

Handreiking veilige leefomgeving: waterstofaggregaten

WP2 Risicobeheersing en incidentbestrijding

Auteur: Margreet Spoelstra, Frenes van de Ven

Dit project is medegefinancierd door TKI Nieuw Gas | Topsector Energie uit de PPS-toeslag onder referentienummer TKI2019 WWIP en door Rotterdam Festivals



Inhoudsopgave

1. Inleiding	4
1.1. Aanleiding.....	4
1.2. Toepassingsbereik	4
1.3. Terminologie.....	5
2. Waterstofaggregaat	7
3. Omgevingswet	8
3.1. Inleiding	8
3.2. Informatieplicht, vergunning of melding	9
3.3. Omgevingsvergunning milieu, informatieplicht of melding	10
3.3.1. Waterstofaggregaat	11
3.3.2. Opslag waterstof.....	11
3.4. Omgevingsvergunning bouwen.....	14
3.5. Omgevingsvergunning omgevingsplanactiviteit	14
4. Overige wet- en regelgeving.....	16
4.1. Ontwerp waterstofaggregaat	16
4.2. Vervoer	16
4.3. Waterstof drukhouders	16
4.4. Arbowet	17
4.5. Wet veiligheidsregio's	17
4.6. Besluit brandveilig gebruik en basishulpverlening overige plaatsen	17
5. Voorbeelden waterstofaggregaten.....	19
5.1. Inleiding	19
5.2. Bouwproject	19
5.2.1. Omgevingswet	19
5.2.2. Arbowet	20
5.3. Evenementen	20
5.3.1. Omgevingswet	20
5.3.2. Arbowet	21
6. Beperken van gevaren - Waterstof.....	22
6.1. Eigenschappen van waterstof	22
6.2. Gevaren in waterstofketen	23
6.3. Effecten.....	23
6.3.1. Waterstofaggregaat in container	26
6.3.2. Waterstofbundel	27
6.3.3. Batterijwagen, tubetrailer.....	28
6.4. Risicobeheersing en maatregelen.....	30
6.4.1. Kansbeperkende maatregelen	30
6.4.2. Effectbeperkende maatregelen	31
6.5. Incidentbeschrijving en maatregelen	35
7. Beperken van gevaren – Batterij	36

7.1.	<i>Inleiding</i>	36
7.2.	<i>Beschrijving van Li-ion batterijsystemen</i>	36
7.3.	<i>Gevaren van een Li-ion batterijsysteem</i>	37
7.4.	<i>Effecten</i>	38
7.5.	<i>Risicobeheersing en maatregelen</i>	39
Bijlage 1. Vormen van waterstofopslag		41
Bijlage 2. Details berekeningen drukhouders waterstof		43
Bijlage 3. Details berekeningen thermal runaway batterijpakket		47

1. Inleiding

1.1. Aanleiding

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

Bij het opstellen van de handreiking is het gebruik van waterstofaggregaten als voorbeeld genomen, omdat waterstofaggregaten in de praktijk al worden toegepast. De handreiking kan waar mogelijk ook gebruikt worden voor andere initiatieven met waterstof in de gebouwde omgeving.

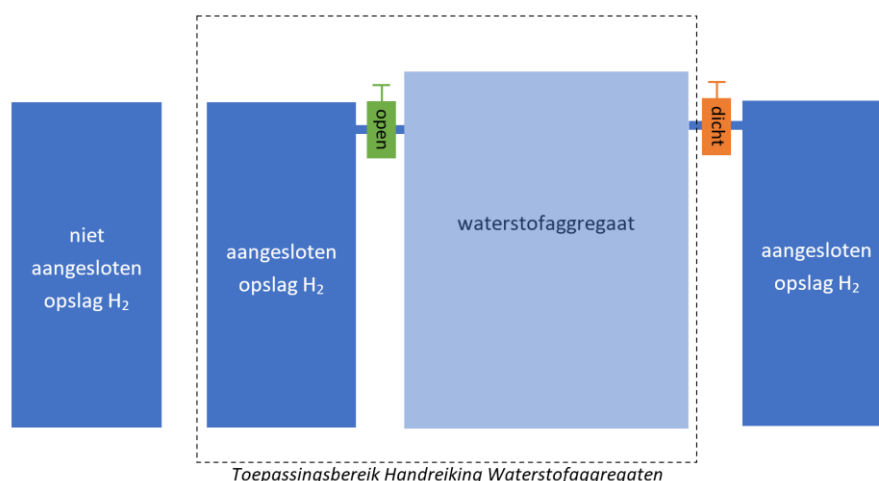
Waterstofaggregaten leveren tijdelijk stroom op locaties waar geen of onvoldoende stroom voorhanden is, zoals festivals of bouwplaatsen. Deze handreiking geeft handvatten om de vragen en antwoorden die er over dit onderwerp zijn centraal te ontsluiten met het doel de waterstofveiligheid te borgen. Zo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

De eerste versie van deze handreiking verscheen in 2023. Vanwege voortschrijdende inzichten en ontwikkelingen op het gebied van wet- en regelgeving bleek een actualisatie noodzakelijk te zijn. Alle hoofdstukken zijn geactualiseerd.

1.2. Toepassingsbereik

Deze handreiking gaat over waterstofaggregaten die aangesloten zijn op drukhouders die waterstof leveren aan de aggregaten ('open aangesloten'). Er kan daarnaast sprake zijn van een extra voorraad waterstof en/of een opslag van waterstof, bijvoorbeeld waterstofaggregaten die aangesloten zijn op drukhouders, maar waarvan de toevoer van waterstof gesloten is. Zie Figuur 1.1 voor de schematische weergave van het toepassingsbereik.

De handreiking gaat niet over IPPC-installaties¹, niet over Seveso-inrichtingen² en niet over waterstofverbrandingsmotoren. Ze heeft ook geen betrekking op vloeibaar waterstof.



Figuur 1.1 Het toepassingsbereik van de Handreiking Waterstofaggregaten.

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.

Toelichting

Drukhouders die zijn aangesloten op een waterstofaggregaat en waterstof leveren, vallen niet onder opslag. Deze drukkouders worden dan gezien als onderdeel van de waterstofaggregaat. Een werkvoorraad waterstof wordt óók niet als opslag gezien en telt niet mee bij het beoordelen of paragraaf 3.2.9 van het Besluit activiteit leefomgeving (Bal) van toepassing is. Wat onder werkvoorraad wordt verstaan, is niet vastgelegd. Dit is ter beoordeling aan het bevoegd gezag.

PGS 15 geeft een begripsomschrijving voor werkvoorraden: *‘De voorraad verpakte gevaarlijke stoffen en/of CMR-stoffen die ten behoeve van de bedrijfsvoering/productie in een productieruimte, werkruimte of per procesinstallatie of afvulinstallatie is opgesteld’*.³ Zo moet een werkvoorraad strikt noodzakelijk zijn en hoeft aan het einde van een werkdag niet terug naar een opslagruimte. De gedachte hierachter is dat werkzaamheden door de aanwezigheid van een werkvoorraad normaal uitgevoerd kunnen worden.

1.3. Terminologie

In deze handreiking komen diverse vormen van drukkouders met waterstof voor. Deze drukkouders verschillen in druk, inhoud, materiaal en de manier waarop ze zijn samengesteld. De drukkouders kennen een grote variëteit in benaming, waardoor snel onduidelijkheid kan ontstaan. Zo wordt in wet- en regelgeving de term ‘gasflessen’ gebruikt in plaats van cilinders. Tabel 1.1 geeft een overzicht van benamingen van drukkouders die in de praktijk – en daarmee in deze handreiking – gehanteerd worden. Tabel 1.2 geeft omschrijvingen van veelgebruikte benamingen.

