Handreiking veilige leefomgeving: waterstofaggregaten

WP2 Risicobeheersing en incidentbestrijding

Auteur: 5.1, 2, e 5.1, 2, e

Dit project is medegefinancierd door TKI Nieuw Gas | Topsector Energie uit de PPS-toeslag onder referentienummer TKI2019 WVIP



NLHydrogen

Oktober 2023, status: final

Inhoudsopgave

1. Inleiding 4

1.1. Aanleiding 4

1.2. Toepassingsbereik 4

1.3. Leeswijzer 4

2. Waterstofaggregaat 6

3. Omgevingswet 7

3.1. Inleiding 7

3.2. Informatieplicht, vergunning of melding 8

3.3. Omgevingsvergunning milieu, informatieplicht of melding 9

3.4. Omgevingsvergunning bouwen 10

3.5. Omgevingsvergunning omgevingsplanactiviteit 11

4. Overige wet- en regelgeving 13

4.1. Ontwerp waterstofaggregaat 13

4.2. Vervoer 13

4.3. Waterstofcilinders 13

4.4. Arbowet 13

4.5. Wet veiligheidsregio's 14

4.6. Besluit brandveilig gebruik en basishulpverlening overige plaatsen 14

5. Voorbeelden waterstofaggregaten 16

5.1. Inleiding 16

5.2. Bouwproject 16

5.3. Evenementen 17

6. Beperken van gevaren - Waterstof 19

6.1. Eigenschappen van waterstof 19

6.2. Gevaren in de waterstofketen 20

6.3. Effecten 20

6.4. Kansen 23

6.5. Risicobeheersing en maatregelen 23

6.6. Incidentbeschrijving en maatregelen 27

7. Beperken van gevaren – Batterij 28

7.1. Inleiding 28

7.2. Beschrijving van Li-ion batterijsystemen 28

7.3. Gevaren van een Li-ion batterijsysteem 29

7.4. Effecten 30

7.5. Risicobeheersing en maatregelen 31

8. Literatuur 32

Bijlage 1. Regelgeving milieu tot 1 januari 2024 33

Bijlage 2. Regelgeving bouwen en bestemmingsplan tot 1 januari 2024 35

Bijlage 3. Voorbeelden met regels tot 1 januari 2024 37

Bijlage 4. Details effectberekeningen 38

1. Inleiding

1.1. Aanleiding

Het Waterstof Veiligheid Innovatie Programma (WVIP) heeft als doel de brede introductie van waterstof, als innovatieve en duurzame energiedrager, mogelijk te maken en te versnellen. Dat doen we door potentiële risico's te identificeren en te adresseren, en risico's te beheersen door het nemen van passende voorzorgsmaatregelen. Werkgroep 2 richt zich op risicobeheersing en incidentbestrijding.

Deze leidraad is bedoeld voor alle partijen die betrokken zijn bij (de ontwikkeling van) waterstofprojecten in de gebouwde omgeving waarbij gebruik wordt gemaakt van kleine hoeveelheden waterstof. Te denken valt aan initiatiefnemers, bevoegd gezagen, omgevingsdiensten en veiligheidsregio's.

Bij het opstellen van de leidraad is het gebruik van waterstofaggregaten als voorbeeld genomen, omdat waterstofaggregaten in de praktijk al zijn toegepast en omdat hierbij sprake is van beperkte hoeveelheden waterstof. De leidraad kan waar mogelijk ook gebruikt worden voor andere kleinschalige initiatieven met waterstof in de gebouwde omgeving.

Waterstofaggregaten leveren tijdelijk stroom op locaties waar geen of onvoldoende stroom voorhanden is, zoals festivals of bouwplaatsen. De leidraad geeft handvatten om de vragen en antwoorden die er over dit onderwerp zijn centraal te ontsluiten met het doel de waterstofveiligheid te borgen. Zo geeft de leidraad inzicht in de regels die gelden voor de bescherming van de leefomgeving en biedt het informatie over het veilig toepassen van waterstofaggregaten.

1.2. Toepassingsbereik

Deze leidraad gaat over waterstofaggregaten met cilinderpakketten als voorraad waterstof. Dit zijn meerdere onderling verbonden gasflessen (cilinders) met waterstof met een waterinhoud van 50 liter en een druk van maximaal 300 bar. Een waterstofaggregaat is een voorbeeld van kleinschalige toepassing van waterstof. Waterstof kan ook opgeslagen zijn in een opslagtank of tubetrailer. Deze leidraad beperkt zich echter tot opslag in een cilinderpakket, omdat het te verwachten is dat deze systemen eerder op een bouwplaats of een festival staan dan grotere opslagsystemen.

In wet- en regelgeving wordt de term 'flessen' gebruikt in plaats van cilinders. In deze Leidraad komen beide termen naast elkaar voor, omdat het niet gewenst om teksten van wet- en regelgeving aan te passen.

Wat onder kleinschalig wordt verstaan, is nergens vastgelegd. Het betekent in elk geval dat het niet gaat om een IPPC-installatie[1] en dat het geen Seveso-inrichting[2] is. In de praktijk wordt bij waterstofaggregaten vaak gebruik gemaakt van twee of meer bundels met waterstofcilinders waarbij iedere bundel zo'n 17 kg waterstof bevat (zie paragraaf **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.**). Kleinschalig kan daarom inhouden dat op een locatie minder dan 50 kg waterstof aanwezig is.

1.3. Leeswijzer

Hoofdstuk 2 beschrijft de werking van een waterstofaggregaat. In hoofdstuk 3 wordt ingegaan op de regels voor milieu, bouwen en omgevingsplan die gaan gelden vanaf 1 januari 2024 als de

[1] Een IPPC-installatie is een installatie voor industriële activiteiten die zijn aangewezen in bijlage 1 van de Richtlijn Industriële Emissies (Richtlijn 2010/75/EU).

[2] Als op een locatie meer dan 5 ton waterstof aanwezig is, is sprake van een Seveso-inrichting. Het gaat dan om categorie 15 uit bijlage I, deel 2 van de Richtlijn 2012/18/EU. Bij meer dan 50 ton is het een hogedrempelinrichting.

Omgevingswet in werking treedt. De huidige regels voor milieu, bouwen en bestemmingplan staan in bijlage 1 en 2. Hoofdstuk 4 gaat in op overige wet- en regelgeving. Voorbeelden van kleinschalige toepassingen staan in hoofdstuk 5. Het gaat om het gebruik van waterstofaggregaten op bouwterreinen en bij evenementen.

Een waterstofaggregaat wordt vaak gecombineerd met een batterijsysteem om de opgewekte stroom op te slaan. Zowel het waterstofaggregaat als het batterijsysteem brengen bepaalde gevaren met zich mee. Hoofdstuk 6 beschrijft de gevaren van een waterstofaggregaat. De gevaren van het batterijsysteem staan in hoofdstuk 7.

2. Waterstofaggregaat

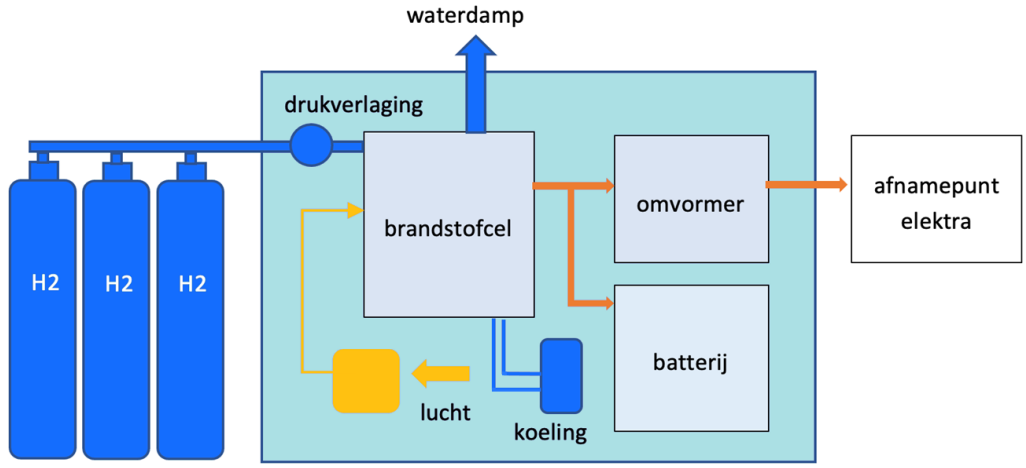
Een waterstofaggregaat levert stroom.[3] Bij een waterstofaggregaat wordt in een brandstofcel stroom opgewekt door een elektrochemische reactie van waterstof (H_2) met zuurstof (O_2). Hieronder staat een overzicht van de elektrochemische reacties in de brandstofcel:

Anode: $2H_2 \longrightarrow 4H^+ + 4e^-$
Kathode: $O_2 + 4H^+ + 4e^- \longrightarrow 2H_2O$
Gehele cel: $2H_2 + O_2 \longrightarrow 2H_2O$

De elektronen die bij de anode gevormd worden, zijn nodig bij de kathode. De elektronenstroom die daardoor gaat lopen, wordt gebruikt om apparatuur op locatie van stroom te voorzien. Bij de elektrochemische reactie in de brandstofcel komt ook water en warmte vrij. Een waterstofaggregaat heeft daarom geen uitstoot van milieubelastende stoffen. In het aggregaat zelf is weinig waterstof aanwezig. De grootste hoeveelheid waterstof is de voorraad waterstof.

Figuur 2.1 geeft een vereenvoudigde weergave van een waterstofaggregaat. In een waterstofaggregaat wordt eerst de gasdruk verlaagd waarna waterstof met behulp van brandstofcellen wordt omgezet in elektrische energie (gelijkstroom) en waterdamp. Gelijkstroom kan met een omvormer worden omgezet naar een andere spanning of naar wisselstroom. De elektrische energie kan direct worden gebruikt of worden opgeslagen in batterijen. Een batterijsysteem kan onderdeel zijn van het aggregaat of met leidingen verbonden zijn.

In tegenstelling tot dieselaggregaten is bij waterstofaggregaten geen sprake van CO_2-uitstoot. Bij de productie van waterstof komt wel CO_2 vrij, tenzij het vrijgekomen CO_2 wordt opgeslagen (blauwe waterstof) of als waterstof is gemaakt van duurzame energie (groene waterstof).



Figuur 2.1 Vereenvoudigde weergave opbouw brandstofaggregaat met batterij

Blauwe of groene waterstof
Voor blauwe waterstof is de grondstof aardgas of kolen. De CO_2 die bij de productie vrijkomt, wordt afgevangen en opgeslagen, bijvoorbeeld in lege gasvelden op zee. Blauwe waterstof wordt als CO_2-neutraal beschouwd, omdat er geen extra CO_2 in de atmosfeer komt. Groene waterstof wordt gemaakt met energie uit duurzame bronnen, zoals zonne- en windenergie. Door elektrolyse wordt water (H_2O) onder stroom gezet, waardoor de moleculen splitsen en zuurstof (O_2) en waterstofgas (H_2) ontstaan. Ook is het mogelijk om waterstof te maken via de biochemische omzetting van biomassa. Groene waterstof is de meest duurzame vorm van waterstof.

[3] Het geleverde vermogen varieert van 6 kW tot 200 kW.

3. Omgevingswet

3.1. Inleiding

Op 1 januari 2024 treedt de Omgevingswet in werking. De Omgevingswet bundelt wetgeving en regels voor ruimte, wonen, infrastructuur, milieu, natuur en water. De huidige regels voor milieu en bouwen vervallen en staan in respectievelijk het Besluit activiteiten leefomgeving en het Besluit bouwwerken leefomgeving. Onder de Omgevingswet wordt het bestemmingsplan het omgevingsplan. In tegenstelling tot het bestemmingsplan staan er in het omgevingsplan ook milieuregels.

Onder de Omgevingswet verhuist een aantal regels van het Rijk naar gemeenten en waterschappen. Dit heet ook wel de 'bruidsschat'. Het Rijk zorgt er met het Invoeringsbesluit voor dat de regels voor gemeenten automatisch in het tijdelijk deel van het omgevingsplan komen. De gemeente krijgt de tijd om zelf een afweging te maken hoe ze deze onderwerpen wil regelen. Deze 'tijdelijke' regels gelden tot de gemeente ze zelf heeft geregeld in het omgevingsplan. Zie voor meer informatie over de bruidsschat het Informatiepunt leefomgeving.[4]

Dit hoofdstuk is geschreven op basis van de regels waarvan bekend is dat ze op 1 januari 2024 in werking treden. Bij het opstellen van de Omgevingswet en onderliggende regels was er nog nauwelijks aandacht voor de energietransitie en waterstofactiviteiten. Dat er voor een aantal activiteiten geen regels zijn, betekent niet dat de activiteit 'vrijgesteld' is en zal blijven. Daar waar (nog) geen regels voor zijn, kan teruggevallen worden op de zorgplicht en het algemeen verbod voor activiteiten van de Omgevingswet.

Algemene zorgplicht

De Omgevingswet bevat een algemene zorgplicht (artikel 1.6 en 1.7). Dit houdt in dat overheden, bedrijven én burgers verantwoordelijk zijn voor een veilige en gezonde leefomgeving. Deze algemene zorgplicht is vooral een vangnet voor het geval er geen specifieke decentrale of rijksregels zijn. Als deze specifieke decentrale of rijksregels er wel zijn, geldt de algemene zorgplicht niet meer.

Specifieke zorgplicht

In het Besluit activiteiten leefomgeving (Bal) staat de specifieke zorgplicht. Deze zorgplicht is van toepassing op de milieubelastende activiteiten waarvoor regels gelden op grond van het Bal. Deze specifieke zorgplicht geldt naast de andere regels. Deze zorgplicht is ook een vangnet voor activiteiten die onder een aangewezen milieubelastende activiteit (mba) vallen, maar waarvoor geen specifieke regels in het Bal staan. Meer informatie over de specifieke zorgplicht in het Bal staat op de website van het Informatiepunt leefomgeving[5]. Ook de lokale overheid kan specifieke zorgplichten opnemen in haar verordeningen of omgevingsplannen.

