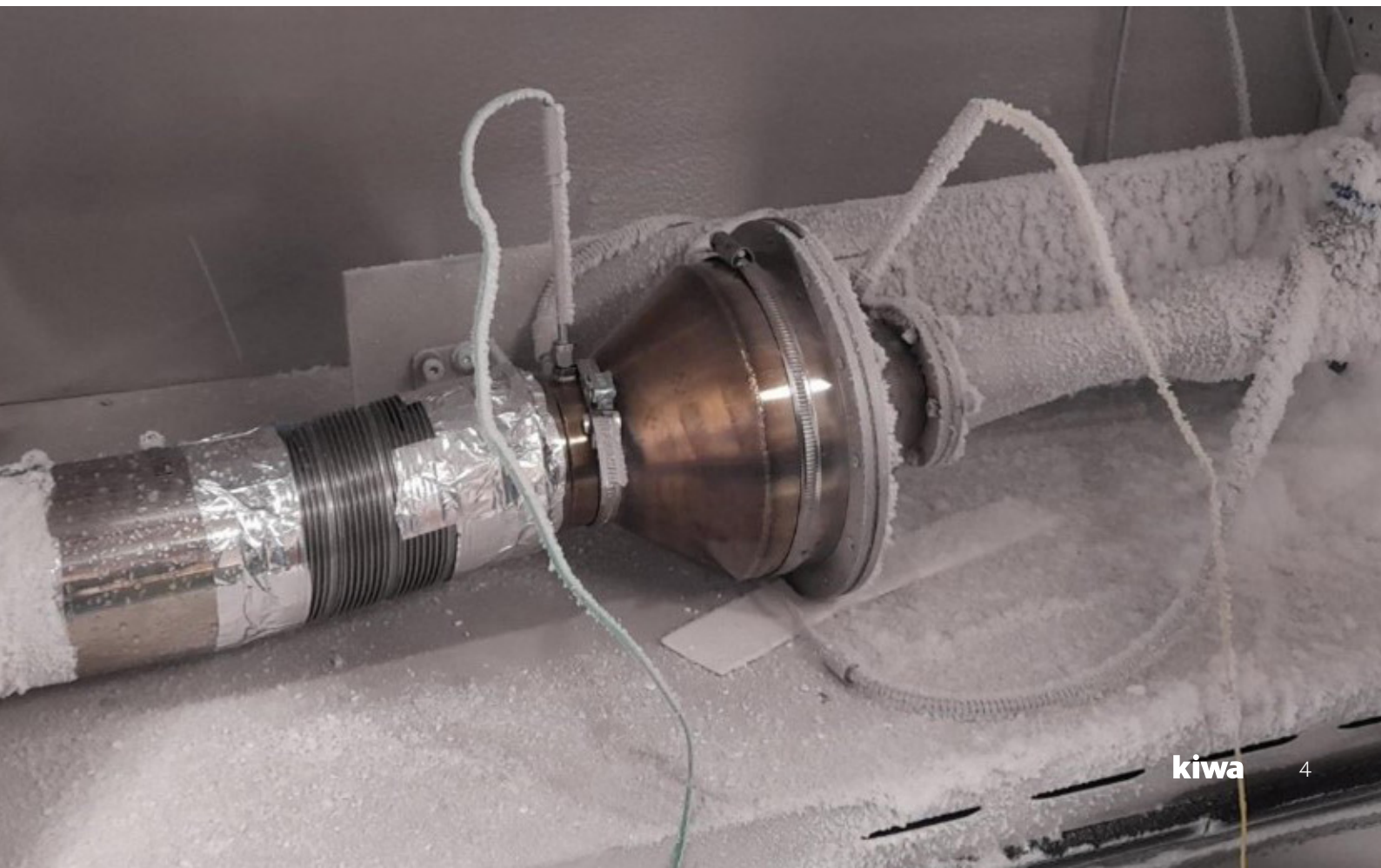
Alleen de waterstofdruk in de tank of in het de waterstofnetwerk is voldoende om het BMS het waterstof om te laten zetten. In een voertuig is de tankdruk nagenoeg constant, deze wordt bepaald door het afblaasventiel van de tank. De drukken waarvoor ons BMS geschikt is, variëren van ongeveer 5 bar bij vloeibare waterstof tot 350 bar bij cryogecomprimeerde waterstof.