Tabel 1.1 Benamingen voor diverse (systemen van) drukkouders.

Grootte	Synoniemen		
	Enkel	Meervoud	Transport
Klein	Fles, gasfles, cilinder	Waterstofbundel, cilinderpakket, flessenbatterij, MEGC ⁴	
Middel	Tank, opslagtank, reservoir	Batterij	Batterijwagen, MEGC
Groot	Tube, tank, opslagtank		Tubetrailer, tankwagen, MEGC

Tabel 1.2 Omschrijvingen van enkele veelgebruikte termen.

Onderwerp	Omschrijving	Inhoud (liter)	Bron
Opslagtank	Voorziening voor het opslaan van gas of vloeistof, met uitzondering van een verpakking, tankcontainer of ladingtank van een bunkerstation.		Bal
Drukhouders	Een verplaatsbare houder bedoeld om stoffen onder druk te houden, inclusief sluitingen en bedrijfsuitrusting, en een verzamelterm die flessen, grote cilinders, drukvaten, gesloten cryo-houders, opslagsystemen met metaalhydride, flessenbatterijen en bergingsdrukhouders omvat.		ADR ⁵
Gasfles, cilinder	Een verplaatsbare drukhouder met een waterinhoud van niet meer dan 150 liter.	< 150	ADR (PGS 15)
Drukvat	Een gelaste verplaatsbare drukhouder met een waterinhoud van meer dan 150 liter en niet meer dan 1000 liter.	150 – 1.000	ADR (PGS 15)

³ PGS 15 (2024). Opslag van verpakte gevaarlijke stoffen, [definitief concept](#).

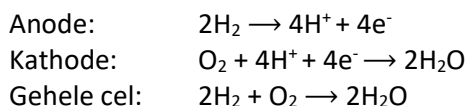
⁴ MEGC = Multiple Element Gas Container.

⁵ ADR = Accord relatif au transport des marchandises Dangereuses par Route. Het ADR is het Europese verdrag voor het vervoer van gevaarlijke stoffen over de weg.

Onderwerp	Omschrijving	Inhoud (liter)	Bron
Tube	Een naadloze drukhouder van composietmateriaal en een waterinhoud van meer dan 150 liter en niet meer dan 3.000 liter.	150 – 3.000	ADR
Flessenbatterij, waterstofbundel	Verzameling gasflessen die aan elkaar zijn bevestigd en onderling door een verzamelleiding zijn verbonden en die als ondeelbare eenheid wordt vervoerd. De totale waterinhoud is maximaal 3.000 liter.	< 3.000	ADR (PGS 15)
Batterijwagen	Een batterijwagen is een voertuig dat uit elementen bestaat die door een verzamelleiding met elkaar zijn verbonden en die duurzaam op dit voertuig zijn bevestigd. Als elementen van een batterijwagen worden beschouwd: flessen, grote cilinders, drukvaten en flessenbatterijen, alsmede tanks voor gasen met een inhoud van meer dan 450 liter.		ADR
Tankwagen	Een tankwagen is een voertuig, gebouwd om vloeistoffen, gasen, poedervormige of korrelvormige stoffen te vervoeren en uitgerust met een of meer vaste tanks. Behalve het voertuig zelf of in plaats daarvan het onderstel, bestaat een tankwagen uit een of meer reservoirs, de uitrustingsdelen en de delen ter bevestiging van de reservoirs aan het voertuig of het onderstel.		ADR
MEGC	Een MEGC is een gascontainer met verscheidene elementen ("Multiple Element Gas Container"). Het is een hulpmiddel bij het vervoer, dat bestaat uit elementen die door een verzamelleiding met elkaar zijn verbonden en die duurzaam in een raamwerk zijn gemonteerd. Als elementen van een gascontainer met verscheidene elementen worden beschouwd flessen, grote cilinders, drukvaten of flessenbatterijen, alsmede tanks met een inhoud van meer dan 450 liter voor gasen.		ADR

2. Waterstofaggregaat

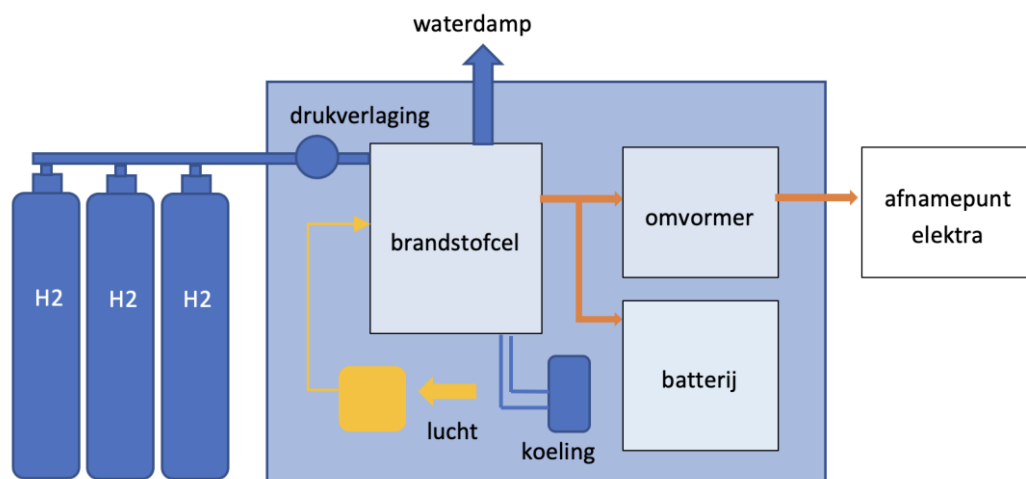
Een waterstofaggregaat levert stroom. Bij een waterstofaggregaat wordt in een brandstofcel stroom opgewekt door een elektrochemische reactie van waterstof (H_2) met zuurstof (O_2). Hieronder staan de elektrochemische reacties in de brandstofcel:



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 komen 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 is 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. Omgevingswet

3.1. Inleiding

Op 1 januari 2024 is de Omgevingswet in werking getreden. De Omgevingswet bundelt wetgeving en regels voor ruimte, wonen, infrastructuur, milieu, natuur en water. De regels voor milieu en bouwen staan in respectievelijk het Besluit activiteiten leefomgeving (Bal) en het Besluit bouwwerken leefomgeving (Bbl). Het bestemmingsplan is vervangen door het omgevingsplan waarin ook milieuregels zijn opgenomen.

Onder de Omgevingswet is een aantal regels van het Rijk naar gemeenten en waterschappen verhuisd. Met het Invoeringsbesluit zijn de regels voor gemeenten automatisch in het tijdelijk deel van het omgevingsplan gekomen. Dit heet ook wel de 'bruidsschat'. Gemeenten krijgen de tijd om zelf een afweging te maken hoe ze deze onderwerpen willen regelen. Deze 'tijdelijke' regels gelden tot gemeenten ze zelf hebben geregeld in hun omgevingsplan. Zie voor meer informatie over de bruidsschat het Informatiepunt leefomgeving.⁶

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 op 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 er wel specifieke decentrale of rijksregels zijn, geldt de algemene zorgplicht niet meer.

Specifieke zorgplicht

In het 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 zowel voor activiteiten met specifieke regels in het Bal, als 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.⁷ 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.