Algemeen verbod

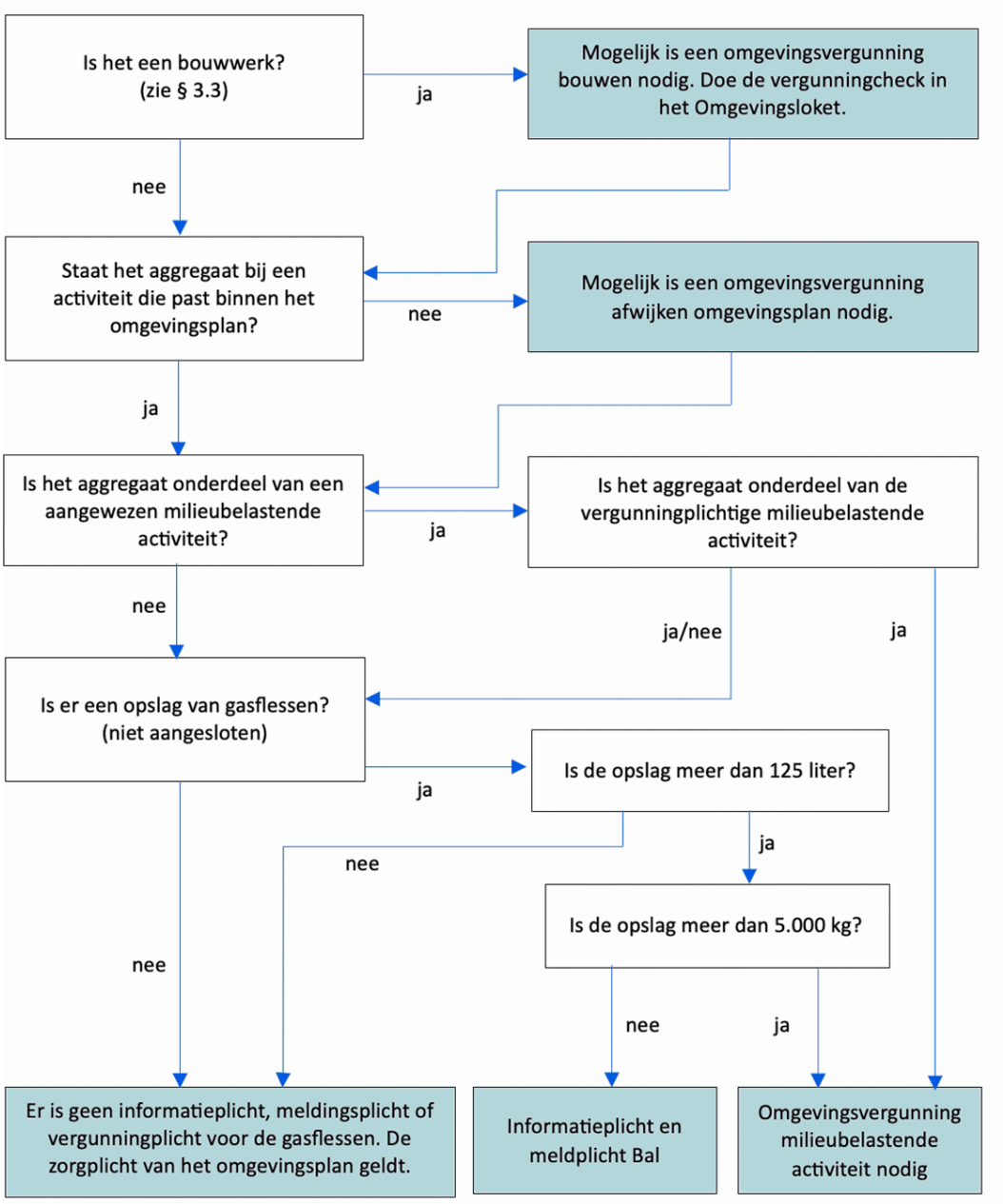
In de Omgevingswet staat een algemeen verbod (artikel 1.7a). Het is verboden om een activiteit te verrichten of na te laten als daardoor aanzienlijke nadelige gevolgen voor de fysieke leefomgeving (dreigen te) ontstaan. Bijvoorbeeld een milieuverontreiniging die aanzienlijke schade aan de kwaliteit van lucht, bodem of water veroorzaakt. Dit verbod is ook een vangnet voor het geval er geen specifieke decentrale of rijksregels zijn. Als deze specifieke decentrale of rijksregels er wél zijn, geldt het algemeen verbod niet meer. Bijvoorbeeld als een specifieke zorgplicht of andere algemene regel geldt. Of een vergunningvoorschrift.

4 https://iplo.nl/regelgeving/omgevingswet/introductie/totstandkoming/hoofdlijnen-invoeringsbesluit/bruidsschat/
5 https://iplo.nl/regelgeving/omgevingswet/zorgplicht/specifieke-zorgplicht-activiteiten-bal/

3.2. Informatieplicht, vergunning of melding

In het Omgevingsloket[6] kan een initiatiefnemer via de vergunningcheck nagaan of een informatieplicht geldt en of een vergunning of melding nodig is. Het indienen gaat ook via het Omgevingsloket. Ook kan de initiatiefnemer in het Omgevingsloket opzoeken welke regels gelden voor een bepaalde activiteit.

In Figuur 3.1 staat een stroomschema om te bepalen of er een informatieplicht, meldingsplicht of vergunningplicht is. De blauwe vlakken geven aan wat nodig is. In paragrafen 3.3 tot en met 3.5 wordt verdere uitleg gegeven.



Figuur 3.1 Stroomschema informatieplicht, meldplicht, vergunningplicht

6 https://dmo.omgevingswet.overheid.nl/home

3.3. Omgevingsvergunning milieu, informatieplicht of melding

Onder de Omgevingswet verdwijnt het begrip 'inrichting' uit de Wet milieubeheer (Wm). Het wordt vervangen door milieubelastende activiteit. Een milieubelastende activiteit is een activiteit die nadelige gevolgen voor het milieu kan veroorzaken. In het Besluit activiteiten leefomgeving (Bal) zijn de milieubelastende activiteiten aangewezen waarvoor rijksregels gelden. Het maakt voor de geldigheid van deze milieuregels meestal niet meer uit of een activiteit een bedrijfsmatige omvang heeft, hoe lang de activiteit duurt en of de activiteit op een vaste plek plaatsvindt. Als het wel uitmaakt, is dit bij de activiteit vermeld. Naast de regels in het Bal, staan er ook regels in het omgevingsplan, bijvoorbeeld voor geluid of externe veiligheid. In het omgevingsplan staan ook regels voor milieubelastende activiteiten waarvoor geen rijksregels zijn, bijvoorbeeld voor horeca.

Waterstofaggregaat

Een waterstofaggregaat is in het Bal niet aangewezen als milieubelastende activiteit. Dit betekent dat er geen rijksregels voor gelden, tenzij het waterstofaggregaat functioneel ondersteunend is aan een activiteit die wel is aangewezen in het Bal. Als dit het geval is, zijn er geen specifieke regels voor het waterstofaggregaat, maar geldt wel de specifieke zorgplicht van het Bal. Als het waterstofaggregaat bij een activiteit hoort die niet is aangewezen in het Bal, dan geldt de specifieke zorgplicht van de bruidsschat of staan er regels in het omgevingsplan. Het bevoegd gezag kan op basis van de specifieke zorgplicht met maatwerkvoorschriften eisen stellen. De gemeente kan bij het wijzigen van het omgevingsplan hierin eisen opnemen voor waterstofaggregaten.

Omgevingsvergunning milieubelastende activiteit waterstofaggregaat

Een omgevingsvergunning milieubelastende activiteit is alleen nodig als het waterstofaggregaat functioneel ondersteunend is aan een aangewezen milieubelastende activiteit én als die activiteit als vergunningplichtig is aangewezen én als het waterstofaggregaat onderdeel is van die vergunningplicht.

Voorraad waterstof

Het opslaan van waterstof in gasflessen is vanaf 125 liter een aangewezen milieubelastende activiteit (zie paragraaf 3.2.9 Bal[7]). Maar dit geldt niet voor een gasflessen die ‘open’ zijn aangesloten op het waterstofaggregaat, omdat die gasflessen niet gezien worden als opslag. Onder opslaan vallen ook bijbehorende handelingen, zoals het overslaan en laden en lossen. Voor het opslaan van gasflessen geldt een informatieplicht en meldingsplicht. Het informeren en melden gaat via het Omgevingsloket.[8] Een melding moet 4 weken van tevoren worden gedaan. In de melding moeten de volgende gegevens staan[9]:

- de coördinaten van de opslagplaatsen voor waterstof;
- de hoeveelheid waterstof die ten hoogste wordt opgeslagen per opslagplaats.

De inhoudelijke regels voor het opslaan van gasflessen staan in paragraaf 4.98[10] van het Bal. Hier staan bijvoorbeeld eisen voor de afstand tot gevoelige functies. Er staat ook dat de opslag en het gebruik van gasflessen moet voldoen aan PGS 15.

In PGS 15 staan eisen voor het opslaan van gasflessen[11]. Deze eisen voor een opslagvoorziening in PGS 15 gelden niet voor een cilinderpakket dat is aangesloten op het aggregaat en waarbij de

---

7 https://iplo.nl/regelgeving/regels-voor-activiteiten/milieubelastende-activiteiten-hoofdstuk-3-bal/activiteiten/opslaan-gevaarlijke/

8 https://dmo.omgevingswet.overheid.nl/home

9 Artikel 4.1005 Besluit activiteiten leefomgeving

10 https://iplo.nl/regelgeving/regels-voor-activiteiten/opslaan-gevaarlijke-stoffen/

11 https://publicatiereeksgevaarlijkestoffen.nl/publicaties/pgs15/

toevoer open staat. De voorraad waterstof die op deze manier is aangesloten op het waterstofaggregaat, wordt namelijk niet gezien als opslag.[12] De eisen van PGS 15 gelden wel voor aangesloten cilinderpakketten waarbij de toevoer afgesloten is en voor cilinderpakketten in voorraad. De eisen in hoofdstuk 6 van PGS 15 gelden altijd.

Als op een locatie meer dan 5 ton waterstof aanwezig is, is sprake van een Seveso-inrichting. Een Seveso-inrichting is aangewezen als milieubelastende activiteit (zie paragraaf 3.3.1 Bal). Er is dan in elk geval geen sprake meer van kleinschalige toepassing.

Batterijsysteem

Het waterstofaggregaat kan gekoppeld zijn aan een batterijsysteem.[13] Een batterijsysteem is in het Bal niet aangewezen als milieubelastende activiteit. Dit betekent dat er geen rijksregels voor gelden, tenzij het batterijsysteem functioneel ondersteunend is aan een activiteit die wel is aangewezen in het Bal. Als dit het geval is, zijn er geen specifieke regels voor het batterijsysteem, maar geldt wel de specifieke zorgplicht van het Bal. Als het batterijsysteem bij een activiteit hoort die niet is aangewezen in het Bal, geldt de specifieke zorgplicht van de bruidsschat of staan er regels in het omgevingsplan. Het bevoegd gezag kan op basis van de specifieke zorgplicht met maatwerkvoorschriften de eisen in PGS 37-1 verplichten.

In PGS 37-1 staan eisen voor veilige opslag van elektriciteit in energie opslagsystemen.[14] Het gaat om lithiumhoudende oplaadbare energiedragers die (in groepen) elektrisch met elkaar zijn verbonden met een totaal opgesteld vermogen van meer dan 20 kWh.

Omgevingsvergunning milieubelastende activiteit batterijsysteem

Een omgevingsvergunning milieubelastende activiteit is alleen nodig als het batterijsysteem functioneel ondersteunend is aan een aangewezen milieubelastende activiteit én als die activiteit als vergunningplichtig is aangewezen én als het batterijsysteem onderdeel is van die vergunningplicht.

3.4. Omgevingsvergunning bouwen

De Omgevingswet verstaat onder een bouwwerk: *'constructie van enige omvang van hout, steen, metaal of ander materiaal, die op de plaats van bestemming hetzij direct of indirect met de grond verbonden is, hetzij direct of indirect steun vindt in of op de grond, bedoeld om ter plaatse te functioneren, met inbegrip van de daarvan deel uitmakende bouwwerkgebonden installaties anders dan een schip dat wordt gebruikt voor verblijf van personen en dat is bestemd en wordt gebruikt voor de vaart.*' Deze omschrijving komt overeen met de definitie die voor de inwerkingtreding van de Omgevingswet werd gebruikt.

Een waterstofaggregaat is een apparaat. Apparaten zijn meestal geen bouwwerk, omdat ze vaak niet plaatsgebonden zijn. Apparaten staan meestal ergens voor korte tijd en worden niet gezien als bouwwerk. Een waterstofaggregaat kan wel een plaatsgebonden karakter hebben en daarom worden aangemerkt als bouwwerk. Dat wil zeggen dat het gedurende een bepaalde tijd op één plek staat. In de praktijk wordt op basis van jurisprudentie een termijn van 31 dagen gebruikt.[15]

---

12 https://publicatiereeksgevaarlijkestoffen.nl/vraag-en-antwoord/PGS15/gasflessen-aan-verzamelleiding/

13 In deze tekst wordt met een batterijsysteem een energieopslag bedoeld van een bepaald vermogen. De term 'batterijsysteem' moet niet verward worden met de term 'flessenbatterij' die gebruikt wordt om meerdere waterstofflessen in een rek aan te geven.

14 https://publicatiereeksgevaarlijkestoffen.nl/publicaties/pgs37-1/

15 ABRS 7 juni 2001, Gst. 7154.7

Het waterstofaggregaat kan ook zijn geplaatst in een bouwwerk. Als dat bouwwerk plaatsgebonden is, kan voor dat bouwwerk een omgevingsvergunning bouwen nodig zijn.

Onder de Omgevingswet wordt bouwen in een technisch deel en in een ruimtelijk deel gescheiden. Dat levert twee activiteiten op: de technische bouwactiviteit en de omgevingsplanactiviteit:

- De technische bouwactiviteit gaat over de toets van een aanvraag aan de regels voor de technische bouwkwaliteit uit het Besluit bouwwerken leefomgeving (Bbl). Bijvoorbeeld de constructieve veiligheid van een bouwwerk.
- De omgevingsplanactiviteit omvat de toets van het bouwen van een bouwwerk voor het ruimtelijk bouwen, in stand houden en gebruiken van een bouwwerk aan het omgevingsplan.

Door deze 'knip' zijn er meer technische bouwactiviteiten vergunningvrij, omdat ruimtelijke randvoorwaarden niet langer een rol spelen. Zie de website van het Informatiepunt Leefomgeving voor de vergunningvrije technische bouwactiviteiten[16] en de vergunningvrije omgevingsplanactiviteiten voor bouwen.[17] In het Omgevingsloket kan een initiatiefnemer via de vergunningcheck nagaan of een omgevingsvergunning bouwen nodig is.[18] De aanvraag wordt digitaal gedaan via het Omgevingsloket.

3.5. Omgevingsvergunning omgevingsplanactiviteit

Het omgevingsplan regelt onder andere welke activiteiten op een bepaalde plek zijn toegestaan en welke gebruiksregels hiervoor gelden. Een waterstofaggregaat zal altijd ondersteunend zijn aan een 'andere' activiteit, bijvoorbeeld een bedrijf, festival of een bouwplaats. Die 'andere' activiteit kan bepalend zijn of het gebruik van een waterstofaggregaat is toegestaan op grond van het omgevingsplan. Het omgevingsplan kan ook risicovolle activiteiten uitsluiten.

Specifieke zorgplicht

In het omgevingsplan staat de specifieke zorgplicht (artikel 22.44 bruidsschat). De specifieke zorgplicht zorgt ervoor dat degene die een activiteit verricht, alles moet doen en laten om negatieve gevolgen voor de veiligheid, het milieu en de gezondheid te voorkomen of zo veel mogelijk te beperken. Deze specifieke zorgplicht is een vangnet voor het geval er geen regels zijn voor een bepaalde activiteit. De specifieke zorgplicht in het omgevingsplan geldt niet voor milieubelastende activiteiten die zijn aangewezen in hoofdstuk 3 van het Bal. Als een waterstofaggregaat niet valt onder de regels in het Bal (zie § 3.3 van deze handreiking) dan geldt de specifieke zorgplicht van het omgevingsplan. Daarnaast zouden er regels voor een waterstofaggregaat kunnen staan in het omgevingsplan.

Omgevingsvergunning omgevingsplanactiviteit

In het omgevingsplan kan een vergunningplicht staan voor gebruik van een waterstofaggregaat. Dit is dan een vergunning voor een binnenplanse omgevingsplanactiviteit (OPA). Als een activiteit met een waterstofaggregaat op een bepaalde plek niet zou mogen, dan kan dit met een omgevingsvergunning toch worden toegestaan. Dit is een omgevingsvergunning voor een buitenplanse omgevingsactiviteit (BOPA).

16 https://iplo.nl/regelgeving/regels-voor-activiteiten/technische-bouwactiviteit/rijksregels-bouwactiviteit/vergunning-vrije-technische-bouwactiviteiten/

17 https://iplo.nl/regelgeving/regels-voor-activiteiten/omgevingsplanactiviteit/vergunningvrije-omgevingsplanactiviteit-bestaat/

18 https://dmo.omgevingswet.overheid.nl/home

Omgevingsvergunning OPA of BOPA
Een activiteit die voldoet aan de regels in het omgevingsplan, maar waarvoor in het omgevingsplan een vergunningplicht staat. Dit is een binnenplanse omgevingsplanactiviteit (OPA). Een activiteit die in strijd is met het omgevingsplan, maar met een vergunning wordt toegestaan. Dit is een is een buitenplanse omgevingsplanactiviteit (BOPA).