Waterstofnetbeheerders maken leidingsecties drukloos om veilig werkzaamheden aan hun net te kunnen uitvoeren. Het is belangrijk dat daarbij geen waterstof in de omgeving terecht komt. De druk in het waterstofnet zal dalen van een begindruk naar uiteindelijk de omgevingsdruk. Daarna wordt de leidingsectie gespoeld met stikstof. Het BMS van Kiwa maakt een mengsel van lucht en waterstof/stikstof uit de leiding. Dit mengsel wordt door een katalysator omgezet naar water zonder dat waterstof in de atmosfeer komt. Het mengsel bevat minder dan 4% waterstof in lucht waardoor het niet door een vonk kan worden ontstoken.

Regelgeving voor waterstofauto's vereist dat een BMS werkt bij  $-40^{\circ}\text{C}$ . Het BMS van Kiwa wordt getest in een klimaatruimte waarin het BMS tot deze temperatuur wordt afgekoeld en waarin de lucht die door het BMS wordt aangezogen deze temperatuur heeft.

Ons BMS heeft een compacte bouwwijze en is licht van gewicht. De geluidsproductie is beperkt tot het geluid van het gas dat stroomt. In de meeste gevallen zorgt het omgevingsgeluid ervoor dat een operationeel BMS niet opvalt.

*Foto: Een BMS na een koude start in de klimaatkamer. De katalysator en de uitlaat hebben het ijs op de buitenkant gesmolten.*



## Dialogoog met opdrachtgevers

Samen met de opdrachtgever wordt een ontwikkelingstraject voor een BMS in fasen doorlopen, waarin de dialoog om een sluitend eisenpakket vast te stellen leidend is. Een ontwikkelingstraject start met de definitie van het BMS. Het blijkt altijd dat er uiteenlopende eisen zijn waaraan een BMS moet voldoen:

- **Eisen van de voertuigbouwer**

De voertuigbouwer vraagt van een BMS dat het in de auto past, dat de temperaturen van het oppervlak de nabije onderdelen in de auto niet beïnvloeden en dat het systeem niet te zwaar is. Verder moet het systeem bestand zijn tegen de omstandigheden die zich in een voertuig kunnen voordoen, bijvoorbeeld mechanische belasting, extreme omgevingstemperaturen, stof en trillingen. Hiervoor zijn interne normen beschikbaar die het automerk onderscheiden van zijn concurrenten.

- **Eisen van de netbeheerder**

Een beheerder van een waterstofnetwerk zal eisen dat het BMS werkt van de netdruk tot nagenoeg de atmosferische druk. Om veilig te kunnen werken, mag daarbij de concentratie van waterstof in het mengsel niet hoger zijn dan 4% in lucht. Dit betekent een luchtfactor van minimaal 10. Katalysatoren van Kiwa zijn in staat bij een veelvoud van 10 nog alle waterstof om te zetten. Vanwege het spoelen van de leiding met een inert gas is de samenstelling van de brandstof niet constant, maar een mengsel van stikstof en waterstof waarvan de verhouding varieert.

- **Eisen vanuit normen en richtlijnen**

Internationale afspraken in normen en richtlijnen voor voertuigen specificeren de veiligheid en milieubelasting. De minimalisering van de emissie van waterstof speelt hierbij een belangrijke rol. Een ander belangrijk aspect is het gedrag van een BMS bij tankdrukken hoger dan de nominale tankdruk die tijdens het bedrijf kunnen optreden. Een BMS van Kiwa is ontworpen met overbelasting door verhoogde waterstofdruk als extreme omstandigheid.

- **Eisen van het waterstofopslagsysteem**

Voor toepassingen van een BMS in cryogene opslag is de leverancier van het waterstofopslagsysteem vaak de opdrachtgever. De belangrijkste parameter voor het ontwerp is het nominale vermogen van het BMS in gram waterstof per uur. Dat vermogen volgt uit de isolatiekwaliteit en het volume van de waterstoftank.

Een BMS van Kiwa werd tot nu toe geleverd in de vermogensband van 30 tot 300 gram per uur bij nominale tankdruk. Wij verwachten onze technologie te kunnen opschalen naar hogere vermogens, bijvoorbeeld voor maritieme toepassingen. Een andere parameter is de temperatuur van het waterstof die mag worden verwacht op de aansluiting van het BMS met de brandstofleiding. Hoe kouder het waterstof, des te sneller stroomt het door het BMS. We kunnen gebruikmaken van simulaties van de gastemperatuur of praktische waarden uit experimenten.