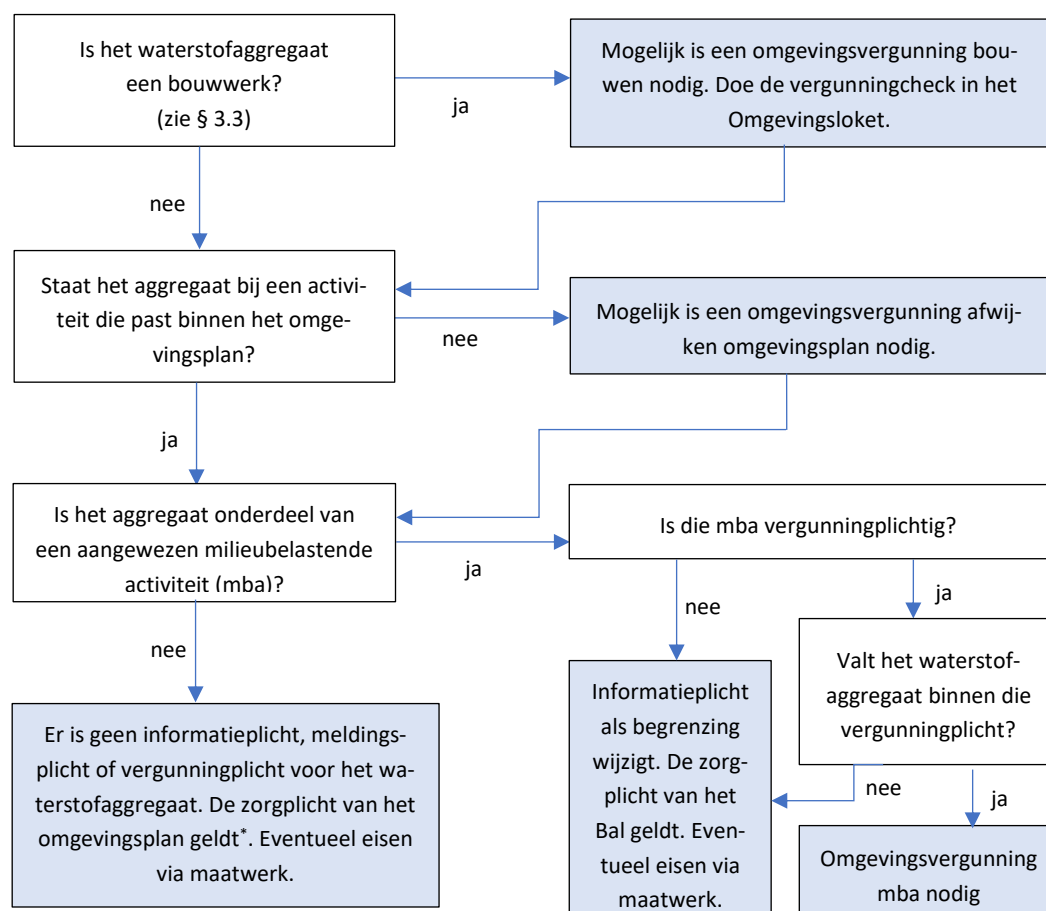
⁶ <https://iplo.nl/regelgeving/omgevingswet/introductie/totstandkoming/hoofdpijnen-invoeringsbesluit/bruidsschat/>.

⁷ <https://iplo.nl/regelgeving/omgevingswet/zorgplicht/specifieke-zorgplicht-activiteiten-bal/>.

3.2. Informatieplicht, vergunning of melding

In het Omgevingsloket kan een initiatiefnemer via de vergunningcheck nagaan of een informatieplicht geldt en of een vergunning of melding nodig is.⁸ 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 voor een waterstofaggregaat die open aangesloten is op een drukhouder een stroomschema om te bepalen of er sprake is van een informatieplicht, meldingsplicht of vergunningplicht. Een soortgelijk stroomschema staat in Figuur 3.2 voor de opslag van drukhouders met waterstof.⁹ De blauwe vlakken geven aan wat nodig is. In paragrafen 3.3 tot en met 3.5 wordt e.e.a. verder toegelicht.

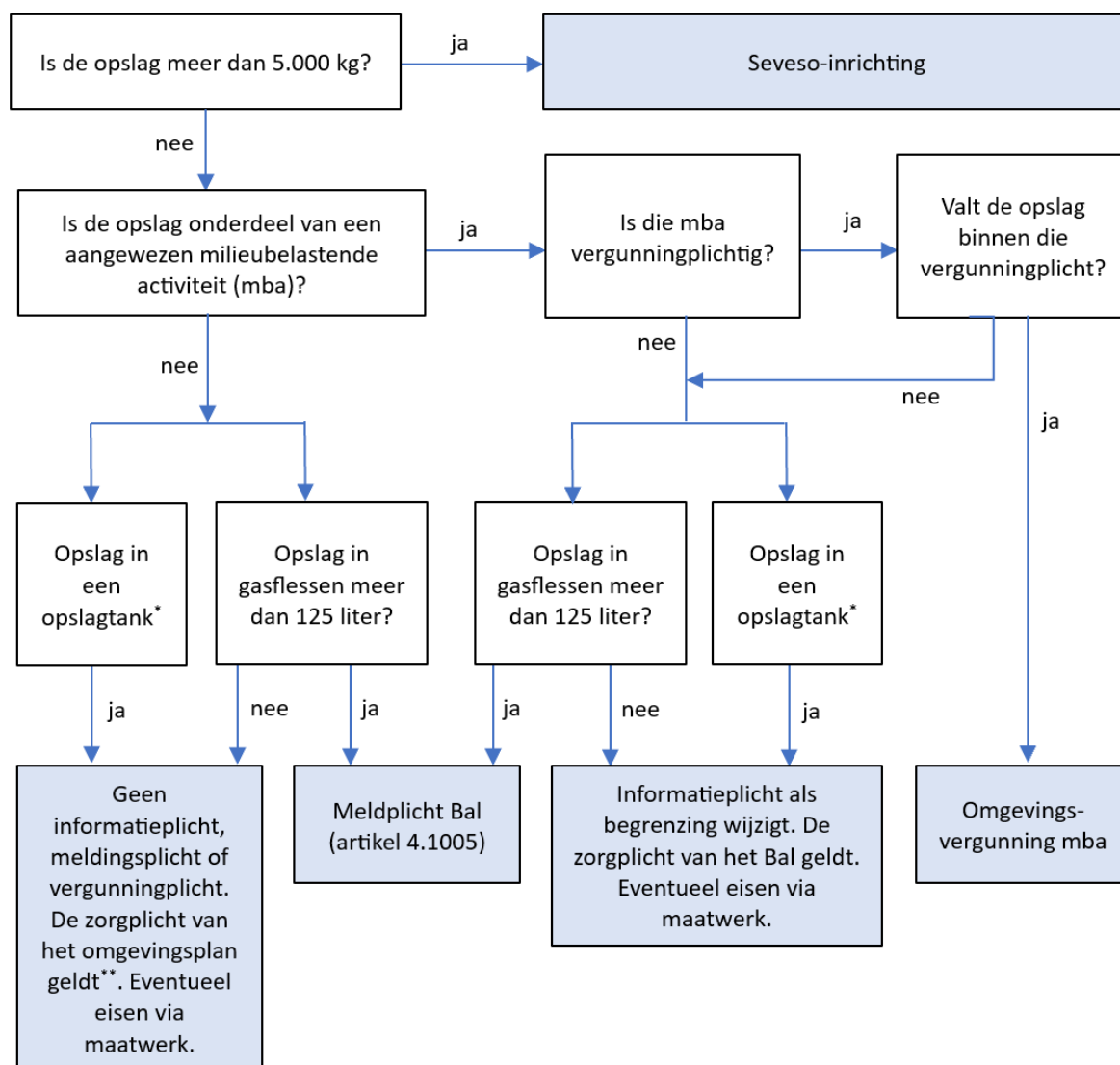


*Op basis regels tijdelijk omgevingsplan 1-1-2024; gemeente kan regels wijzigen.