De aanvraag voor een omgevingsvergunning omgevingsplanactiviteit wordt digitaal gedaan via het Omgevingsloket. Bij het beoordelen van een BOPA zal het bevoegd gezag ook kijken naar veiligheid voor de omgeving en minimumafstanden. De beoordelingsregels voor een BOPA staan in het Bkl. Het gaat dan om de instructieregels die gelden bij het wijzigen van het omgevingsplan.

Bij het wijzigen van het omgevingsplan moet de gemeente de instructieregels in het Bkl in acht nemen. Er zijn ook instructieregels voor externe veiligheid.[19] Voor activiteiten in bijlage VII van het Bkl moet de gemeente de grenswaarde voor het plaatsgebonden risico in acht nemen[20]. Deze instructieregels gelden ook voor een omgevingsvergunning BOPA.

Meer informatie over de omgevingsvergunning voor omgevingsplanactiviteiten en de beoordelingsregels staat op de website van het Informatiepunt Leefomgeving. [21]

19 https://iplo.nl/thema/externe-veiligheid/externe-veiligheid-in-omgevingsplan/algemene-instructieregels-externe-veiligheid/
20 https://iplo.nl/thema/externe-veiligheid/externe-veiligheid-in-omgevingsplan/plaatsgebonden-risico/
21 https://iplo.nl/regelgeving/regels-voor-activiteiten/omgevingsplanactiviteit/vergunningplicht-omgevingsplanactiviteit/

4. Overige wet- en regelgeving

4.1. Ontwerp waterstofaggregaat

Voor het ontwerp van brandstofcelaggregaten geldt Europese en nationale wet- en regelgeving, zoals:

- Europese richtlijn drukapparatuur: geïmplementeerd in het Warenwetbesluit drukapparatuur.
- Europese richtlijn ATEX: geïmplementeerd in het Warenwetbesluit explosieveilig materieel 2016.
- Europese machinerichtlijn: geïmplementeerd in het Warenwetbesluit machines.

In en rondom een waterstofaggregaat zal sprake zijn van een ATEX-zone. Dat zijn zones waar een explosieve atmosfeer kan ontstaan. Het waterstofaggregaat zal geheel of gedeeltelijk in zijn eigen gevarenzone staan. Apparaten die onderdeel zijn van de installatie, moeten door de leverancier van de installatie worden geselecteerd op geschiktheid voor toepassing in een gevarenzone. Op grond van de Europese productrichtlijn 2014/34/EU moet de fabrikant overeenstemming met deze richtlijn aantonen. De fabrikant moet instructies verstrekken voor o.a. het installeren, gebruik en onderhoud.

Uitgangspunt is dat een waterstofaggregaat aan deze regels voldoet en geschikt is voor de specifieke eigenschappen van waterstof. Met het aanbrengen van CE-markering (‘Conformité Européenne’) verklaart de fabrikant dat het apparaat voldoet aan de daarvoor geldende Europese eisen. Zie voor meer informatie de praktijkrichtlijn NPR 8090.[22]

4.2. Vervoer

Cilinderpakketten zijn verpakte gevaarlijke stoffen. Voor vervoer van cilinderpakketten geldt onder andere het ADR en de Regeling vervoerbare drukapparatuur 2011. Er kan sprake zijn van een routeplicht gevaarlijke stoffen. Zie voor meer informatie de Kennisbundel Transport van waterstof(dragers[23]).[24]

De Inspectie Leefomgeving en Transport ziet toe op de naleving van de voorschriften voor het vervoer van gevaarlijke stoffen. Zij zijn ook aangewezen om toezicht te houden op een juiste classificatie van verpakte gevaarlijke stoffen.

4.3. Waterstofcilinders

Vervoerbare gasflessen moeten voldoen aan de eisen van NEN-EN-ISO 1114 *‘Gas cylinders — Compatibility of cylinder and valve materials with gas contents’*.

4.4. Arbowet

De Arbeidsomstandighedenwet (Arbowet) bevat rechten en plichten voor werkgevers en werknemers op het gebied van arbeidsomstandigheden. De regels zijn uitgewerkt in het Arbeidsomstandighedenbesluit en de Arbeidsomstandighedenregeling. Voor de Arbowet is het Ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid SZW verantwoordelijk. De Arbeidsinspectie ziet toe op naleving van deze regelgeving. Elk bedrijf met personeel moet (laten) onderzoeken of het werk gevaar kan opleveren of

22 https://www.nen.nl/npr-8090-2013-nl-190554

23 https://nipv.nl/wp-content/uploads/2022/06/20220302-IFV-Kennisbundel-Transport-van-waterstof.pdf

24 Medio 2023 komt het document ‘Waterstof (UN 1049) vervoer conform ADR’ beschikbaar op https://nlhydrogen.nl/veiligheid/.

schade kan veroorzaken aan de gezondheid van de werknemers. Dit onderzoek heet een Risico-Inventarisatie en -Evaluatie (RI&E). De risico's van een waterstofaggregaat zijn hier dan onderdeel van. Zie voor meer informatie over de RI&E het Arboportaal.[25]

In en rondom een waterstofaggregaat zal sprake zijn van een ATEX-zone. Dat zijn zones waar een explosieve atmosfeer kan ontstaan. Binnen deze zone moet een werkgever maatregelen nemen om ontsteking van de explosieve atmosfeer te voorkomen. Zie voor meer informatie over explosieveiligheid het Arboportaal.[26]

4.5. Wet veiligheidsregio's

De veiligheidsregio's hebben de taak om gemeenten te adviseren over branden, rampen en crises. Dit staat in artikel 10 van de Wet veiligheidsregio's (Wvr). De brandweer is een onderdeel van de veiligheidsregio. De taken van de brandweer staan in artikel 25 Wvr.[27] Dit zijn:

- het voorkomen, beperken en bestrijden van brand;
- het beperken van brandgevaar;
- het voorkomen, beperken en bestrijden van ongevallen anders dan bij brand.

Daarnaast dragen de veiligheidsregio's zorg voor:

- de voorbereiding op de bestrijding van branden, rampen en crises;
- het organiseren van de rampenbestrijding;
- het adviseren van andere overheden en organisaties op het gebied van brandpreventie, brandbestrijding en het voorkomen, beperken en bestrijden van ongevallen met gevaarlijke stoffen.

Hieronder valt ook het adviseren van het bevoegd gezag over voorschriften voor brandbestrijding en rampenbestrijding in omgevingsvergunningen. Het bevoegd gezag kan de veiligheidsregio om advies vragen bij het vaststellen van eisen aan brandpreventie en repressieve voorzieningen. Voor sommige initiatieven met een waterstofaggregaat is het van belang om de veiligheidsregio en de brandweer vanaf het begin te betrekken. Het gaat dan om de aspecten veiligheid, bereikbaarheid en bestrijdbaarheid.

4.6. Besluit brandveilig gebruik en basishulpverlening overige plaatsen

Het Besluit brandveilig gebruik en basishulpverlening overige plaatsen (Bbgbop) geeft regels over het brandveilig gebruik van voor mensen toegankelijke plaatsen, voor zover daarin niet in andere wet- en regelgeving is voorzien.[28] Ook staan er in dit besluit regels over de basishulpverlening op die plaatsen. De grondslag voor dit besluit is artikel 3, derde lid, van de Wet veiligheidsregio's. Het besluit ziet vooral op het gebruik van plaatsen in de open lucht en op de constructies die daar tijdelijk aanwezig zijn met het oog op het gebruik van die plaatsen. Het gaat bijvoorbeeld om openluchtfestivals.

Op grond van artikel 2.1 van het Bbgbop is in bepaalde gevallen een melding voor brandveilig gebruik nodig (gebruiksmelding). De gemeente kan nadere voorwaarden stellen als dit nodig is voor het voorkomen, beperken en bestrijden van brand, brandgevaar en ongevallen bij brand (zie artikel 2.5 Bbgbop). De melding is niet nodig als een evenementenvergunning nodig is (zie kader).

25 https://www.arboportaal.nl/onderwerpen/risico-inventarisatie---evaluatie

26 https://www.arboportaal.nl/onderwerpen/explosieveiligheid-atex

27 https://wetten.overheid.nl/jci1.3:c:BWBR0027466&paragraaf=4&artikel=25&z=2023-01-01&g=2023-01-01

28 https://wetten.overheid.nl/jci1.3:c:BWBR0040068&z=2018-08-01&g=2018-08-01

Samenloop evenementenvergunning en Bbgbop
Uit artikel 2.1, derde lid Bbgbop volgt dat voor brandveilig gebruik van een plaats geen meldingsplicht geldt als een evenementenvergunning nodig is en in die aanvraag om dezelfde gegevens wordt gevraagd als in artikel 2.3 Bbgbop. Als er geen meldingsplicht is, kan het bevoegd gezag ook geen nadere voorwaarden stellen. De gemeente kan dan waarschijnlijk wel nadere voorwaarden stellen in de evenementenvergunning.

Een waterstofaggregaat is geen bouwsel zoals bedoeld in het Bbgbop. Het Bbgbop geeft geen grond om uit oogpunt van brandveiligheid een eis te stellen aan de afstand tussen een waterstofaggregaat en een bouwwerk of bouwsel. Wel biedt het besluit de mogelijkheid tot handhavend optreden bij een brandonveilig aggregaat (zie artikel 6.1 Bbgbop). Maar dit geldt dus alleen voor zover er niet al andere regels gelden.

5. Voorbeelden waterstofaggregaten

5.1. Inleiding

In deze paragraaf worden de regels beschreven voor twee voorbeelden van kleinschalige toepassingen. Het gaat om waterstofaggregaten op bouwplaatsen en bij evenementen. Het gaat om de regels die gaan gelden onder de Omgevingswet vanaf 1 januari 2024. De regels die gelden tot 1 januari 2024 staan in bijlage 3.

5.2. Bouwproject

5.2.1. Omgevingswet

Een waterstofaggregaat is niet aangewezen als een milieubelastende activiteit. Een bouwproject is ook niet aangewezen als milieubelastende activiteit. Het waterstofaggregaat valt onder de specifieke zorgplicht van het tijdelijke omgevingsplan, zolang de gemeente geen nieuw omgevingsplan heeft. Daarna kunnen er regels staan voor een waterstofaggregaat in het omgevingsplan.

Een opslag van waterstof in cilinders is wel een milieubelastende activiteit.[29] Hiervoor is een melding nodig. De eisen voor de opslag van waterstof in cilinders staan in het Bal. In het Bal staat bijvoorbeeld dat aan PGS 15 moet worden voldaan. Zie voor meer informatie § 3.2 van deze leidraad.

Voorbeeld bouwproject
Voor aanleg van de innovatiestrook A58 bij Oirschot is een waterstofaggregaat geplaatst om de uitstoot van stikstof en kooldioxide te verminderen. Het waterstofaggregaat functioneerde als stroomvoorziening voor het ketenpark, verlichting, beveiliging en auto laden. Het ging om een periode van maximaal 14 weken. Het waterstofaggregaat was gekoppeld aan een lithium-ion batterij. De voorraad waterstof bestond uit gasflessenbundels. Het ging om maximaal 64 gasflessen met een druk van maximaal 300 bar (4 bundels van elk 16 gasflessen met elk een waterinhoud van 50 liter). Voor gebruik van het waterstofaggregaat is een melding Activiteitenbesluit gedaan. Onder de Omgevingswet is een melding nodig voor het opslaan van waterstof in cilinders.



Figuur 5.1 Voorbeeld toepassing waterstofaggregaat bouwplaats, Oirschot. Bron: Bredenoord.

[29] Artikel 3.27 Besluit activiteiten leefomgeving

Veiligheid bij bouwen

In hoofdstuk 7 van het Besluit bouwwerken leefomgeving (Bbl) staan eisen voor de bouw- en sloopwerkzaamheden aan bouwwerken. De regels zien onder andere op het waarborgen van de veiligheid en het beschermen van de gezondheid in de directe omgeving van bouw- en sloopwerkzaamheden.[30]

Op grond van de specifieke zorgplicht in het Bbl moet degene die de bouwwerkzaamheden verricht onder andere alle maatregelen nemen om gevaar voor de omgeving te voorkomen of niet te laten voortduren. [31] Dit geldt altijd. Om de risico's voor de veiligheid in kaart te brengen, moet degene die de bouwwerkzaamheden verricht een risicomatrix maken. Een veiligheidscoördinator is verplicht als dit uit de risicomatrix blijkt. De zorg voor veiligheid van de omgeving is ingevuld in artikel 7.15 van het Bbl (zie kader). Zie voor meer informatie over de veiligheid bij bouwen de website van het Informatiepunt Leefomgeving. [32] Als nodig kan het bevoegd gezag invulling geven aan de zorgplicht door maatwerkvoorschriften te stellen.

Emissieloos bouwen

De uitvoerder van bouw- en sloopwerkzaamheden is verplicht om adequate maatregelen te nemen om die emissie van stikstof te beperken.[33] Het gaat alleen om de emissie als gevolg van de bouw- en sloopwerkzaamheden aan het bouwwerk en niet de eventuele emissie als gevolg van het gebruik van het gerealiseerde bouwwerk in de gebruiksfase. De verplichting geldt alleen voor werkzaamheden waarvoor een omgevingsvergunning of een bouwmelding nodig is.[34] Dat betekent dat de verplichting niet geldt voor werkzaamheden van beperkte omvang. Het inzetten van een waterstofaggregaat is een maatregel om de emissie te beperken.

5.2.2. Arbowet

Voor een bouwproject gelden ook arbo-regels (zie § 4.4). Bouwprojecten kunnen gezien worden als een tijdelijk bedrijf, waarop de Arbowet van toepassing is. Gezien de aard en de risico's van de werkzaamheden in de bouw, is een Risico-Inventarisatie en -Evaluatie (RI&E) vaak niet voldoende om veilig te bouwen. Afhankelijk van de omvang van de bouw en/of de aanwezigheid van specifieke risico's moet er een veiligheids- en gezondheidsplan komen. De risico's van een waterstofaggregaat zijn hier dan onderdeel van.

5.3. Evenementen

5.3.1. Omgevingswet

Een waterstofaggregaat is niet aangewezen als een milieubelastende activiteit. Een evenement ook niet. Het waterstofaggregaat valt onder de specifieke zorgplicht van het tijdelijke omgevingsplan, zolang de gemeente geen nieuw omgevingsplan heeft. Een opslag van waterstof in gasflessen is wel een aangewezen milieubelastende activiteit.[35] Hiervoor is een melding nodig. De eisen voor de opslag van waterstof in gasflessen staan in het Bal. In het Bal staat bijvoorbeeld dat aan PGS 15 moet worden voldaan. Zie voor meer informatie § 3.2 van deze leidraad.

De regels voor evenementen blijven deels onderdeel van de APV en worden deels onderdeel van het omgevingsplan. De eisen voor evenementen in een gemeentelijke verordening blijven gelden totdat

30 Artikel 7.2 Besluit bouwwerken leefomgeving
31 Artikel 7.4 Besluit bouwwerken leefomgeving
32 https://iplo.nl/regelgeving/regels-voor-activiteiten/technische-bouwactiviteit/rijksregels-bouwactiviteit/veiligheid-bouw-sloopactiviteit/
33 Artikel 7.19aa Besluit bouwwerken leefomgeving
34 Bouwactiviteiten waarvoor bouwmelding geldt, staan in artikel 2.17 Besluit bouwwerken leefomgeving
35 Artikel 3.27 Besluit activiteiten leefomgeving

de gemeente een nieuw omgevingsplan vaststelt. Eisen die vooral zien op de openbare orde komen niet in het omgevingsplan en blijven onderdeel van de APV.
De gemeente kan in het omgevingsplan locaties aanwijzen waar evenementen zijn toegestaan en moet dan regels opnemen om de kwaliteit van de fysieke leefomgeving te borgen. Hierbij zouden regels gesteld kunnen worden voor het gebruik van een waterstofaggregaat.