- **Eisen van Kiwa Technology**

Ook Kiwa Technology stelt eisen aan de inbouw van een BMS in het voertuig. Deze eisen zorgen ervoor dat het BMS betrouwbaar functioneert in alle omstandigheden. Zo wordt de invloed van rijwind geminimaliseerd, kan neerslag niet in contact komen met de binnenkant van het systeem en kunnen er geen voorwerpen onbedoeld in de gasleidingen komen.

## Bouw van de oplossing

Om na te gaan of het systeem aan de gestelde eisen voldoet, wordt een prototype gebouwd dat wordt getest. Hiervoor heeft Kiwa Technology een speciale BMS-testopstelling ontwikkeld. Deze legt aan het BMS een geprogrammeerde waterstofbelasting op in g/h. Dit resulteert in waterstofdruk in de brandstofleiding. De reactie van het BMS op de belasting wordt vastgelegd met continue analyse van de samenstelling van de uitlaatgassen. De geanalyseerde componenten zijn zuurstof voor bepaling van de luchtfactor en waterstof. Er zijn twee aparte waterstofanalysers, één voor het registreren van korte pieken tot 10% en één voor het detecteren van waterstofsporen op ppm-niveau. Extreme tests als zoutnevel, trillingen en uiteenlopende temperaturen worden uitgevoerd in samenwerking met collega's binnen de Kiwa Groep of andere testhuizen.

## Producten en markten

Naast toepassingen in waterstofvoertuigen en waterstofnetten worden ook cruiseschepen uitgerust met waterstoftanks. Tijdens het aangemeerd liggen aan de kade wordt gebruik gemaakt van waterstof voor stroom aan boord om de directe omgeving van de aanlegplaats niet te belasten met rook uit de traditionele brandstofvoorraad. Hiermee voorkomt waterstof afhankelijkheid van walstroom en is het bovendien een milieuvriendelijk alternatief.

Met onze testopstelling kunnen we in opdracht van verschillende partijen de kwaliteit van katalysatoren voor waterstof testen. Kiwa Technology velt dan een onafhankelijk oordeel. De komende jaren wordt voor de eerste generaties waterstofvrachtwagens de vraag naar kleine voorseries BMS'en verwacht. Centraal bij de productie daarvan is het testen op veiligheid en functionaliteit. Kiwa Technology verwacht met zijn testfaciliteiten een belangrijke rol te kunnen spelen bij de seriefabricage van BMS'en.

Potentiële markten en producten zijn in onderstaande matrix benoemd.

## Conclusies

Een BMS wordt een verplicht onderdeel van een voertuig op cryogene waterstof. Ook voor het veilig ontgassen van een waterstofnetwerk is een katalytische omzetting van waterstof naar water een logisch element voor veilig en emissieloos werken. Een BMS kan een belangrijke rol spelen in de beperking van de emissies van een waterstofnetwerk.

## Referenties

- [1] McKinsey & Company, "Hydrogen insights may 2023," The Hydrogen Council, North America, 2023.
- [2] The World Bank, "Zero routine flaring by 2030," 21 06 2023. [Online]. Available: <https://www.worldbank.org/en/programs/zero-routine-flaring-by-2030/about>.
- [3] United Nations, "UNECE adopts global technical regulation on the safety of hydrogen and fuel cell vehicles," 15 6 2013. [Online]. Available: <https://unece.org/DAM/trans/doc/2013/wp29/ECE-TRANS-WP29-2013-041e.pdf>.

| Markt                | Leveranciers van cryogene waterstof-opslagsystemen | Katalysator-leveranciers | Transmissie-netbeheerders | Distributie-netbeheerders | Maritiem |
|----------------------|----------------------------------------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|----------|
| BMS-prototypen       | X(2)                                               |                          | X(1?)                     | X                         | X        |
| Testen katalysatoren |                                                    | X(1)                     |                           |                           |          |
| BMS kleine serie     | X                                                  |                          | X                         | X                         | X        |

## © 2024 Kiwa N.V.

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of enig andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

The logo for Kiwa, featuring the word "kiwa" in a bold, lowercase, sans-serif font.

**Kiwa Technology**

Wilmersdorf 50

Postbus 137

7300 AC Apeldoorn

Telefoon +31 (0)88 998 35 21

E-mail [technology@kiwa.nl](mailto:technology@kiwa.nl)

**[www.kiwatechnology.nl](http://www.kiwatechnology.nl)**