Figuur 3.1 Stroomschema voor waterstofaggregaat dat open aangesloten is op een drukhouder met waterstof.

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

⁹ Figuur 3.2 heeft géén betrekking op een werkvoorraad waterstof. Het is aan het bevoegd gezag om te bepalen hoe wordt omgegaan met een werkvoorraad waterstof.



* Waterstof is niet tot vloeistof verdicht zodat § 3.2.7 Bal niet geldt.

** Op basis van regels tijdelijk omgevingsplan 1-1-2024; gemeente kan regels wijzigen.

Figuur 3.2 Stroomschema voor de opslag van waterstof in drukhouders. Dit stroomschema gaat niet over werkvoorraden waterstof.

3.3. Omgevingsvergunning milieu, informatieplicht of melding

Onder de Omgevingswet is het begrip 'inrichting' verdwenen en vervangen door 'milieubelastende activiteit' (mba). Een milieubelastende activiteit is een activiteit die nadelige gevolgen voor het milieu kan veroorzaken. In het 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.

3.3.1. 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.

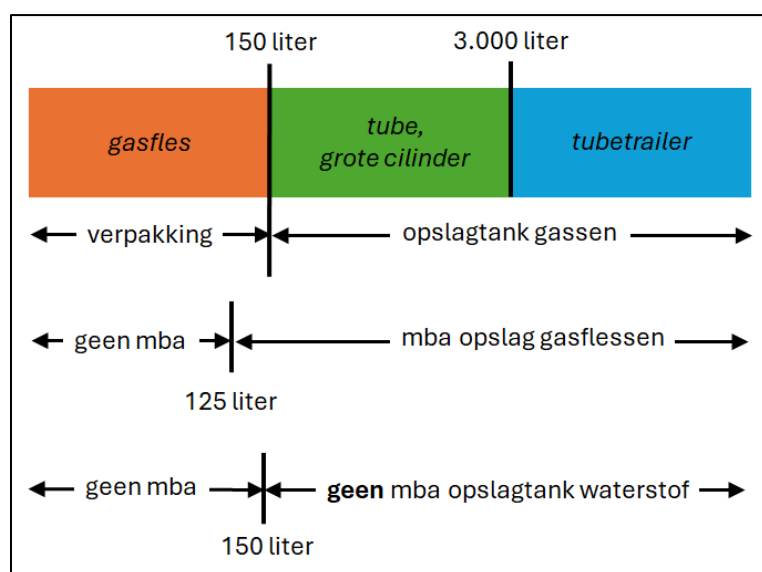
Omgevingsvergunning milieubelastende activiteit waterstofaggregaat

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.

3.3.2. Opslag waterstof

Als bij een waterstofaggregaat waterstof in opslag aanwezig is, dan kan die opslag een aangewezen milieubelastende activiteit zijn als waterstof is opgeslagen in gasflessen (verpakking).¹⁰ Paragraaf 3.2.9. van het Bal geeft hiervoor regels.

Als waterstof in een opslagtank aanwezig is (> 150 liter), dan is dat géén aangewezen milieubelastende activiteit. Paragraaf 3.2.7 van het Bal gaat weliswaar over opslagtanks voor gassen, maar is alleen bedoeld voor tot vloeistof verdichte gassen. Waterstof is echter geen tot vloeistof verdicht gas, waardoor paragraaf 3.2.7. van het Bal niet van toepassing is op opslagtanks met waterstof. Figuur 3.3 laat zien wanneer sprake is van opslag en wanneer van een milieubelastende activiteit.



Figuur 3.3 De totale inhoud van waterstofdrukhouders bepaalt of sprake is van opslag en van een milieubelastende activiteit.

Naar de mening van de auteurs van deze handreiking is het een omissie in het Bal dat het opslaan van waterstof in een opslagtank geen aangewezen milieubelastende activiteit is. Het is immers niet uitlegbaar dat gasflessen met waterstof wel een milieubelastende activiteit zijn en drukhouders die meer waterstof bevatten, dat niet zijn.

¹⁰ Als aangegeven in de toepassingsbereik (paragraaf 1.2), is het aan het BG om te beoordelen of er sprake is van een werkvoorraad of van opslag.

Opslag in gasflessen

Het opslaan van waterstof in *gasflessen* valt onder het opslaan van gevaarlijke stoffen in verpakking. Een gasfles met een inhoud van minder dan 150 liter is daarom een verpakking en geen opslagtank (zie § 3.2.9 in Bal). Vanaf 125 liter is opslag in gasflessen een aangewezen milieubelastende activiteit (zie paragraaf 3.2.9 Bal).¹¹ Onder opslag vallen ook bijbehorende handelingen, zoals overslaan en laden en lossen.

Gasflessen die aangesloten zijn op het waterstofaggregaat en waterstof leveren, vallen niet onder opslag. Voor de opslag van gasflessen is een omgevingsvergunning mba nodig als meer dan 10.000 kg in opslag aanwezig is. Voor waterstof is echter bij een hoeveelheid van meer dan 5.000 kg sprake van een Seveso-inrichting.

Voor het opslaan van gasflessen gelden een informatie- en meldingsplicht. Het informeren en melden gaat via het Omgevingsloket.¹² Een melding moet 4 weken van tevoren worden gedaan. In de melding moeten de volgende gegevens staan:¹³

- 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 van het Bal.¹⁴ Hier staan bijvoorbeeld eisen voor de afstand tot gevoelige functies. Er staat ook dat de opslag en het gebruik van gasflessen moeten voldoen aan PGS 15.

In PGS 15 staan eisen voor het opslaan van gasflessen.³ Deze eisen gelden niet voor een cilinderpakket dat is aangesloten op het aggregaat en waarbij de toevoer openstaat (zie ook paragraaf 3.3.1). De voorraad waterstof die op deze manier is aangesloten op het waterstofaggregaat, wordt namelijk niet gezien als opslag. De eisen van PGS 15 gelden wel voor aangesloten cilinderpakketten waarbij de toevoer is afgesloten en voor cilinderpakketten in voorraad. De eisen in hoofdstuk 6 van PGS 15 gelden altijd.

Opslag in een opslagtank

Het opslaan van waterstof in een opslagtank valt niet onder paragraaf 3.2.7 van het Bal, omdat waterstof niet een tot vloeistof verdicht gas is. Voor een tubetrailer gelden wel altijd de eisen van de ADR voor het transport van waterstof. Opslagtanks die aangesloten zijn op het waterstofaggregaat en waterstof leveren, vallen niet onder opslag.

Tabel 3.1 Overzicht van wanneer het opslaan van waterstof gezien wordt als een mba en of daar een vergunning voor nodig is.

Omschrijving	Aangewezen mba?	Omgevingsvergunning mba nodig?	Aan te houden regels
Losse gasflessen, totale waterinhoud ≥ 125 liter	Ja (§ 3.2.9 Bal)	Nee, alleen bij een opslagplaats voor in totaal meer dan 10.000 kg gevaarlijke stoffen (artikel 3.28 onder h Bal). Maar bij opslag van meer dan 5.000 kg	- § 4.98 Bal - PGS 15

¹¹ <https://iplo.nl/regelgeving/regels-voor-activiteiten/milieubelastende-activiteiten-hoofdstuk-3-bal/activiteiten/opslaan-gevaarlijke/>.

¹² <https://omgevingswet.overheid.nl/home>.

¹³ Artikel 4.1005 Bal.

¹⁴ Paragraaf 4.98 Bal.