Voor grote evenementen is vaak ook een evenementenvergunning nodig. De regels staan in de Algemene Plaatselijke Verordening (APV) en verschillen per gemeente. Een evenementenvergunning regelt onder andere de veiligheid. Als er risico's zijn, wil de gemeente vaak een veiligheidsplan met een risicoanalyse ontvangen. Daarin moet staan hoe de organisator incidenten bestrijdt en hoe hij de locatie ontruimt bij calamiteiten. De risico's bij het gebruik van een waterstofaggregaat zijn hier onderdeel van. Vaak overlapt dit met de RI&E op grond van de Arbowet (zie § 5.3.2).



Figuur 5.2 Voorbeeld toepassing waterstofaggregaat Eurosonic, Groningen. Bron: Bredenoord.

5.3.2. Arbowet

Organisatoren van evenementen vallen ook onder de Arbowet. Medewerkers van inhuurpartijen op een evenement vallen onder de zorgplicht van de organisator. Dit geldt ook voor bezoekers van een evenement. In de Risico-Inventarisatie en -Evaluatie (RI&E) moet dan ook worden ingegaan op de risico's van een waterstofaggregaat voor zowel medewerkers als bezoekers.

6. Beperken van gevaren - Waterstof

Een waterstofaggregaat bevindt zich meestal in een container met daarin zowel het waterstofaggregaat waarmee stroom wordt gegenereerd als een batterijpakket waarin deze stroom wordt opgeslagen. Het waterstofaggregaat en het batterijpakket brengen bepaalde gevaren met zich mee. Dit hoofdstuk beschrijft de gevaren van een waterstofaggregaat. De gevaren van het batterijpakket staan in hoofdstuk 7.

6.1. Eigenschappen van waterstof

Waterstof is een gevaarlijke stof en het gebruik er van kent gevaren. Deze gevaren worden bepaald door de fysische eigenschappen van waterstof en door de omstandigheden waaronder waterstof vrij kan komen. Om hier gevoel voor te krijgen, wordt waterstof vaak vergeleken met methaan, het hoofdbestanddeel van aardgas. Enkele fysische eigenschappen van methaan en waterstof zijn daarom bij elkaar gezet in Tabel 6.1 en worden hieronder verder toegelicht [NIPV, 2020a].

Tabel 6.1 Fysische eigenschappen van methaan en waterstof. Bron: [NIPV, 2020a].

Eigenschap	Methaan	Waterstof
Dichtheid (kg/m3)	0,66	0,08
Ontvlambaarheidsgrenzen (vol.%)	5,3 - 15	4 - 75
Detonatiegrenzen	5,7 - 14	11 - 59
Stoichiometrische concentratie (vol.%)	9,5	29,6
Minimum ontstekingsenergie (mJ)	0,28	0,019
Brandsnelheid (m/s)	0,4	2,6 – 3,2

Belangrijke overeenkomsten tussen waterstof en methaan zijn:

- Waterstof en methaan zijn beide ontvlambare gassen.
- Waterstof en methaan zijn beide geurloos.
- Bij lage waterstofconcentraties (< 4-5 vol.%) is de ontstekingsenergie van waterstof vergelijkbaar met dat van methaan.
- Methaan en waterstof lekken relatief eenvoudig. Als waterstof lekt, lekt methaan ook [H21, 2021].
- Waterstof en methaan zijn beide lichter dan lucht. Waterstof heeft ten opzichte van methaan een groter stijgend vermogen.
- Waterstof en methaan kunnen zich ophopen in besloten ruimtes of onder plafonds. Bij waterstof gaat dit sneller dan bij methaan.

Belangrijke verschillen tussen waterstof en methaan zijn:

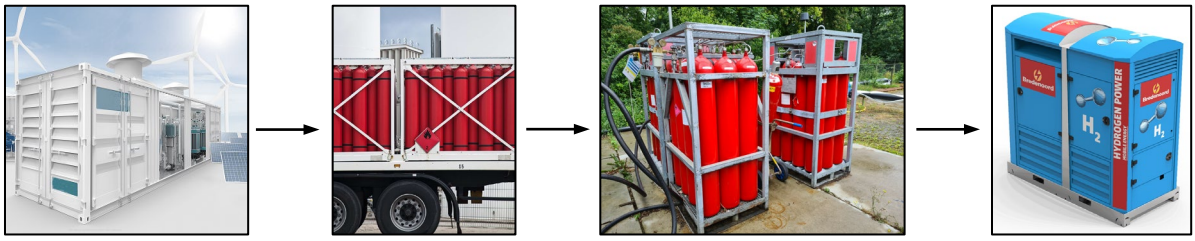
- Waterstof heeft ten opzichte van methaan een breed ontvlambaarheidsgebied.
- Bij hogere waterstofconcentraties (tot 29,6 vol.%) wordt de ontstekingsenergie van waterstof vele malen lager. Waterstof ontsteekt dan makkelijk, terwijl methaan bij concentraties boven 15 vol.% niet meer ontvlambaar is.
- Waterstofvlammen zijn niet of nauwelijks zichtbaar in tegenstelling tot methaanvlammen.
- Waterstofvlammen stralen weinig warmte uit in tegenstelling tot methaanvlammen. Waterstofvlammen zijn daarom heter dan methaanvlammen.
- Ontsteking van een waterstofwolk geeft bij concentraties hoger dan 10 vol.% een explosie (deflagratie).
- Waterstof kan waterstofverbrossing geven, dat wil zeggen: het brosser worden van metaal doordat waterstof het metaal binnendringt.

6.2. Gevaren in de waterstofketen

Voor de beschrijving van de gevaren van waterstof bij een waterstofaggregaat wordt de waterstofketen gevolgd: waar komt waterstof vandaan en waar gaat het naartoe? Een gebruikelijke indeling voor de waterstofketen is:

a) productie van waterstof;
b) transport van waterstof;
c) opslag van waterstof[36];
d) gebruik van waterstof.

In Figuur 6.1 is dit weergegeven voor de situatie waarbij waterstof met behulp van elektrolyse wordt gemaakt. Het geproduceerde waterstof wordt op druk gebracht en opgeslagen in waterstofcilinders. De waterstofcilinders staan in bundels en worden over de weg naar de plaats van bestemming vervoerd en daar opgeslagen. Voor gebruik wordt een bundel met waterstofcilinders aangesloten op een waterstofaggregaat.



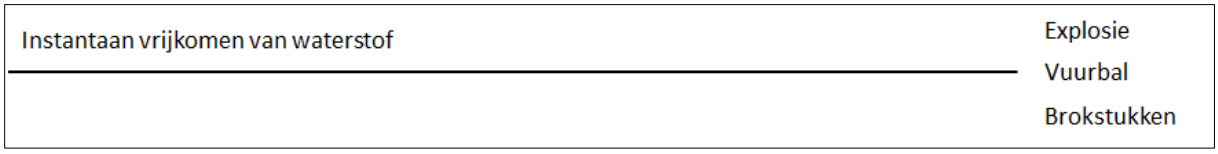
Figuur 6.1 Van links naar recht: a) productie van waterstof, b) transport van waterstof, c) opslag van waterstof en d) gebruik van waterstof. Bronnen: [Neahytron, Brown, NIPV en Bredenoord].

Er zijn veel manieren waarop gasvormig waterstof kan vrijkomen in de waterstofketen. PGS 35 (waterstoftankstations) geeft een uitgebreid overzicht van faaloorzaken die als realistisch en relevant worden beschouwd.[37] Veel van deze oorzaken zijn ook van toepassing op waterstofaggregaten. Belangrijke faaloorzaken zijn:

- aanstraling door externe brand;
- impact van buitenaf (aanrijden);
- fouten bij ontwerp, bouw en onderhoud.[38]

6.3. Effecten

De effecten die op kunnen treden als gasvormig waterstof vrijkomt uit een systeem, worden weergegeven in een gebeurtenissenboom. Voor waterstof dat onder druk staat, zijn er twee gebeurtenissenbomen, deze staan in Figuur 6.2 en in Figuur 6.3. Figuur 6.2 gaat over het exploderen van een waterstofcilinder, terwijl Figuur 6.3 gaat over het lekken van waterstof uit een onderdeel van het waterstofaggregaat of uit een waterstofcilinder.

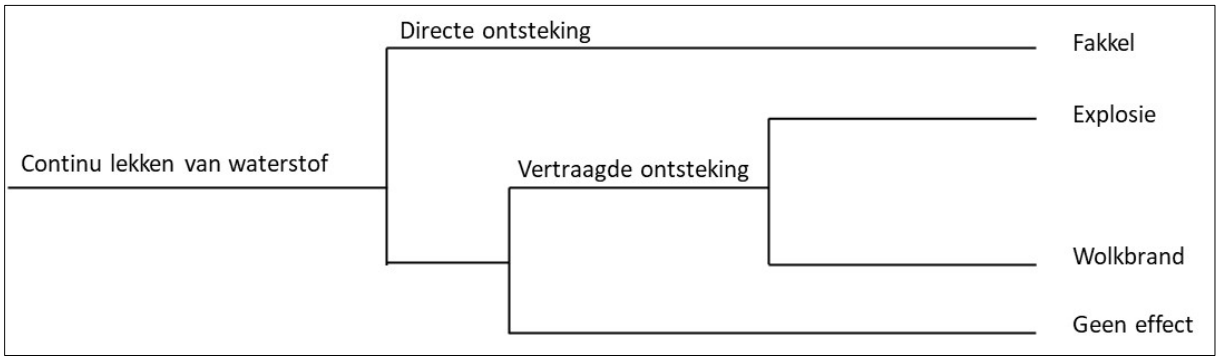


Figuur 6.2 Gebeurtenissenboom van de instantane uitstroming van gasvormig waterstof.

[36] Opslag van waterstof vindt ook plaats nabij de productielocatie in afwachting van transport naar andere oorden.

[37] https://publicatiereeksgevaarlijkestoffen.nl/publicaties/pgs35/

[38] Faaloorzaken als verbrossing, corrosie en vermoeiing vallen onder faaloorzaak 'Fouten bij ontwerp, bouw en onderhoud'.



Figuur 6.3 Gebeurtenissenboom van de continue uitstroming van gasvormig waterstof. Bron: [RIVM, 2021a].

De gebeurtenissenbomen moeten van links naar rechts gelezen worden en laten de volgende uitkomsten zien:

1. Explosie – Waterstof komt instantaan vrij door een explosie van de waterstofcilinder.
2. Vuurbal – Bij de explosie van de waterstofcilinder ontstaat een vuurbal.
3. Brokstukken – Bij de explosie van de waterstofcilinder worden brokstukken gevormd die weggeslingerd worden.
4. Fakkel - Waterstof stroomt continu uit de waterstofcilinder of uit een leiding en doordat het direct wordt ontstoken, ontstaat een fakkel.
5. Explosie - Waterstof stroomt continu uit de waterstofcilinder of uit een leiding en hoopt zich op in een besloten omgeving. De waterstofwolk wordt na verloop van tijd ontstoken ('vertraagde ontsteking') en door de beslotenheid van de omgeving ontstaat een explosie.
6. Wolkbrand - Waterstof stroomt vanuit de waterstofcilinder of vanuit een leiding continu in de open lucht. De waterstofwolk wordt vertraagd ontstoken en door de openheid van de omgeving ontstaat geen explosie maar een wolkbrand.
7. Geen effect – De vrijgekomen waterstof ontsteekt niet.

Het gevaar van een vuurbal, fakkelbrand en een wolkbrand is warmtestraling en de kans op secundaire branden. Het gevaar van een explosie is de drukgolf die ontstaat, omdat de overdruk hiervan mensen kan verwonden en gebouwen kan beschadigen. De grootste effecten in de waterstofketen zijn te verwachten bij de onderdelen waar waterstof onder hoge druk aanwezig is en bij de onderdelen waar ophoping van waterstof mogelijk is. De waterstofcilinders zijn de onderdelen met de meeste waterstof onder de hoogste druk. Ophoping van waterstof is mogelijk in de container waar het waterstofaggregaat staat.

Waterstofcilinders

Er kan iets misgaan met de waterstofcilinders tijdens het transport van en naar de plek van bestemming, tijdens het aan- en afkoppelen van de bundels of gedurende de tijd dat de waterstofcilinders aanwezig zijn op locatie, al dan niet aangesloten op het waterstofaggregaat. De waterstofcilinders in een bundel zijn aan elkaar gekoppeld, dat wil zeggen dat de gehele inhoud van alle waterstofcilinders vrijkomt als er een lek is in een leiding of in een waterstofcilinder. Bij het bepalen van de effecten moet hier rekening mee worden gehouden.

Een bundel bestaat uit 16 waterstofcilinders. De druk in de waterstofcilinders is 300 bar en de (water)inhoud van iedere cilinder is 50 liter. In totaal bevat een bundel 800 liter waterstof (17 kilo). In tabel 6.2 zijn de effectafstanden gegeven van het falen van één waterstofcilinder in de bundel. Details van de berekeningen staan in bijlage 4.

Tabel 6.2 Effectafstanden voor waterstofcilinders.

Effect	Effectafstand
Explosie	0,3 bar (100% letaliteit door instorten van gebouwen): 8 m 0,1 bar (1% letaliteit door glasscherven): 15 m 0,03 bar (glasbreuk) 37 m
Vuurbal	Diameter is 6 m (100% letaliteit bij 35 kW/m^2)
Brokstukken	Tot 80 m
Fakkel	Lengte is 10 m 35 kW/m^2 op 14 m 10 kW/m^2 op 16 m 3 kW/m^2 op 19 m
Wolkbrand	Effecten zijn afhankelijk van de verspreiding van waterstofgas in de omgeving. De wolkbrand duurt kort en binnen de wolkbrand is direct vlamcontact mogelijk en kunnen mensen (dodelijk) gewond raken. Binnen in een gebouw of buiten de straal van de vuurbal zijn geen effecten te verwachten.

Domino-effecten naar nabijgelegen cilinderpakketten zijn niet te verwachten. Een fakkel bij een cilinderpakket duurt minder dan 4 minuten en dat is te kort om een andere cilinderpakket op te warmen tot het punt dat deze zal falen. Wel kunnen secundaire branden ontstaan bij nabijgelegen bouwwerken. Ook het exploderen van een waterstofcilinder zal niet leiden tot het exploderen van andere cilinders in hetzelfde pakket of in een nabijgelegen cilinderpakket, omdat de effecten beperkt zijn.[39]

Ophoping

In het waterstofaggregaat wordt de waterstofdruk in twee stappen gereduceerd van 300 via 5 bar naar 0,5 bar. Waterstof dat in het waterstofaggregaat vrijkomt, kan zich ophopen in de container waar het aggregaat staat. Als de waterstofconcentratie hoog genoeg is (> 10 vol.%) en de opgehoopte waterstof ontsteekt, zal een explosie ontstaan. Hoe hoger de waterstofconcentratie, hoe hoger de overdruk van de explosie.

Met het softwarepakket HyRAM kan de overdruk van een explosie in een binnenruimte berekend worden. Voor deze Leidraad zijn enkele *verkennende* berekeningen gedaan aan uitstromingen in een container (20 ft). De resultaten staan in Tabel 6.3. Details van de berekeningen staan in bijlage 4.