Omschrijving	Aangewezen mba?	Omgevingsvergunning mba nodig?	Aan te houden regels
		waterstof is er sprake van een Seveso-inrichting.	
Losse gasflessen, totale waterinhoud < 125 liter	Wel als ze functioneel ondersteunend zijn aan een andere aangewezen mba.	Alleen als het valt binnen de vergunningplicht van die andere aangewezen mba.	- Zorgplicht Bal - Eventueel regels in omgevingsvergunning mba of maatwerkbesluit
	Niet als ze niet functioneel ondersteunend zijn aan een andere aangewezen mba.	Nee	- Zorgplicht omgevingsplan - Eventueel maatwerkbesluit omgevingsplan
Flessenbatterij / waterstofbundel gasflessen	Ja als waterinhoud > 125 liter is (§ 3.2.9 Bal)	Nee, alleen bij een opslagplaats voor in totaal meer dan 10.000 kg gevaarlijke stoffen (artikel 3.28 onder h Bal). Maar bij opslag van meer dan 5.000 kg waterstof is er sprake van een Seveso-inrichting.	- § 4.98 Bal - PGS 15
Opslagtank, waterinhoud > 150 liter	Nee, want geen tot vloeistof verdicht gas (§ 3.2.7 Bal)	Nee	
Tubetrailer bij tankstation of opslag- en transportbedrijf, groothandel of containerterminal	Ja, onderdeel van de aangewezen mba in § 3.8.6 of § 3.8.10 Bal.	Ja, want het tanken van voertuigen of werktuigen met waterstof is vergunningplichtig en dit is inclusief opslag.	- ADR - § 4.38 Bal
Tubetrailer niet bij tankstation of opslag- en transportbedrijf, groothandel of containerterminal	Wel als de tubetrailer functioneel ondersteunend is aan een andere aangewezen mba.	Als binnen vergunningplicht van die andere aangewezen mba.	- Zorgplicht Bal - Eventueel regels in omgevingsvergunning mba of maatwerkbesluit Bal
	Niet als de tubetrailer niet functioneel ondersteunend is aan een andere aangewezen mba.	Nee	- Zorgplicht omgevingsplan - Eventueel maatwerkbesluit omgevingsplan

Batterijsysteem

Het waterstofaggregaat kan gekoppeld zijn aan een batterijsysteem.¹⁵ 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. Het bevoegd gezag kan op basis van de specifieke zorgplicht met maatwerkvoorschriften de eisen in PGS 37-1 verplichten.

¹⁵ 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.

In PGS 37-1 staan eisen voor veilige opslag van elektriciteit in energieopslagsystemen.¹⁶ 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 niet plaatsgebonden zijn en vaak ergens voor korte tijd staan. Een waterstofaggregaat kan echter wel een plaatsgebonden karakter hebben als het gedurende een lange tijd op een locatie staat. In de praktijk wordt op basis van jurisprudentie een termijn van maximaal 31 dagen gebruikt.¹⁷ Staat een aggregaat langer dan 31 dagen op een locatie, dan wordt het wel gezien als een bouwwerk.

Een 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 bouwkwiteit uit het Besluit bouwwerken leefomgeving (Bbl). Bijvoorbeeld de constructieve veiligheid van een bouwwerk.
- De omgevingsplanactiviteit omvat het toetsen van het bouwen van een bouwwerk aan het omgevingsplan voor wat betreft het ruimtelijk bouwen, het in stand houden en het gebruik van een bouwwerk.

Door deze 'knip' zijn er meer technische bouwactiviteiten vergunningvrij, omdat ruimtelijke randvoorwaarden niet langer een rol spelen. Zie de website van het Informatiepunt Leefomgeving over vergunningvrij bouwen.¹⁸ In het Omgevingsloket kan een initiatiefnemer via de vergunningcheck nagaan of een omgevingsvergunning bouwen nodig is.¹⁹ 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

¹⁶ Publicatiereeks Gevaarlijke Stoffen (PGS, 2023). PGS 37-1: [Lithiumhoudende energiedragers: energieopslagsystemen \(EOS\)](#).

¹⁷ ABRS 7 juni 2001, Gst. 7154.7.

¹⁸ <https://iplo.nl/thema/ruimtelijke-ontwikkelingen/ruimtelijk-bouwen/vergunningvrij-bouwen/>.

¹⁹ <https://dmo.omgevingswet.overheid.nl/home>.

‘andere’ activiteit, bijvoorbeeld een bedrijf, festival, een bouwplaats of een gebouw. 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 locatie niet zou mogen, dan kan deze met een omgevingsvergunning toch worden toegestaan. Dit is een omgevingsvergunning voor een buitenplanse omgevingsactiviteit (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.²⁰ Voor activiteiten in bijlage VII van het Bkl moet de gemeente de grenswaarde voor het plaatsgebonden risico in acht nemen.²¹ 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.²²

²⁰ <https://iplo.nl/thema/externe-veiligheid/externe-veiligheid-in-omgevingsplan/algemene-instructieregels-externe-veiligheid/>.

²¹ <https://iplo.nl/thema/externe-veiligheid/externe-veiligheid-in-omgevingsplan/plaatsgebonden-risico/>.

²² <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 is een zone waar een explosieve atmosfeer kan ontstaan. Het waterstofaggregaat zal geheel of gedeeltelijk in zijn eigen gevarezone staan. Apparaten die onderdeel zijn van de installatie, moeten door de leverancier van de installatie worden geselecteerd op geschiktheid voor toepassing in een gevarezone. Op grond van de Europese productrichtlijn 2014/34/EU moet de fabrikant overeenstemming met deze richtlijn aantonen. De fabrikant moet instructies verstrekken voor onder andere 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 8090.²³

4.2. Vervoer

Voor vervoer van cilinderpakketten en tubes met waterstof gelden 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)*.^{24, 25}

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

4.3. Waterstof drukhouders

De Europese richtlijn drukapparatuur geldt niet voor verplaatsbare drukhouders voor transport van gasen. Een drukhouder is op grond van het ADR *'een verplaatsbare houder bedoeld om stoffen onder druk te houden, inclusief sluitingen en bedrijfsuitrusting, en een verzamelterm die flessen, grote cilinders, drukvaten, gesloten cryohouders, opslagsystemen met metaalhydride, flessenbatterijen en bergingsdrukhouders omvat'*. Voor verplaatsbare drukhouders geldt de Europese Richtlijn 2010/35/EU betreffende vervoerbare drukapparatuur (TPED).²⁶

Gasflessen moeten onder andere voldoen aan de eisen van NEN-EN-14025 *'Tanks for the transport of dangerous goods - Metallic pressure tanks - Design and construction'* en van NEN-EN-ISO 11114 *'Gas cylinders — Compatibility of cylinder and valve materials with gas contents'*.

²³ <https://www.nen.nl/npr-8090-2013-nl-190554>.

²⁴ <https://nipv.nl/wp-content/uploads/2024/12/20241211-NIPV-Kennisbundel-transport-van-waterstofdragers.pdf>.

²⁵ <https://nlhydrogen.nl/wp-content/uploads/2022/12/WP4-Transportmethoden-H2-over-de-weg.pdf>.

²⁶ <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/NL/TXT/?uri=CELEX:32010L0035>.

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 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.²⁷

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.²⁸

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.²⁹ 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 brandpreventieve 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 (Bbgbp) geeft regels over het brandveilig gebruik van voor mensen toegankelijke plaatsen, voor zover daarin niet in andere wet- en regelgeving is voorzien.³⁰ 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 (bouwsels). Het gaat bijvoorbeeld om openlucht-

²⁷ <https://www.arboportaal.nl/onderwerpen/risico-inventarisatie---evaluatie>.

²⁸ <https://www.arboportaal.nl/onderwerpen/explosieveiligheid-atex>.

²⁹ <https://wetten.overheid.nl/jci1.3:c:BWBR0027466¶graaf=4&artikel=25&z=2023-01-01&g=2023-01-01>.

³⁰ <https://wetten.overheid.nl/jci1.3:c:BWBR0040068&z=2024-01-01&g=2024-01-01>.

festivals. In het Bbgbop is een bouwsel gedefinieerd als: *‘een bijeenkomsttent, tribune, podium of elke andere constructie die naar een plaats is gebracht of ter plaatse is geconstrueerd om daar kortstondig te functioneren’*. Een waterstofaggregaat is een installatie en geen bouwsel. Bij plaatsing in een zeecontainers of op een voertuig zou het mogelijk wel een bouwsel kunnen zijn.

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 van het Bbgbop). De melding is niet nodig als een evenementenvergunning nodig is (zie kader).

Samenloop evenementenvergunning en Bbgbop

Uit artikel 2.1, derde lid van het 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 van het 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.

Op grond van artikel 5.1 van het Bbgbop geldt dat het gebruik van een plaats zodanig is, dat het ontstaan van een brandgevaarlijke situatie en de ontwikkeling van brand worden voorkomen. Artikel 6.1 biedt de mogelijkheid tot handhavend optreden bij een brandonveilig aggregaat.

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 van het 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 waterstofaggregaten op bouwplaatsen en bij evenementen.

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 gasflessen is wel een milieubelastende activiteit.³¹ 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 handreiking.

Voorbeeld bouwproject

Voor aanleg van de innovatiestroom A58 bij Oirschot is een waterstofaggregaat geplaatst om de uitstoot van stikstof en kooldioxide te verminderen. Het waterstofaggregaat functioneerde als stroomvoorziening voor het ketenpark, de verlichting, beveiliging en laden van auto's. 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. Foto: Paul Bombeld.

³¹ Artikel 3.27 Besluit activiteiten leefomgeving.

Veiligheid bij bouwen

In hoofdstuk 7 van het 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.³²

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.³³ 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.³⁴ Als nodig kan het bevoegd gezag invulling geven aan de zorgplicht door maatwerkvoorschriften te stellen.

Emissiereductie stikstof bij bouwen

De uitvoerder van bouw- en sloopwerkzaamheden is verplicht om adequate maatregelen te nemen om die emissie van stikstof te beperken.³⁵ 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.³⁶ 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 Arboregels (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 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.³⁷ 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 handreiking.

De regels voor evenementen blijven deels onderdeel van de Algemene Plaatselijke Verordening (APV) en worden deels onderdeel van het omgevingsplan. De eisen voor evenementen in een gemeentelijke verordening blijven gelden totdat de gemeente een nieuw omgevingsplan vaststelt.

³² [Artikel 7.2 Besluit bouwwerken leefomgeving.](#)

³³ [Artikel 7.4 Besluit bouwwerken leefomgeving.](#)

³⁴ <https://iplo.nl/regelgeving/regels-voor-activiteiten/technische-bouwactiviteit/rijksregels-bouwactiviteit/veiligheid-bouw-sloopactiviteit/>.

³⁵ [Artikel 7.19a Besluit bouwwerken leefomgeving.](#)

³⁶ Bouwactiviteiten waarvoor bouwmelding geldt, staan in [artikel 2.17 Besluit bouwwerken leefomgeving.](#)

³⁷ [Artikel 3.27 Besluit activiteiten leefomgeving.](#)

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 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 het veiligheidsplan met de RI&E op grond van de Arbowet (zie § 5.3.2).



Figuur 5.2 Voorbeeld toepassing waterstofaggregaat Eurosonic, Groningen. Foto: [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 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 en de aanwezige waterstofdrukhouders. 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/m ³)	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 die van methaan.
- Methaan en waterstof lekken relatief eenvoudig. Als waterstof lekt, lekt methaan ook.³⁸
- 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).

³⁸ H21 (2021). [H21 Phase 1 Technical Summary Report](#).

- Waterstof kan waterstofverbrossing geven, dat wil zeggen: het brosser worden van metaal doordat waterstof het metaal binnendringt.

6.2. Gevaren in 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 waterstof³⁹;
- d) gebruik van waterstof.

Waterstof wordt elders geproduceerd, op druk gebracht en opgeslagen in drukhouders. De drukhouders worden over de weg naar de plaats van bestemming vervoerd en daar opgeslagen. Voor gebruik wordt een drukhouder aangesloten op een waterstofaggregaat.

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.^{40, 41} 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.⁴²

6.3. Effecten

De effecten die op kunnen treden als gasvormig waterstof vrijkomt uit een systeem, worden weergegeven in een gebeurtenissenboom. Voor waterstof die onder druk staat, zijn er twee gebeurtenissenbomen; deze staan in Figuur 6.1 en in Figuur 6.2. Figuur 6.1 gaat over het exploderen van een waterstofcilinder, terwijl Figuur 6.2 gaat over het lekken van waterstof uit een onderdeel van het waterstofaggregaat of uit een waterstofcilinder.

Instantaan vrijkomen van waterstof	Explosie
	Vuurbal
	Brokstukken

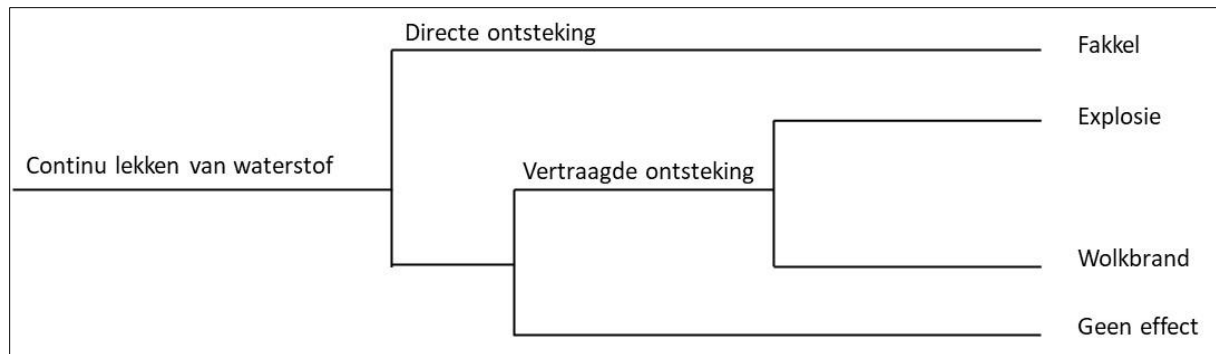
Figuur 6.1 Gebeurtenissenboom van de instantane uitstroming van gasvormig waterstof.

³⁹ Opslag van waterstof vindt ook plaats nabij de productielocatie in afwachting van transport naar andere locaties.

⁴⁰ Publicatiereeks Gevaarlijke Stoffen (PGS, 2021). PGS 35 - [Waterstofinstallaties voor het afleveren van waterstof aan voertuigen en werktuigen](#).

⁴¹ Publicatiereeks Gevaarlijke Stoffen (PGS, 2016) . [Report: Internal Safety Distances for PGS 35](#).

⁴² Faaloorzaken als verbrossing, corrosie en vermoeiing vallen onder faaloorzaak 'Fouten bij ontwerp, bouw en onderhoud'.