Tabel 6.3 Resultaten van verkennende berekeningen aan explosie van vrijgekomen waterstofgas in een 20 ft. container

Druk (bar)	Overdruk bij ontsteking na 30 seconden
0,5	Geen
5	1 mm gat: geen 10 mm gat: 9 bar
300	0,1 mm: geen 0,5 mm: 1,5 bar 1 mm: 4 bar

[39] https://www.rivm.nl/sites/default/files/2018-11/Modellering%20gasflessen%20volgens%20Handleiding%201-4.pdf

6.4. Kansen

Een waterstofcilinder kan op verschillende manieren falen. De kansen hierop staan in Tabel 6.4. Details over de kansen staan in bijlage 4.

Tabel 6.4 Faalkansen van één waterstofcilinder.

	Instantaan falen	Groot lek	Klein lek
Inhoud < 150 L	5 x 10^{-7} per jaar	-	5 x 10^{-7} per jaar
Inhoud ≥ 150 L	5 x 10^{-7} per jaar	5 x 10^{-7} per jaar	1 x 10^{-5} per jaar

6.5. Risicobeheersing en maatregelen

Over het algemeen zijn er twee soorten maatregelen:

a) Kansbeperkende maatregelen: deze maatregelen voorkomen of verkleinen de mogelijkheid dat waterstof vrijkomt. Tabel 6.5 geeft mogelijke bronmaatregelen voor de transport, opslag en gebruik van waterstofcilinders en waterstofaggregaat.
b) Effectbeperkende maatregelen: deze verkleinen de omvang van het incident of beperken de omvang van de schade.

Per situatie moet bepaald worden welke maatregelen nodig zijn en op welke wijze dit geborgd kan worden. Dit kan bijvoorbeeld door het uitvoeren van een risicoanalyse waarbij de veiligheidsregio om advies gevraagd kan worden.

Bij het opstellen van deze leidraad is ervan uitgegaan dat waterstof in de open lucht wordt opgeslagen en aangekoppeld. Voor toekomstige toepassingen wordt inmiddels gekeken naar mogelijkheden voor opslag van grotere hoeveelheden waterstof in besloten ruimten zoals containers. Voor meer informatie over mogelijke maatregelen bij gebruik en opslag van ingesloten waterstof wordt verwezen naar een presentatie die in het kader van het HyResponse-programma is gegeven.[40]

6.5.1. Kansbeperkende maatregelen

In Tabel 6.5 staan voorbeelden van kansbeperkende maatregelen. Per situatie moet nagegaan worden welke kansbeperkende maatregelen nodig of gewenst zijn en of er nog andere maatregelen mogelijk zijn.

Tabel 6.5 Kansbeperkende maatregelen voor waterstofcilinders en waterstofaggregaat.

Faaloorzaak	Transport	Opslag	Gebruik
Aanstraling van buitenaf	Afstand houden	Afstand houden	Afstand houden
Impact	Snelheid begrenzen	Snelheid begrenzen Aanrijdbeveiliging Terrein bewaken	Snelheid begrenzen Aanrijdbeveiliging Terrein bewaken
Fouten bij ontwerp	Veilig ontwerp (normen noemen)	Veilig ontwerp (normen noemen)	Veilig ontwerp (normen noemen)
Fouten bij bouw	Deskundige chauffeur	Deskundige chauffeur	Deskundige installateur
Fouten bij onderhoud	Deskundig personeel	Deskundig personeel	Deskundig personeel

[40] HyResponse (2016). *Strategies and Intervention tactics - FC stationary installations*. De website van het HyResponse-programma is inmiddels offline, maar het document kan opgevraagd worden bij het NIPV.

Afstand houden
De beschrijving van deze maatregel staat beschreven in paragraaf 6.5.2 vanwege de samenhang met effectbeperkende maatregelen.

Snelheid begrenzen
Om te voorkomen dat een waterstofaggregaat, cilinderpakket of leidingen beschadigd raken, is het verstandig om op locatie de snelheid te begrenzen.

Aanrijdbeveiliging
Om te voorkomen dat een waterstofaggregaat, cilinderpakket of leidingen beschadigd kunnen raken, kan het noodzakelijk zijn om een aanrijdbeveiliging te realiseren. Of dit nodig is, is afhankelijk van de locatie en de activiteiten die er plaatsvinden. Bij plaatsing op een bouwplaats, is het belangrijk om het buiten de reikwijdte van (mobiele) kranen en andere hijswerktuigen te plaatsen.

Terrein bewaken
Voorkomen moet worden dat onbevoegden bij de waterstofaggregaat en de cilinderpakketten kunnen komen. Dit is zeker bij evenementen een aandachtspunt en kan bijvoorbeeld gerealiseerd worden door een hekwerk of door het terrein te bewaken.

Veilig ontwerp
Een waterstofaggregaat moet ontworpen zijn volgens de daarvoor geldende normen en richtlijnen (zie § 4.1).

Deskundig personeel
Het gebruik en onderhoud van een waterstofaggregaat moet gebeuren door personen die zijn geïnstrueerd over de gevaren en de werking van het waterstofaggregaat. Deze personen moeten deskundig zijn voor het in gebruik hebben van een waterstofaggregaat, maar ook wat ze moeten doen bij een lekkage, brand of ander incident.

6.5.2. Effectbeperkende maatregelen

In Tabel 6.6 staan voorbeelden van effectbeperkende maatregelen. Per situatie moet nagegaan worden welke effectbeperkende maatregelen nodig of gewenst zijn.

Tabel 6.6 Effectbeperkende maatregelen voor waterstofcilinders en waterstofaggregaat.

Doel	Transport	Opslag	Gebruik
Ophoping waterstof voorkomen		Ontwerp Open lucht Ventilatie	Ontwerp Open lucht Ventilatie
Ontsteking voorkomen		ATEX-zonering	ATEX-zonering
Schade voorkomen of beperken	Afstand houden Detectie en alarmering Routering	Afstand houden Detectie en alarmering Terreinindeling	Afstand houden Detectie en alarmering Terreinindeling

Ontwerp
Bij het ontwerp van een waterstofaggregaat moet rekening gehouden worden met ophoping van waterstof in besloten ruimtes. Voorbeelden van die ruimtes zijn behuizingen van de diverse componenten van een waterstofaggregaat en de container als een waterstofaggregaat daarin staat opgesteld.

Open lucht en ventilatie

Ophoping van waterstof kan grotendeels voorkomen worden als een waterstofaggregaat in de buitenlucht wordt opgesteld. Als een waterstofaggregaat zich in een container bevindt, is het bij lekkage van waterstof van belang de waterstofconcentratie zo laag mogelijk te houden. Dit kan door het vrijgekomen waterstofgas door natuurlijke of mechanische ventilatie te verspreiden en te verdunnen.

ATEX-zonering

Voorkomen moet worden dat een waterstofwolk kan ontsteken. Dit kan door het gebied rondom een waterstofaggregaat aan te wijzen als ATEX-zone. Hoe groot die zone is, moet per situatie worden bepaald.

De omvang van een ATEX-zone wordt o.a. bepaald door de omvang van de ontvlambare gaswolk die vrij kan komen. Ontsteking van deze wolk kan leiden tot overdrukeffecten die groter zijn dan de omvang van de ATEX-zone. Een aan te houden afstand voor een ATEX-zone moet dan ook niet verward worden met een aan te houden effectafstand voor overdruk of een ander ongewenst effect.

Afstand houden

Voor een opslagvoorziening van gasflessen staan er afstanden in het Bal. Dit zijn risicoafstanden op basis van het plaatsgebonden risico van 10^{-6} per jaar. In het Bal wordt ook verwezen naar PGS 15. In PGS 15 staan effectafstanden in tabel 6. Deze afstanden gelden niet voor open aangesloten gasflessen omdat deze gasflessen niet worden gezien als opslagvoorziening. Deze afstanden kunnen hier wel voor gebruikt worden (zorgplicht). Mocht PGS 15 niet van toepassing zijn, dan geldt nog altijd NPR 8090 die aangeeft dat de minimale afstand tussen een waterstofaggregaat en de waterstofopslag 1 meter moet zijn.[41]
Bovengenoemde afstanden zijn minimumafstanden die schematisch weergegeven zijn in Figuur 6.4 op de volgende bladzijde. Met maatwerk kan het bevoegd gezag een grotere afstand vaststellen als hier specifieke redenen voor zijn.

Detectie en alarmering

Als waterstof onverhoopt vrijkomt, moet dit zo snel mogelijk worden waargenomen. Dit kan door waterstofdetectoren of andere detectiemiddelen te gebruiken. Door de detectie te koppelen aan alarmeringsystemen, kan de toevoer van waterstof handmatig of automatisch worden stopgezet.

Routering

De aanvoer van waterstof gebeurt via wegtransport. Het heeft de voorkeur om dit transport zo weinig als mogelijk te laten plaats vinden door en langs gebieden waar veel mensen wonen en/of werken.

Terreinindeling

Bij het plaatsen van een waterstofaggregaat met cilinderpakket moet rekening worden gehouden met verschillende aspecten die van belang zijn voor de keuze van de plek, onder andere:

- De ligging van gevoelige objecten en locaties binnen en buiten de begrenzing van de activiteit waar het waterstofaggregaat wordt gebruikt.
- De bereikbaarheid en bestrijdbaarheid voor hulpdiensten.[42]
- Voldoende ruimte voor het wisselen van cilinderpakketten.
- Ontoegankelijkheid voor onbevoegden.

[41] NPR 8090:2013 (Waterstofbrandstofcelaggregaten). In paragraaf 3.3 is aangegeven dat gascilinders die aangesloten zijn op het waterstofaggregaat, niet worden gezien als opslag.

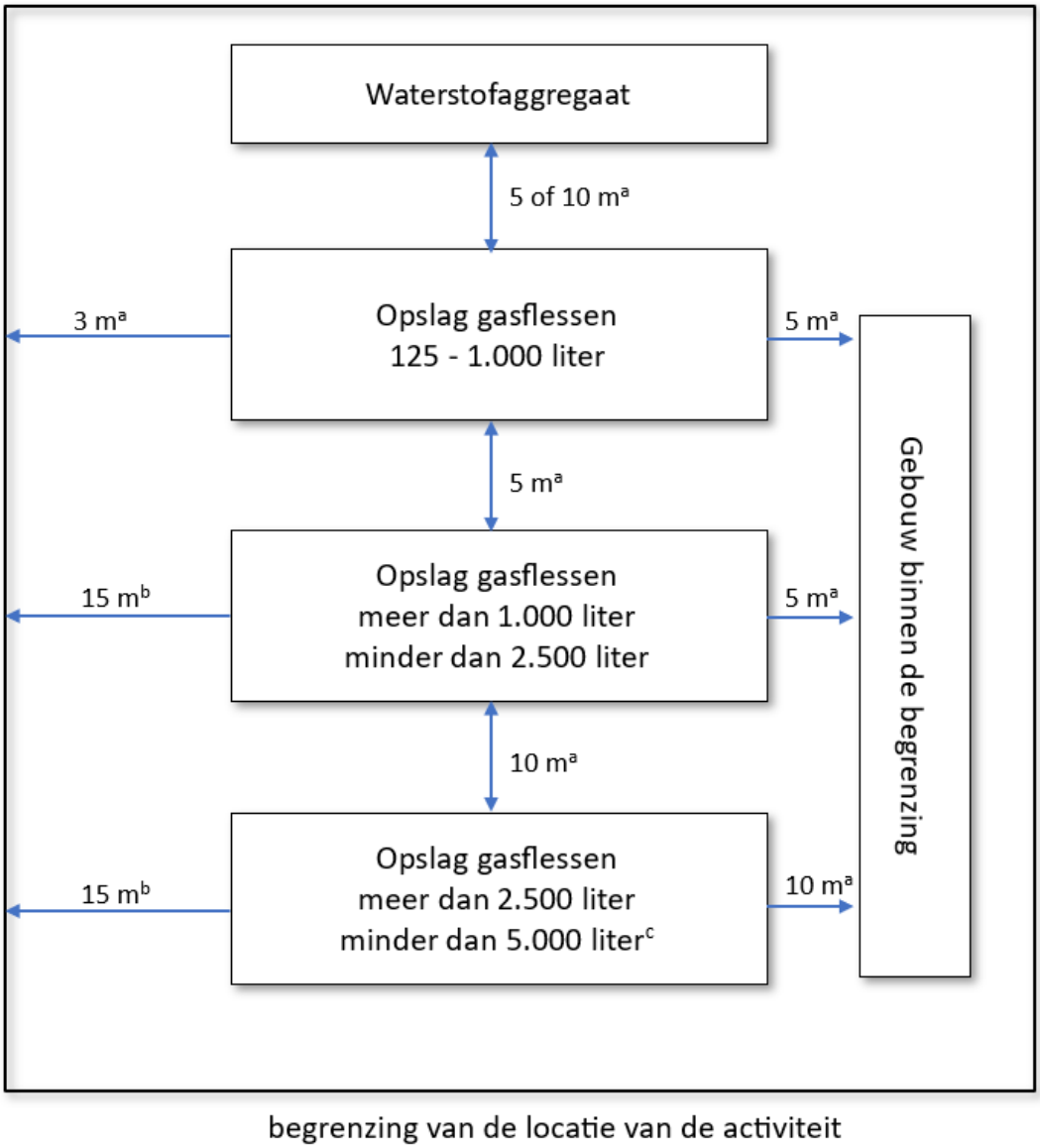
[42] Hiervoor kan gebruik gemaakt worden van de Handreiking Bluswatervoorziening en Bereikbaarheid 2019.

- Geschikte onbrandbare ondergrond voor een stabiele opstelling.[43]

Afhankelijk van de duur van de activiteit kan rekening worden gehouden met de windrichting. In Nederland is zuidwest de overheersende windrichting.

Werkvoorraad

Het beperken van de hoeveelheid waterstof op een locatie is een manier om effecten te beperken, omdat 'wat er niet is, ook niet vrij kan komen'.



Figuur 6.4 Afstanden voor opslag gasflessen op basis Bal en PGS 15

[a] *Deze afstand is gebaseerd op tabel 6 van PGS 15 en kan met een brandwerende voorziening kleiner zijn. Het waterstofaggregaat is beschouwd als een brandbaar object. Als er twee opslagen zijn, zijn dit beiden brandbare objecten.*

[b] *Deze afstand staat in artikel 4.1008 Bal. De afstand kan met een brandwerende voorziening worden verkort naar 7,5 m (zie artikel 4.1011 lid 2 Bal). In de volgende gevallen geldt deze afstand tot (zeer) kwetsbare gebouwen of kwetsbare locaties in plaats van tot de begrenzing van de locatie van de activiteit:*

- *Het aggregaat staat niet bij een aangewezen milieubelastende activiteit als beschreven in § 3.3 tot en met § 3.11 Bal.*

[43] Bouwend Nederland is bezig richtlijnen op te stellen voor de inrichting van emissieloze bouwplaatsen. Hierbij wordt bij specifiek aandacht besteed aan veiligheid (o.a. locatie voor opslag en transport van waterstofbundels). Het document moet in het eerste kwartaal van 2024 gereed zijn.

- *Het aggregaat staat bij een aangewezen milieubelastende activiteit en er wordt voldaan aan een voorwaarde in artikel 4.1008 lid 3 Bal.*

[c] *Voor een opslag van meer dan 10.000 kg gasflessen is een omgevingsvergunning milieubelastende activiteit nodig. De afstanden staan in tabel B.3 van bijlage VII van het Bkl. Voor waterstof is bij een opslag van meer dan 5 ton sprake van een Seveso-inrichting.*

6.6. Incidentbeschrijving en maatregelen

Elk incident met waterstofcilinders moet beschouwd worden als een ongeval met een gevaarlijke stof. De initiatiefnemer moet een calamiteitenplan en -organisatie hebben voor het optreden bij incidenten. Bij het incident met waterstof zal nauwe samenwerking nodig zijn tussen initiatiefnemer en brandweer en eventueel andere hulpdiensten.