Figuur 6.2 Gebeurtenissenboom van de continue uitstroming van gasvormig waterstof.⁴³

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 drukhouder.
2. Vuurbal – Bij de explosie van de drukhouder ontstaat een vuurbal.
3. Brokstukken – Bij de explosie van de drukhouder worden brokstukken gevormd die weggeslingerd worden.
4. Fakkel – Waterstof stroomt continu uit de drukhouder of uit een leiding en doordat het direct ontsteekt, ontstaat een fakkel.
5. Explosie – Waterstof stroomt continu uit de drukhouder 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 drukhouder 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 drukhouders zijn de onderdelen met de meeste waterstof onder de hoogste druk. Ophoping van waterstof is mogelijk in de container waar het waterstofaggregaat staat.

Toelichting

De criteria voor overdruk zijn⁴³:

- 0,3 bar: 100% letaliteit door instorten van gebouwen
- 0,1 bar: 1% letaliteit door glasscherven
- 0,03 bar: glasbreuk

De criteria voor warmtestraling zijn:

- 35 kW/m²: 100% letaliteit
- 10 kW/m²: 1% letaliteit
- 3 kW/m²: gebruik beschermende kleding, inzet brandweer

Er kan iets misgaan met de drukhouders tijdens het transport van en naar de plek van bestemming, tijdens het aan- en afkoppelen van de drukhouders of gedurende de tijd dat de drukhouders

⁴³ Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM, 2022). [Toelichting rekenvoorschrift omgevingsveiligheid 2022](#).

aanwezig zijn op locatie, al dan niet aangesloten op het waterstofaggregaat. Daarnaast kan er iets misgaan met het waterstofaggregaat zelf. In paragrafen 6.3.1 tot en met 6.3.3 worden de effecten beschreven wanneer er iets misgaat bij een van de volgende drukhouders:

- a) waterstofaggregaat in container;
- b) waterstofbundel;
- c) batterijwagen, tubetrailer.

Zie Figuur 6.3 voor foto's van verschillende drukhouders. Bijlage 1 geeft informatie over diverse soorten drukhouders en hoe deze gebundeld zijn.



Figuur 6.3 Vormen van opslag. Van boven naar beneden: waterstofbundel, batterijwagen en tubetrailer. De batterijwagen bevat 9 cilinders van 350 bar, de tubetrailer 10 tubes van 200 bar. Foto's: NIPV en Roger Energy.

6.3.1. Waterstofaggregaat in container

Bij een waterstofaggregaat wordt de waterstofdruk in twee stappen gereduceerd van 300 via 5 bar naar 0,5 bar. Dit gebeurt meestal buiten de container, zodat binnen de container geen waterstof onder hoge druk aanwezig is.⁴⁴ Dit houdt in dat de aangesloten drukhouder met waterstof zich buiten de container met het waterstofaggregaat bevindt.

Effecten

In een container met een waterstofaggregaat kan waterstof vrijkomen. Vanwege de afwezigheid van drukhouders in de container, kan waterstof echter alleen door een lek uit een leiding of aansluiting vrijkomen. Het zal om relatief weinig waterstof gaan, gezien de lage waterstofdruk in het systeem. Bij directe ontsteking ontstaat een fakkel en bij vertraagde ontsteking een wolkbrand of een explosie. De kans op een explosie wordt groter naarmate de hoeveelheid gelekte waterstof groter is, de ruimte kleiner is, obstakels aanwezig zijn en er weinig tot geen ventilatie is.

De hittestraling van een fakkel of een wolkbrand reikt niet verder dan de wanden van de container, zodat de container bij deze effecten een beschermende omhulsel vormt voor de omgeving. Bij een explosie is de situatie anders: een container zal vervormen en mogelijk scheuren door het absorberen van de energie die vrijkomt bij de explosie. Als de explosie groot genoeg is, kan de container falen als er geen voorzieningen zijn zoals ventilatie en/of explosieluiken. Dan kan de deur uit de scharnieren worden geblazen en weggegooid worden.

De effecten van een waterstofexplosie in een container zonder voorzieningen zijn te zien in Tabel 6.2. Ze zijn afkomstig van experimenten die beschreven staan in het Scenarioboek.⁴⁵ De afstanden gelden vanaf de deur van de container.

Tabel 6.2 Experimenteel bepaalde effecten bij waterstofexplosie in 20 ft-container zonder voorzieningen.

Effecten	Effectafstand (m)
Overdruk (bar)	
0,25	5
0,16	10
0,11	15
Brokstuk (deur)	30

Kansen

De kans dat waterstof vrijkomt bij een waterstofaggregaat inclusief bijbehorende appendages, staat weergegeven in Tabel 6.3.

Tabel 6.3 Faalkansen voor waterstofvoerende leiding bij waterstofaggregaat.

Scenario	Faalkans
Breuk van leiding	1×10^{-6} per meter per jaar
Lek van leiding	5×10^{-6} per meter per jaar

De kans dat een waterstofwolk vervolgens in de container ontsteekt, is op voorhand niet te zeggen. De hoeveelheid uitgestroomd waterstof is bepalend voor de ontstekingskansen. Deze kans gaat naar 1 als potentiële ontstekingsbronnen zich lange tijd in de waterstofwolk bevinden.⁴⁶

⁴⁴ Presentatie Jeff Wezel (Watermeln) tijdens overleg normcommissie 'Waterstof en Brandstofcellen' d.d. 26-11-2024.

⁴⁵ NIPV (2024). [Waterstofexplosie in container](#).

⁴⁶ Myrstad, H.E. (2023). [Ignition probability of hydrogen facilities](#).

6.3.2. Waterstofbundel

In een waterstofbundel zijn de gasflessen aan elkaar gekoppeld. Bij een lek in een leiding of in een gasfles komt de inhoud van alle gasflessen vrij. Een waterstofbundel bestaat vaak uit 16 gasflessen van 300 bar en 50 liter waterinhoud elk. In totaal bevat een waterstofbundel dan 800 liter waterstof (17 kilo).

Effecten

In Tabel 6.4 zijn de effectafstanden gegeven van het falen van één waterstofgasfles in een bundel die buiten staat opgesteld. Details van de berekeningen staan in bijlage 2. Instantaan falen leidt tot een explosie van de gasfles met een vuurbal en brokstukken, zie Figuur 6.1. Breuk van de losslang leidt bij directe ontsteking tot een fakkel en bij vertraagde ontsteking tot een wolkrank, zie Figuur 6.2. In de open lucht is een explosie met overdrukeffecten niet te verwachten.⁴⁷

Tabel 6.4 Effectafstanden (m) voor het falen van een waterstofgasfles in een bundel die buiten staat opgesteld.

Effect	Effectafstand
Explosie	
Overdruk	
0,3 bar	6
0,1 bar	14
0,03 bar	19
<i>Als alle gasflessen in de bundel een voor een zouden exploderen, blijven de effectafstanden voor overdruk en vuurbal gelijk. Instantaan falen van de gehele bundel wordt niet aannemelijk geacht.⁴⁸</i>	
Vuurbal	
Diameter	5
Fakkel	
Lengte	4,5
35 kW/m ²	8
10 kW/m ²	10
3 kW/m ²	12
<i>Als één gasfles in de bundel faalt, zal de inhoud van de overige gasflessen leeglopen door een opening van 5 mm.</i>	
Wolkrank	
Effecten zijn afhankelijk van de hoeveelheid en de verspreiding van waterstofgas in de omgeving. De wolkrank duurt kort; binnen de wolkrank is direct vlamcontact mogelijk en kunnen mensen (dodelijk) gewond raken. Buiten de wolkrank zijn geen effecten te verwachten. Vergeleken met een wolkrank veroorzaakt door de inhoud van één gasfles zal de wolkrank bij een bundel groter zijn, maar in de open lucht niet leiden tot overdrukeffecten.	

⁴⁷ NIPV (2023). [Waterstofincidenten in besloten ruimtes](#).