Door de brandweer zijn aandachtskaarten opgesteld met maatregelen en aandachtspunten bij incidenten met waterstof. Zie bijvoorbeeld:

- aandachtskaart waterstof algemeen[44]
- aandachtskaart waterstof wegtransport[45]

De veiligheidsregio's hebben adviseurs gevaarlijke stoffen in dienst die getraind en opgeleid zijn om bij een repressieve inzet de hulpverleners advies te geven. Een belangrijk hulpmiddel daarbij is het operationeel naslagwerk van Brandweer Nederland over incidentbestrijding gevaarlijke stoffen (IBGS). Dit document is niet online beschikbaar, maar alle brandweerkorpsen beschikken erover.

44 https://nipv.nl/wp-content/uploads/2022/03/20190628-BRWNL-Aandachtskaart-H2-Algemene-procedure.pdf

45 https://nipv.nl/wp-content/uploads/2022/03/20190628-BRWNL-Aandachtskaart-H2-Wegtransport.pdf

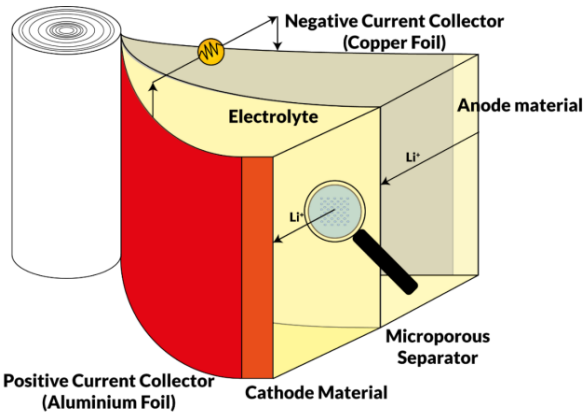
7. Beperken van gevaren – Batterij

7.1. Inleiding

De stroom die door een waterstofaggregaat wordt gegenereerd, hoeft niet rechtstreeks geleverd te worden, maar kan tussentijds worden opgeslagen in een batterijpakket met lithium ion batterijen (Li-ion). De aanwezigheid van dit type batterij brengt bepaalde gevaren met zich mee die in dit hoofdstuk beschreven worden. Meer informatie over dit onderwerp is te vinden in PGS 37-1 (Lithium-houdende energiedragers: Energie Opslag Systemen – EOS).[46]

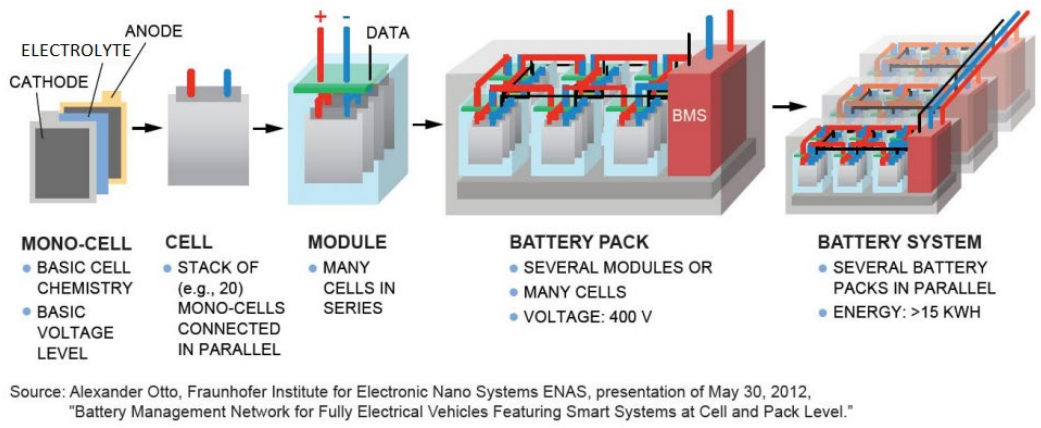
7.2. Beschrijving van Li-ion batterijsystemen

De basiseenheid van een Li-ion batterij wordt gevormd door de batterijcel. Batterijcellen bestaan in drie verschillende vormen: cilindrische, pouch en prismatische cellen. Figuur 7.1 geeft de structuur weer van een cilindrische batterijcel [RISE, 2019]. Elke cel bestaat uit twee elektroden, de anode en de kathode. Tussen de elektroden zit een ionengeleidend elektrolyt dat vaak uit ontvlambaar materiaal bestaat. Dit is een mengsel van lithiumzouten, opgelost in organische oplosmiddelen met verschillende additieven. Een separator zorgt voor de elektrische scheiding van de elektroden maar laat ionenuitwisseling tussen de elektrodes toe. Figuur 7.1 laat de situatie zien waarbij de batterij wordt opgeladen.



Figuur 7.1 Li-ion batterij celstructuur. Bron: [RISE, 2019].

Door meerdere batterijcellen samen te voegen, wordt een batterijmodule opgebouwd. Meerdere batterijmodules worden samengevoegd tot een batterijpakket, waarmee weer een heel batterijsysteem kan worden opgebouwd (Figuur 7.2). De batterijpakketten zijn aangesloten op een Battery Management System (BMS). Het BMS is verantwoordelijk voor het binnen operationele grenzen werken van de batterij en is dus een belangrijk middel in het veilig gebruiken van de batterij.



Figuur 7.2 Opbouw van lithium-ion energieopslagsysteem.

46 https://publicatiereeksgevaarlijkestoffen.nl/publicaties/pgs37-1/

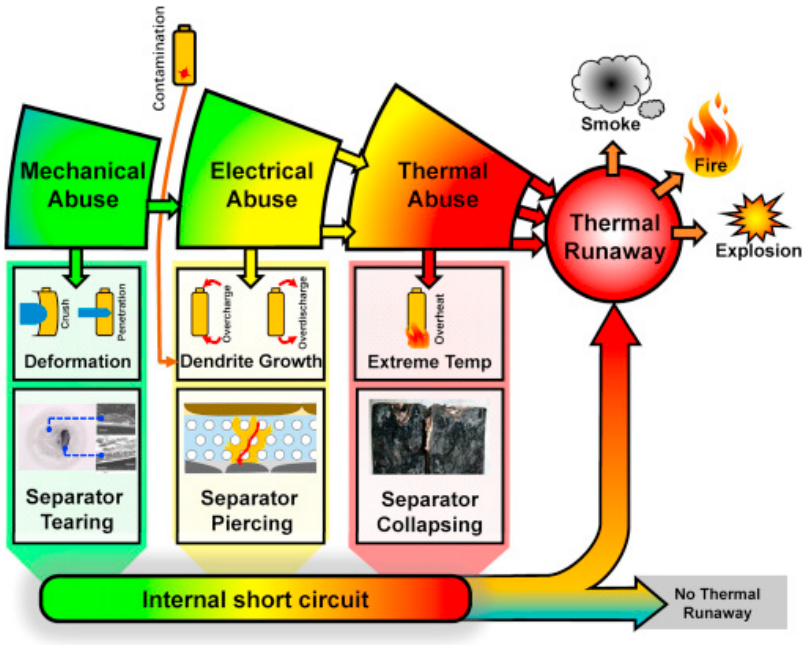
7.3. Gevaren van een Li-ion batterijsysteem

Bij incidenten met batterijpakketten staan ontleding van het elektrolyt en/of het ontstaan van een defect in de separator van een batterijcel centraal. Via het Battery Management Systeem (BMS) wordt de toestand van batterijsystemen actief bewaakt. Relevante gegevens van het batterijpakket worden gemonitord en processen, zoals laadsnelheid, gecontroleerd en aangestuurd, zodat het batterijsysteem stabiel blijft.

Ontleding van het elektrolyt

Ontleding van het elektrolyt is een gevolg van oververhitting. Oververhitting van een batterij(cel) kan leiden tot een zogenaamde 'thermal runaway'. Een thermal runaway ontstaat als bij een exotherme reactie[47] de geproduceerde warmte niet voldoende kan worden afgevoerd naar de omgeving en zich intern ophoopt. Hierdoor loopt de temperatuur op en neemt de reactiesnelheid exponentieel toe. Er wordt ook gas gevormd en dit leidt tot drukopbouw in de batterijcellen. Hierdoor kunnen deze open breken waarbij de gevormde gassen vrijkomen [Wang et al. 2019]. In het slechtste geval worden batterijcellen gelanceerd. Het openbreken van batterijcellen maakt een ploffend geluid en het vrijkomen van de gassen een sissend geluid. De samenstelling van het gas is afhankelijk van het type elektrolyt, maar in het algemeen bevat het ontvlambare en vaak ook toxische componenten. Deze gassen kunnen explosief ontbranden. De vlammen en vonken die hierbij ontstaan, kunnen brand veroorzaken in de omgeving en de gegenereerde warmte kan andere - niet ontbrande - batterijcellen verhitten en doen ontsteken.

Oververhitting van de cel kan een gevolg zijn van te zware belasting (bijvoorbeeld te snel laden), of problemen met elektrische verbindingen tussen batterijmodules of -pakketten. Ook externe hittebronnen kunnen dit veroorzaken [Brandweer Nederland, 2020]. De verschillende oorzaken van een thermal runaway zijn samengevat in Figuur 7.3.



Figuur 7.3 Mogelijke oorzaken van een thermal runaway. Bron: [Feng et al., 2017].

Defect in de separator

[47] Dit is een reactie waarbij warmte ontstaat.

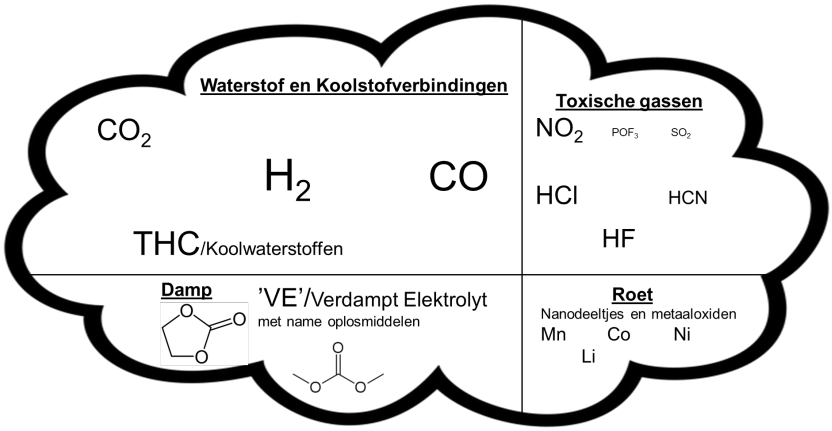
De separator kan beschadigd raken als zich metallische structuren vormen die kortsluiting veroorzaken. Ook deze processen leiden tot oververhitting van de batterijcellen met gevolgen als hiervoor omschreven. Het beschadigd raken van de separator kan veroorzaakt worden door overladen, door diep ontladen of door veroudering. Ook materiaal- of constructiefouten kunnen tot defecten in de separator leiden evenals fysieke beschadigingen als gevolg van bijvoorbeeld ruw gebruik van batterijen of van batterijsystemen.

7.4. Effecten

Zoals in voorgaande paragraaf aangegeven, leiden incidenten met batterijpakketten tot:

- vrijkomen van toxische en ontvlambare gassen;
- brand in het batterijpakket en branduitbreiding naar naburige pakketten/omgeving;
- lancering van batterijcellen.

De reikwijdte van de effecten is afhankelijk van de grootte van het batterijpakket, van de ladingstoestand, van de (fysieke) opbouw van het batterijsysteem en van de wijze waarop het incident zich ontwikkelt. Er bestaat een grote mate van onzekerheid over de hoeveelheden en de samenstelling van het gevormde gas, aangezien er weinig experimentele gegevens zijn. De gerapporteerde hoeveelheden totaal gevormd gas variëren van 300 tot ca. 6.000 liter/kWh [Christensen, 2022]. Gassen en dampen die vrij kunnen komen, staan in Figuur 7.4.



Figuur 7.4 Toxisch en ontvlambaar gasmengsel bij een thermal runaway van een Li-ion batterij.

Batterijbrand

In de meeste gevallen vindt een directe ontsteking van de vrijkomende ontvlambare gassen plaats en dit leidt tot een batterijbrand. Tijdens een batterijbrand vinden met tussenpozen fakkels en explosies plaats door het opeenvolgend openbreken of exploderen van individuele batterijcellen.
Doordat hitte zich tijdens de brand verder over batterijcellen verspreidt (thermische propagatie), raken telkens nieuwe batterijcellen en daaropvolgend batterijmodules in thermal runaway. Zo kan binnen enkele minuten een beginnende brand van één of enkele cellen zich gestaag uitbreiden.

Vrijkomen van ontvlambare en toxische gassen

Er zijn weinig gegevens over de samenstelling van de gassen die vrijkomen bij een thermal runaway. Om een toch een (globale) indicatie te krijgen van de mogelijke gevolgen van het vrijkomen van deze gassen, zijn enkele berekeningen uitgevoerd. Hierbij zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- Bij brand wordt per kWh 470 liter ontvlambaar gas gevormd.[48]
- Voor toxisch gas wordt per kWh 55 liter toxisch fluorwaterstof (HF) gevormd 5.1, 2, e 2017].

[48] Berekend op basis van Figuur 6 (LCO/NMC) in 5.1, 2, e 2014].

Dampwolkexplosie of wolkbrand

Soms kan het voorkomen dat de vrijkomende gassen niet direct ontstoken worden tijdens een thermal runaway. Bij vertraagde ontsteking kan dan een dampwolkexplosie plaatsvinden. Dit is vooral gevaarlijk in situaties waarbij gas zich kan ophopen en de gasconcentratie niet tijdig kan worden verlaagd tot beneden de explosiegrens. Bij een batterijpakket van 100 kWh kan bijvoorbeeld een gaswolk ontstaan van zo'n 1.000 m^3 met een concentratie van 4 à 5 vol.%, dit is de concentratie waarbij een ontvlambaar gas als waterstof ontsteekt.

Blootstelling aan toxische gassen

Bij een incident met een 100 kWh batterijpakket kan 5,5 m^3 HF worden gevormd. De LBW_{30}[49] bedraagt 6×10^{-3} vol.%. Als HF zich naar de omgeving verspreidt, kan - theoretisch gezien - de LBW_{30} worden overschreden binnen een volume van ca. 1 miljoen m^3. Uit onderzoek van RIVM blijkt echter dat na 10 tot 20 minuten meer dan de helft van de fluorwaterstof uit de rook is verdwenen, doordat het zich bindt aan andere stoffen en rookdeeltjes [RIVM, 2021b].

7.5. Risicobeheersing en maatregelen

Kenmerk van een thermal runaway is dat de reactie zich binnen in het batterijpakket uitbreidt van batterijcel naar batterijcel en van module naar module. Daarom kan het lijken alsof een batterijbrand geblust is, terwijl binnenin de hitte- en gasgenererende reacties doorgaan. Na enige tijd kan de brand dan weer oplaaien. Dit betekent dat gedurende lange tijd bluswater aanwezig moet zijn om een batterijbrand volledig onder controle te krijgen. Bovendien zijn relatief grote hoeveelheden water noodzakelijk omdat de batterijen goed zijn afgeschermd tegen (regen)water en beschadiging, waardoor koeling vrij inefficiënt is. Afhankelijk van de grootte van een systeem kan van een dompelcontainer gebruik worden gemaakt om de thermal runaway onder controle te brengen.

Batterijsystemen met veel vermogen worden ook wel energieopslagsystemen (EOS) genoemd. PGS 37-1 beschrijft in meer detail de gevaren en de maatregelen voor EOS'en met een vermogen van meer dan 20 kWh [PGS, 2023].[50] Een goed werkend BMS is de belangrijkste preventieve maatregel om een thermal runaway te voorkomen. Het BMS kan het batterijsysteem uitschakelen bij overschrijding van bijvoorbeeld drempelwaarden voor voltage en temperatuur. Het BMS kan ook zorgen voor alarmering van de omgeving. Uiteraard is het belangrijk de apparatuur te betrekken van erkende fabrikanten die van gecertificeerde onderdelen gebruik maken. Verder moeten Li-ion batterijsystemen binnen de specificaties worden gebruikt en moeten ze vrij te zijn van (interne) beschadigingen. Door de systemen buiten op te stellen en op enige afstand van kwetsbare (brandbare) objecten, kunnen de effecten worden beperkt.
PGS 37-1 geeft aan dat een brandwerende scheiding nodig is tussen inpandige EOS'en om brandoverslag te voorkomen. Deze maatregel kan ook worden toegepast bij een container waar een waterstofaggregaat naast een EOS staat.

Een EOS vergroot de kans op een incident, maar vergroot niet de effecten van een incident met een waterstofaggregaat.

Om brand en thermal runaway van batterijsystemen te voorkomen, zijn bouwkundige, installatietechnische en organisatorische maatregelen mogelijk. Maatregelen kunnen bijvoorbeeld betrekking hebben op het volgen van normen, op brandwerendheid of op de indeling van de container waar het

[49] LBW is de concentratie van een toxische stof waarbij na 30 minuten inademen een levensbedreigende situatie kan ontstaan, ook wel LBW_{30} genoemd (zie "Interventiewaarden voor de incidentbestrijding").

[50] Voor maatregelen bij EOS'en met een vermogen van minder dan 20 kWh wordt verwezen naar [NIPV, 2021].

batterijsysteem zich bevindt. Informatie over de bestrijding van brand en thermal runaway is te vinden in de [Handreiking Elektriciteit Opslag Systemen (EOS > 20 kWh Li-ion), 2020].

8. Literatuur

- Brandweer Nederland (2020). Handreiking Elektriciteit Opslag Systemen (EOS > 20 kWh Li-Ion).
- 5.1, 2, e (2022). Bijdrage door professor 5.1, 2, e Newcastle University op het EU Energy Storage Systems Safety Conference, georganiseerd door NIPV, aangevuld met telefonisch contact.
- 5.1, 2, e et al. 2014. Thermal-runaway experiments on consumer Li-ion batteries with metal-oxide and olivin-type cathodes. RSC Advances, issue 7.
- H21 (2021). H21 Phase 1 Technical Summary Report
- 5.1, 2, e 2017. Toxic fluoride gas emissions from lithium-ion battery fires. Sci Rep 7, 10018 .
- Nederlands Instituut Publieke Veiligheid (NIPV, 2018). Scenarioboek Externe Veiligheid - Cilinderpakket waterstof – Fakkelbrand.
- Nederlands Instituut Publieke Veiligheid (NIPV, 2020a). Veiligheidsaspecten van waterstof in een besloten ruimte.
- Nederlands Instituut Publieke Veiligheid (NIPV, 2020b). Scenarioboek Externe Veiligheid - Cilinderpakket Waterstof – Explosie.
- Nederlands Instituut Publieke Veiligheid (NIPV, 2021). Veiligheidsprincipes kleinschalige EOS'en (<20 kWh).
- Publicatiereeks Gevaarlijke Stoffen (PGS, 2021). PGS 35 - Waterstofinstallaties voor het afleveren van waterstof aan voertuigen en werktuigen.
- Publicatiereeks Gevaarlijke Stoffen (PGS, 2023). PGS 37-1 - Lithiumhoudende energiedragers: energieopslagsystemen (EOS).
- Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM, 2021a). Handleiding Risicoberekeningen Bevi.
- Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM, 2021b). Risico's van rook door branden van Li-ionbatterijen.
- Research Institute of Sweden (RISE, 2019). Fire Safety of Lithium-Ion Batteries in Road Vehicles. RISE Report 2019:50.
- Veiligheidsregio Haaglanden, Veiligheidsregio Rotterdam-Rijnmond en LIOGS (2020). Handreiking Elektriciteit Opslag Systemen (EOS > 20 kWh Li-ion).
- 5.1, 2, e . A review of lithium ion battery failure mechanisms and fire prevention strategies. Progress in Energy and Combustion Science, Volume 73, July 2019, Pages 95-131.
- 5.1, 2, e Blast Waves and Fireballs Generated by Hydrogen Fuel Tank Rupture During Fire Exposure

Bijlage 1. Regelgeving milieu tot 1 januari 2024

Milieu: begrip inrichting

Milieuregels gelden voor activiteiten die een inrichting zijn. Een waterstofaggregaat kan onderdeel zijn een inrichting, een zelfstandige inrichting zijn of geen inrichting zijn. Als een waterstofaggregaat geen onderdeel is van een inrichting en ook geen zelfstandige inrichting is, dan is het geen inrichting en gelden de milieuregels niet.

In de Wet milieubeheer staat wat een inrichting is. In de Wabo staat wanneer een omgevingsvergunning milieu nodig is bij het oprichten of veranderen van een inrichting. Als een vergunning niet nodig is, gelden de regels in het Activiteitenbesluit.

Begrip inrichting
In artikel 1.1. lid 1 en lid 4 van de Wet milieubeheer (Wm) staat wanneer een activiteiten een inrichting is. Dit is het geval als is voldaan aan de volgende voorwaarden:
a. Het gaat om een bedrijfsmatige activiteit of in een omvang bedrijfsmatig.
b. De activiteit gebeurt binnen een zekere begrenzing.
c. De activiteit 'pleegt te worden verricht' (langere tijd of telkens weer).
d. Er is een categorie uit bijlage I van het Besluit omgevingsrecht (Bor) van toepassing.

Het bevoegd gezag voor waterstofaggregaten zal in de meeste gevallen de gemeente zijn. De provincie is het bevoegd gezag als het waterstofaggregaat wordt geplaatst bij een provinciale inrichting. Het bevoegd gezag kan de veiligheidsregio om advies vragen.

Waterstofaggregaat staat bij een inrichting

Als een waterstofaggregaat wordt geplaatst bij een bedrijf dat een inrichting is, wordt het daarmee onderdeel van die inrichting. Als het gaat om een vergunningplichtig bedrijf, dan kan het bevoegd gezag eisen opnemen in de omgevingsvergunning milieu. Voor het plaatsen van een waterstofaggregaat is dan een omgevingsvergunning milieu nodig. Hiervoor geldt de uitgebreide procedure van afdeling 3.4 van de Algemene wet bestuursrecht (Awb) met een beslistermijn van 6 maanden. De aanvraag wordt digitaal gedaan via het Omgevingsloket.[51] Als het niet gaat om een vergunningplichtig bedrijf, dan gelden de regels in het Activiteitenbesluit en is een melding Activiteitenbesluit nodig.

Waterstofaggregaat is zelfstandig een inrichting

Een waterstofaggregaat kan zelfstandig een inrichting zijn als voldaan is aan de volgende voorwaarden:

a. Het gaat om een bedrijfsmatige activiteit of in een omvang bedrijfsmatig.
b. De activiteit gebeurt binnen een zekere begrenzing.
c. De activiteit 'pleegt te worden verricht' (langere tijd of telkens weer).
d. Er is een categorie uit bijlage I van het Besluit omgevingsrecht (Bor) van toepassing.

Ad. a (bedrijfsmatig of omvang bedrijfsmatig)
Een waterstofaggregaat is een bedrijfsmatige activiteit.
Ad. b (binnen een zekere begrenzing)
Het waterstofaggregaat staat voor een bepaalde tijd op een bepaalde plek. Hierdoor is er sprake van 'een zekere begrenzing'.

51 https://www.omgevingsloket.nl

Ad. c (pleegt te worden verricht)
Of er ook sprake is van 'pleegt te worden verricht', is een grijs gebied. Dit hangt samen met de tijdsduur. Als een activiteit een enkele keer voor korte duur ergens plaatsvindt, valt dit niet onder 'pleegt te worden verricht'. In de praktijk wordt een activiteit dan vanwege 'korte duur' niet beschouwd als een inrichting. Hierbij werd vaak uitgegaan van een termijn van 6 maanden (termijn voor vergunningverlening), maar doordat er steeds meer algemene regels zijn, wordt deze termijn niet altijd meer gehanteerd. Het is aan het bevoegd gezag om deze beoordeling te maken.

Ad. d (categorie bijlage I van het Bor)
Op het waterstofaggregaat is categorie 2 uit bijlage I van het Bor van toepassing.[52] Het gaat om het verwerken en opslaan van gassen met een gezamenlijke inhoud van meer dan 250 liter waterinhoud. Als ook een elektromotor aanwezig is met een vermogen van meer dan 1,5 kW, is ook categorie 1 uit bijlage I van toepassing. Elektromotoren die tijdelijk aanwezig zijn, zijn uitgesloten in categorie 1.2 van het Bor omdat ze tijdelijk aanwezig zijn. Een waterstofaggregaat dat tijdelijk aanwezig is, is meestal geen inrichting omdat niet is voldaan aan de voorwaarde onder c.

In categorie 1.1 onder c zijn stookinstallaties genoemd. Een waterstofaggregaat is geen stookinstallatie. Zowel in de Wet milieubeheer als onder de Omgevingswet is een stookinstallatie gedefinieerd als een installatie waarbij de oxidatie van brandstoffen plaatsvindt en de vrijgekomen warmte nuttig wordt gebruikt. Bij een brandstofcel is dit niet het geval, want de gewonnen energie is elektrische energie.

Het waterstofaggregaat is vaak gekoppeld aan een energie-opslagsysteem (EOS). Een EOS valt niet onder een categorie van bijlage I van het Bor.

Activiteitenbesluit en waterstofaggregaat

Het Activiteitenbesluit is van toepassing in de volgende gevallen:

- Het waterstofaggregaat met een voorraad waterstof is zelfstandig een inrichting.
- Het waterstofaggregaat is geplaatst bij een bedrijf dat niet vergunningsplichtig is.

In deze gevallen is er voor het waterstofaggregaat geen omgevingsvergunning milieu nodig. De regels uit het Activiteitenbesluit gelden. Dat betekent dat voor het plaatsen van een waterstofaggregaat een melding Activiteitenbesluit nodig is. De melding wordt gedaan via de Activiteiten Internet Module.[53] Meer informatie over het doen van een melding staat op de website van InfoMil.[54]

In het Activiteitenbesluit staan geen specifieke eisen voor een waterstofaggregaat. Op grond van de zorgplicht kan het bevoegd gezag met maatwerk eisen stellen aan een waterstofaggregaat.[55] In het Activiteitenbesluit staan wel eisen voor de opslag van waterstof in gasflessen. In paragraaf 4.1.1 van het Activiteitenbesluit[56] en paragraaf 4.1.1. van de Activiteitenregeling[57] staan de voorschriften voor de opslag van gevaarlijke stoffen in verpakking. Hiertoe behoren ook de gasflessen. In deze eisen wordt verwezen naar PGS 15. In artikel 4.4a van de Activiteitenregeling staat dat gasflessen van de klasse 2 van het ADR worden opgeslagen in een PGS 15-opslagvoorziening. Deze eisen gelden vanaf een hoeveelheid van 125 liter waterinhoud.

52 https://wetten.overheid.nl/BWBR0027464/2022-03-02/#BijlageI
53 https://www.aimonline.nl
54 https://www.infomil.nl/onderwerpen/integrale/activiteitenbesluit/melding/
55 https://wetten.overheid.nl/BWBR0022762/2022-09-21/#Hoofdstuk2_Afdeling2.1_Artikel2.1
56 https://wetten.overheid.nl/BWBR0022762/2022-09-21/#Hoofdstuk4_Afdeling4.1_Paragraaf4.1.1
57 https://wetten.overheid.nl/BWBR0022830/2022-11-05/#Hoofdstuk4_Afdeling4.1_Paragraaf4.1.1

Bijlage 2. Regelgeving bouwen en bestemmingsplan tot 1 januari 2024

Bouwen

Voor het bouwen van bouwwerken is een omgevingsvergunning bouwen nodig, tenzij sprake is van een vergunningsvrij bouwwerk. Dit staat in de Wabo. Voor een omgevingsvergunning bouwen geldt de reguliere procedure van titel 4.1 van de Algemene wet bestuursrecht (Awb) met een beslistermijn van 8 weken die eenmalig met 6 weken kan worden verlengd. Als het bevoegd gezag niet binnen de beslistermijn heeft beslist, dan is de vergunning van rechtswege verleend. De aanvraag wordt digitaal gedaan via het Omgevingsloket.[58]

Het bevoegd gezag voor waterstofaggregaten zal in de meeste gevallen de gemeente zijn. De provincie is het bevoegd gezag als het waterstofaggregaat wordt geplaatst bij een provinciale inrichting. Het bevoegd gezag kan de veiligheidsregio om advies vragen.

Is een waterstofaggregaat een bouwwerk?

In de Wabo staat het begrip bouwwerk niet omschreven. Op basis van jurisprudentie wordt in de praktijk uitgegaan van de in de modelbouwverordening gegeven definitie[59] . Deze definitie luidt: ''*elke constructie van enige omvang van hout, steen, metaal of ander materiaal, die op plaats van bestemming hetzij direct of indirect met de grond verbonden is, hetzij direct of indirect steun vindt in of op de grond, bedoeld om ter plaatse te functioneren*''. Het gaat om een bouwconstructie van een zekere omvang die grondgebonden is. Grondgebonden wil zeggen dat het bouwwerk met de grond is verbonden of dat het op de grond staat.

Een waterstofaggregaat is een apparaat. Apparaten zijn meestal geen bouwwerk, omdat ze vaak niet plaatsgebonden zijn. Apparaten staan meestal ergens voor korte tijd en worden niet gezien als bouwwerk. Een waterstofaggregaat kan wel een plaatsgebonden karakter hebben en daarom worden aangemerkt als bouwwerk. Dat wil zeggen dat het gedurende een bepaalde tijd op één plek staat. In de praktijk wordt op basis van jurisprudentie een termijn van 31 dagen gebruikt.[60]

Vergunningvrije bouwwerken

Als het waterstofaggregaat een bouwwerk is, dan is er mogelijk een omgevingsvergunning bouwen nodig. Maar niet voor alle bouwwerken is een omgevingsvergunning bouwen nodig. Er zijn bouwwerken die vergunningvrij zijn. Alle vergunningvrije activiteiten staan in Bijlage II van het Besluit omgevingsrecht (Bor). Het gaat om vergunningvrij voor bouwen en voor afwijken bestemmingsplan.

Voor een waterstofaggregaat is in de volgende gevallen geen omgevingsvergunning bouwen nodig:

- Het waterstofaggregaat staat op een bouwplaats (zie artikel 2, onderdeel 20 van bijlage II Bor).
- Het waterstofaggregaat is een bouwwerk bij een hoofdgebouw (bijbehorend bouwwerk) en voldoet aan een aantal voorwaarden (zie artikel 2, lid 3 of artikel 3, lid 1 van bijlage II Bor).

Bestemmingsplan

Het bestemmingsplan regelt onder andere welke activiteiten op een bepaalde plek zijn toegestaan en welke gebruiksregels hiervoor gelden. Een waterstofaggregaat zal altijd ondersteunend zijn aan een ‘andere’ activiteit, bijvoorbeeld een bedrijf, festival of een bouwplaats. Die ‘andere’ activiteit zal

58 https://www.omgevingsloket.nl

59 Zie ook ECLI:NL:RVS:2012:BX7117 van 12 september 2012

60 ABRS 7 juni 2001, Gst. 7154.7

dan bepalend zijn of het gebruik van een waterstofaggregaat is toegestaan op grond van het bestemmingsplan.

Als een activiteit niet is toegestaan, dan kan dit met een omgevingsvergunning afwijken bestemmingsplan toch worden toegestaan. De aanvraag wordt digitaal gedaan via het Omgevingsloket.[61] Welke procedure geldt, is afhankelijk van de activiteiten en ook of het gaat om tijdelijk afwijken of voor onbepaalde tijd. Meer informatie over afwijken bestemmingsplan staat op de website van InfoMil.[62]

Voor afwijken van het bestemmingsplan is niet altijd een omgevingsvergunning afwijken nodig. Alle vergunningvrije activiteiten staan in Bijlage II van het Besluit omgevingsrecht (Bor). Voor een waterstofaggregaat is in de volgende gevallen geen omgevingsvergunning afwijken nodig:

- Het waterstofaggregaat staat op een bouwplaats (zie artikel 2, onderdeel 20 van bijlage II Bor).
- Het waterstofaggregaat is een bouwwerk bij een hoofdgebouw (bijbehorend bouwwerk) en voldoet aan een aantal voorwaarden (zie artikel 2, lid 3 of artikel 3, lid 1 van bijlage II Bor).

61 https://www.omgevingsloket.nl

62 https://www.infomil.nl/onderwerpen/ruimte/ruimtelijke/wet-algemene/

Bijlage 3. Voorbeelden met regels tot 1 januari 2024

Hieronder staan de regels voor milieu, bouwen en bestemmingsplan die gelden tot 1 januari 2024

Bouwprojecten

Als een waterstofaggregaat wordt geplaatst bij een bouwproject, is hiervoor geen omgevingsvergunning afwijken of bouwen nodig. Een bouwwerk op bouwplaatsen is namelijk vergunningvrij. Dit volgt uit artikel 2, onderdeel 20 van bijlage II Bor. Hierin staat dat een omgevingsvergunning afwijken niet nodig is voor: *"een bouwkeet, bouwbord, steiger, heistelling, hijskraan, damwand of andere hulpconstructie die functioneel is voor een bouw-, onderhouds- of sloopactiviteit, een tijdelijke werkzaamheid in de grond-, weg- of waterbouw of een tijdelijke werkzaamheid op land waarop het Besluit algemene regels milieu mijnbouw van toepassing is, mits geplaatst op of in de onmiddellijke nabijheid van het terrein waarop die activiteit of werkzaamheid wordt uitgevoerd"*.

Afhankelijk van de duur van het bouwproject kan een melding Activiteitenbesluit nodig zijn. Het is aan het bevoegd gezag om dit te bepalen. Veiligheidsaspecten zijn dan onderdeel van de melding en de gemeente kan eventueel nadere eisen stellen met maatwerkvoorschriften. De eisen voor de opslag van waterstof in gasflessen staan in het Activiteitenbesluit.

Op grond van de zorgplicht in de Woningwet moet degene die de bouwwerkzaamheden verricht onder andere alle maatregelen nemen om gevaar voor de omgeving te voorkomen of niet te laten voortduren.[63] Dit geldt altijd. Deze zorg voor veiligheid van de omgeving is verder ingevuld in artikel 8.2 van het Bouwbesluit 2012.

Evenementen

Als een waterstofaggregaat wordt geplaatst bij een kortdurend evenement, is geen omgevingsvergunning bouwen nodig omdat het een apparaat is en geen bouwwerk. Als het waterstofaggregaat in een bouwwerk zou zijn geplaatst, dan nog is het geen bouwwerk als het er minder dan 31 dagen staat. Het heeft dan namelijk geen plaatsgebonden karakter en is om die reden geen bouwwerk.

Voor een evenement zal meestal geen omgevingsvergunning afwijken nodig zijn. Kortdurende evenementen zijn niet geregeld in het bestemmingplan. Als een evenement plaatsvindt op een terrein dat is bestemd als evenemententerrein, dan is een evenement toegestaan zolang het valt binnen de omschrijving die in het bestemmingsplan staat. Het waterstofaggregaat is dan onderdeel van het evenement. In de regels van het bestemmingsplan kunnen specifieke eisen staan voor evenementen.

Afhankelijk van de duur van het evenement kan een melding Activiteitenbesluit nodig zijn. Het is aan het bevoegd gezag om dit te bepalen. Als het gaat om een evenemententerrein, zal altijd een melding Activiteitenbesluit of een wijziging van de omgevingsvergunning milieu nodig zijn.

Daarnaast is voor grote evenementen vaak een evenementenvergunning nodig. De regels staan in de Algemene Plaatselijke Verordening (APV) en verschillen per gemeente. Een evenementenvergunning regelt onder andere de veiligheid. Als er risico's zijn, wil de gemeente vaak een veiligheidsplan met een risicoanalyse ontvangen. Daarin moet staan hoe de organisator incidenten bestrijdt en hoe hij de locatie ontruimt bij calamiteiten. De risico's bij het gebruik van een waterstofaggregaat zijn hier onderdeel van. Vaak overlapt dit met de RI&E op grond van de Arbowet (zie § 5.3.2).

63 Artikel 1a lid 2 Woningwet.

Bijlage 4. Details effectberekeningen

Details effectberekeningen Tabel 6.2 over Effectafstanden voor waterstofcilinders

Voor het bepalen van de effectafstanden van een losse waterstofcilinder en van een waterstofcilinder in een bundel is gekeken naar wat hierover in de Handleiding Risicoberekeningen Bevi (HRB) staat.[64, 65] Gebleken is dat de HRB wel cilinders met toxische stoffen beschouwt maar niet cilinders met ontvlambare gassen. De rekenmethodiek is voor beiden echter gelijk, gezien de memo die het RIVM in 2008 schreef over de modelling van gascilinders.[66]

De memo uit 2008 is geschreven voor ontvlambare en toxische gassen. Hoewel het exploderen van een cilinder beschreven staat, hoeft dit scenario niet te worden meegenomen in risicoberekeningen, omdat *'de effecten van een fysische explosie beperkt zijn en omdat aangenomen wordt dat er geen letaal letsel optreedt'*. Het is juist dat mensen ten opzichte van gebouwen beter bestand zijn tegen overdrukeffecten, maar aangezien het exploderen van een waterstofcilinder ook gepaard met een vuurbal en met rondvliegende brokstukken, moet de fysische explosie in effectberekeningen wel meegenomen worden.

Aangenomen wordt dat waterstofcilinders en bundels buiten opgeslagen worden. Bij lekkage zal een waterstofwolk ontstaan die zich in de omgeving verspreidt. Vertraagde ontsteking van deze wolk geeft een wolkbrand en dit gaat zonder overdrukeffecten gepaard. Een explosie is niet te verwachten, tenzij in de directe omgeving bomen, gebouwen of andere obstakels staan die de verbranding van waterstof heftiger kunnen maken en daarmee voor overdruk kunnen zorgen.

Effect	Opmerkingen
Explosie	▪ Overdruk bij explosie van één waterstofcilinder. ▪ Berekend met model *Blast wave from high-pressure tank rupture without and with combustion* van E-laboratory.[67] Gekozen parameters: - Stand-alone tank located on the ground - Bijdrage van chemische verbranding - Druk 300 bar, inhoud 50 L, temperatuur 15 °C.
Vuurbal	▪ Vuurbal bij explosie van één waterstofcilinder. ▪ Berekend met Effects als beschreven in het Scenarioboek.[68]
Brokstukken	▪ Gebaseerd op experiment van waterstoftank met druk van 343 bar en inhoud van 72,4 liter [Zalosh, 2007]
Fakkel	▪ Uitstroom uit gat van 6,35 mm (0,25 inch). ▪ Berekend met Effects als beschreven in het Scenarioboek.[69]

64 Hoewel een locatie waar een waterstofaggregaat staat, geen Bevi-inrichting zal zijn, kan in de HRB wel bruikbare informatie staan.

65 RIVM (2021). Handleiding Risiscoberekeningen Bevi, versie 4.3.

66 RIVM (2008). Modellering gascilinders uit Handleiding Risicoberekeningen BEVI concept versie 1.4.

67 E-laboratory is een website met rekentools die specifiek bedoeld zijn voor waterstof. De rekentools zijn ontwikkeld op basis van experimenten en berekeningen die in de literatuur beschreven staan. Er zijn tools waarmee bepaalde effecten berekend kunnen worden die ontstaan wanneer waterstof vrijkomt.

68 https://scenarioboeken.nipv.nl/cilinderpakket-waterstof-explosie/

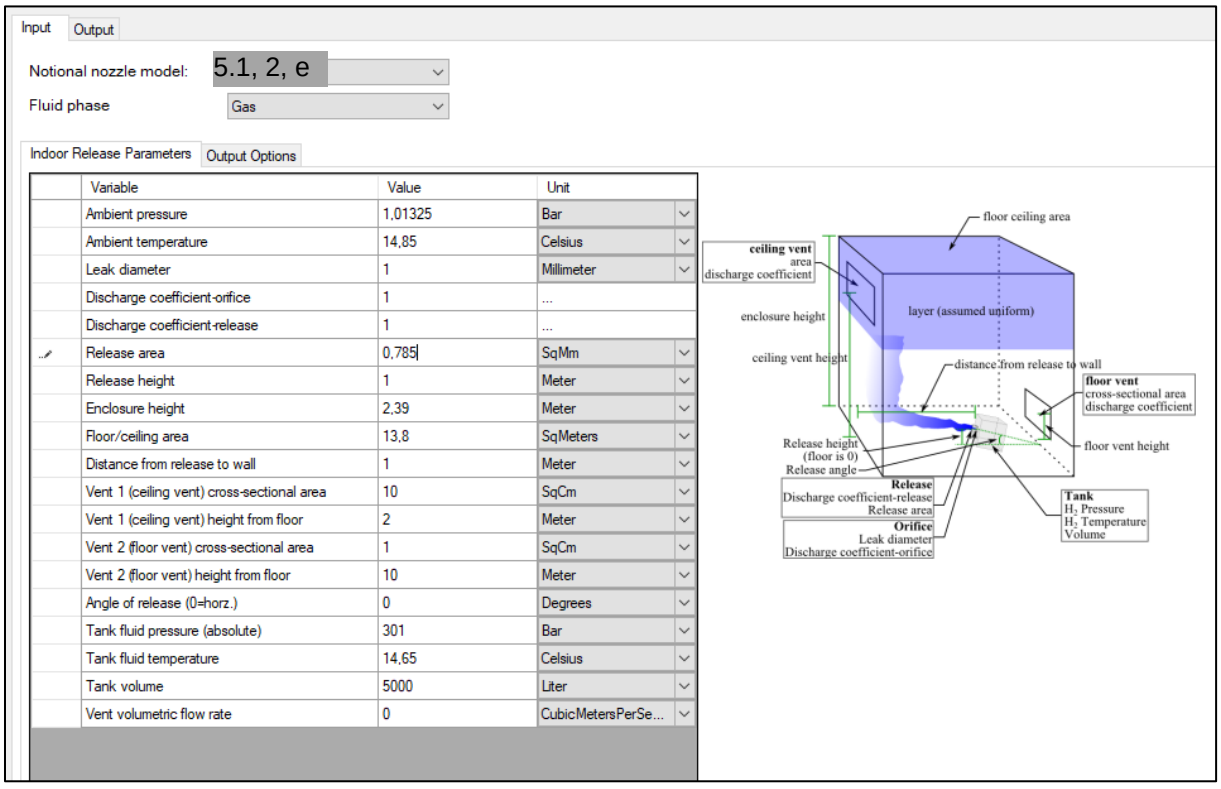
69 https://scenarioboeken.nipv.nl/cilinderpakket-waterstof-fakkelbrand/

Details berekeningen Tabel 6.3

Omdat softwaremodellen als SAFETI-NL en EFFECTS niet de overdruk kunnen berekenen van explosies die zich binnen voordoen, is gebruik gemaakt van HyRAM, versie 3.1.0. Het explosiemodel in HyRAM gaat er van uit dat onder het plafond een waterstoflaag ontstaat waarvan de concentratie uniform verdeeld is. In werkelijkheid hoeft dit niet het geval te zijn; afhankelijk van de omstandigheden kan de waterstoflaag gelaagd zijn waarbij de hoogste waterstofconcentraties te vinden zijn in de hoogst gelegen lagen. De resultaten van de berekeningen moeten daarom gezien worden als een indicatie: er is meer onderzoek nodig om beter te kunnen bepalen welke overdrukken kunnen ontstaan als een waterstoflaag in een container ontsteekt.

In de berekeningen is rekening gehouden met de aanwezigheid van twee luchtroosters van elk 10 cm^2 aan tegenoverliggende zijden van de container. Hierdoor ontstaat een luchtstroom. Er is echter geen rekening gehouden met mechanische ventilatie.

In de berekeningen zijn de overdrukken berekend voor diverse combinaties van waterstofdruk en gatgrootte. De invoerparameters en een schematische weergave van het model staan weergegeven in onderstaande printscreen.



Variable	Value	Unit
Ambient pressure	1,01325	Bar
Ambient temperature	14,85	Celsius
Leak diameter	1	Millimeter
Discharge coefficient-orifice	1	...
Discharge coefficient-release	1	...
Release area	0,785	SqMm
Release height	1	Meter
Enclosure height	2,39	Meter
Floor/ceiling area	13,8	SqMeters
Distance from release to wall	1	Meter
Vent 1 (ceiling vent) cross-sectional area	10	SqCm
Vent 1 (ceiling vent) height from floor	2	Meter
Vent 2 (floor vent) cross-sectional area	1	SqCm
Vent 2 (floor vent) height from floor	10	Meter
Angle of release (0=horz.)	0	Degrees
Tank fluid pressure (absolute)	301	Bar
Tank fluid temperature	14,65	Celsius
Tank volume	5000	Liter
Vent volumetric flow rate	0	CubicMetersPerSe...

Details faalkansen waterstofcilinder

Ook voor de faalkansen van waterstofcilinders is gekeken naar wat hierover in HRB[65] en in de RIVM-memo[66] staat. De faalkansen zijn onafhankelijk van de plaats waar de cilinder zich bevindt en gelden alleen voor stalen cilinders.

Het uitgangspunt is steeds dat één waterstofcilinder – al dan niet in een bundel - faalt. Als brand in de omgeving van de cilinder of bundel mogelijk is, kunnen meerdere cilinders tegelijk falen. Door het treffen van maatregelen, kan dit voorkomen worden. Deze additionele faalkans is in deze leidraad buiten beschouwing gelaten.

Inhoud < 150 L	
Instantaan falen	▪ De faalfrequentie van 5 x 10^{-7} per jaar geldt voor één cilinder. ▪ Voor een cilinderpakket met N cilinders is de faalfrequentie gelijk aan N x 5 x 10^{-7} per jaar. De uitstroming wordt dan gemodelleerd als het instantaan falen van de eerste cilinder, gevolgd door het uitstromen van de rest van de cilinders door een gat van 5 mm.
Klein lek	▪ De faalfrequentie van 5 x 10^{-7} per jaar geldt voor één cilinder. ▪ De uitstroming vindt plaats door een gat van 3,3 mm.
Inhoud ≥ 150 L	
Instantaan falen	▪ De faalfrequentie van 5 x 10^{-7} per jaar geldt voor één cilinder.
Groot lek	▪ De faalfrequentie van 5 x 10^{-7} per jaar geldt voor één cilinder. ▪ De uitstroom vindt in maximaal 10 minuten plaats.
Klein lek	▪ De faalfrequentie van 1 x 10^{-5} per jaar geldt voor één cilinder. ▪ De uitstroom vindt gedurende maximaal 1800 s plaats