⁴⁸ RIVM (2008). [Modelleringsgasflessen uit Handleiding Risicoberekeningen BEVI concept versie 1.4](#).

Let op: de berekende effectafstand van de waterstoffakkelt voor een warmtestraling van 10 kW/m² is kleiner dan de 15 meter die PGS 15 hiervoor geeft in maatregel M91. De afstand in PGS 15 geldt voor alle brandbare gassen en is niet specifiek voor waterstof. Zie ook paragraaf 6.4.2.

Domino-effecten naar nabijgelegen waterstofbundels zijn niet te verwachten. Een fakkel bij een waterstofbundel duurt minder dan 6 minuten en dat is te kort om een andere bundel op te warmen tot het punt dat deze zal falen. Wel kunnen secundaire branden ontstaan bij nabijgelegen bouwwerken. Ook het exploderen van een waterstofgasfles zal niet leiden tot het exploderen van andere cilinders in hetzelfde pakket of in een nabijgelegen pakket.⁴⁸

Kansen

Tabel 6.5 geeft de faalkansen van een waterstofgasfles in een bundel met N gasflessen. Leaks scenario's zijn niet beschouwd. De gegevens gelden voor gasflessen met een inhoud van minder dan 150 liter. Hoe groot de kans op ontsteking is, is op voorhand niet te zeggen. Zie Bijlage 2 voor details.

Tabel 6.5 Faalkansen van een waterstofgasfles in een bundel die buiten staat opgesteld.

Scenario	Faalkans
Waterstofgasfles	
Instantaan falen gasfles	$N \times 5 \times 10^{-7}$ per jaar
Verladen	
Breuk van losslang	4×10^{-6} per uur

6.3.3. Batterijwag en, tubetrailer

Bij een batterijwag en zijn de drukhouders (cilinders) relatief klein en worden staand of liggend vervoerd. Bij een tubetrailer zijn de drukhouders (tubes) langer en worden liggend vervoerd. Zowel voor batterijwagens als voor tubetrailers geldt dat de drukhouders in een container vervoerd kunnen worden. De lengte en breedte van tubes en cilinders verschillen en daarmee ook de inhoud van deze drukhouders (zie ook de overzichten in Bijlage 1).

Op een batterijwag en op een tubetrailer zijn de drukhouders aan elkaar gekoppeld. Als er een lek is in een leiding of in een drukhouder, komt de inhoud van alle drukhouders vrij. Voor de uitwerking van de effecten wordt in deze Handreiking uitgegaan van een batterijwag en c.q. tubetrailer die buiten opgesteld staat en waarbij de cilinders niet in een container staan. De batterijwag en of tubetrailer bevat 9 drukhouders van 200 bar en een inhoud van 1.650 l. Elke drukhouder bevat dan 24,7 kg waterstof en de batterijwag en of tubetrailer in totaal 222 kg waterstof.

Effecten

In Tabel 6.6 zijn de effectafstanden gegeven van het falen van één drukhouder in een batterijwag en of tubetrailer. Details van de berekeningen staan in bijlage 2. Instantaan falen leidt tot een explosie van de drukhouder met een vuurbal en brokstukken, zie Figuur 6.1. Breuk van de losslang leidt bij directe ontsteking tot een fakkel en bij vertraagde ontsteking tot een volkbrand, zie Figuur 6.2. In de open lucht is een explosie met overdruk-effecten niet te verwachten.⁴⁷

Tabel 6.6 Effectafstanden (m) voor een drukhouder met een inhoud van 1650 liter.

Druk cilinder				
	200 bar	300 bar	350 bar	500 bar
Explosie				
Overdruk				
0,3 bar	23	26	28	31
0,1 bar	40	46	49	55
0,03 bar	103	118	125	140
Vuurbal				
Diameter	17	19	20	22
De vuurbal duurt 1 à 2 seconden, te kort om dodelijke slachtoffers te verwachten. Gewonden en secundaire branden zijn wel mogelijk.				
Fakkel				
Lengte	9	11	12	13
35 kW/m ²	10	12	13	15
10 kW/m ²	12	14	15	17
3 kW/m ²	14	17	18	21
Als één tube in trailer of één cilinder in een batterijwagen faalt, zal de inhoud van de overige drukhouders leeglopen door een opening van 7 mm.				
Wolkbrand				
Effecten zijn afhankelijk van de verspreiding van waterstofgas in de omgeving. De wolkbrand duurt kort; 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.				

Kansen

Tabel 6.7 geeft de faalkansen van een tankauto met een reservoir onder druk en van dezelfde tankauto tijdens verlading met een loslang. Lekscenario's zijn niet beschouwd. Hoe groot de kans op (directe) ontsteking is, is op voorhand niet te zeggen. Zie Bijlage 2 voor details.

Tabel 6.7 Faalkansen van een drukhouder met een inhoud van 1650 liter.

Scenario	Faalkans
Tankauto met een reservoir onder druk	
Instantaan falen reservoir	5 x 10 ⁻⁷ per jaar
Verlading	
Breuk van loslang	4 x 10 ⁻⁶ per uur

6.4. Risicobeheersing en maatregelen

Over het algemeen zijn er twee soorten maatregelen:

- Kansbeperkende maatregelen: deze maatregelen voorkomen of verkleinen de mogelijkheid dat waterstof vrijkomt. Tabel 6.8 geeft mogelijke bronmaatregelen voor transport, opslag en gebruik van drukhouders en het waterstofaggregaat.
- 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 deze geborgd kunnen worden. Dit kan bijvoorbeeld door het uitvoeren van een risicoanalyse waarbij de veiligheidsregio om advies gevraagd kan worden.

6.4.1. Kansbeperkende maatregelen

In Tabel 6.8 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 6.8 Kansbeperkende maatregelen voor drukhouders 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	Veilig ontwerp	Veilig ontwerp
Fouten bij bouw	Deskundige chauffeur	Deskundige chauffeur	Deskundige installateur
Fouten bij onderhoud	Deskundig personeel	Deskundig personeel	Deskundig personeel

Afstand houden

De beschrijving van deze maatregel staat beschreven in paragraaf 6.4.2 vanwege de samenhang met effectbeperkende maatregelen.

Snelheid begrenzen

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

Aanrijdbeveiliging

Om te voorkomen dat een waterstofaggregaat, drukhouders 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 aggregaat buiten de reikwijdte van (mobiele) kranen en andere hijswerktuigen te plaatsen.

Terrein bewaken

Voorkomen moet worden dat onbevoegden bij de waterstofaggregaat en de drukhouders 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). Bij het ontwerp kan rekening worden gehouden met maatregelen als het beperken van het aantal aansluitingen, het beperken van leidinglengtes en het monitoren van procesparameters. Als procesparameters te veel afwijken, moet het systeem automatisch stoppen en naar een veilige modus gaan.

Ook de waterstofopslagen (bundel, tubetrailer en batterijsysteem) moeten ontworpen zijn volgens de daarvoor geldende normen en richtlijnen. Bij het ontwerp kan rekening worden gehouden met aspecten als potentiaalvereffening en het toepassen van het juiste type (schroef)koppelingen per drukniveau.

Deskundig personeel en regelmatig onderhoud

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

6.4.2. Effectbeperkende maatregelen

In Tabel 6.9 staan voorbeelden van effectbeperkende maatregelen. Per situatie moet nagegaan worden welke effectbeperkende maatregelen nodig of gewenst zijn.

Tabel 6.9 Effectbeperkende maatregelen voor drukhouders 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 Routing	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 containers als een waterstofaggregaat en/of drukhouders met waterstof daarin staan opgesteld.

Bij het ontwerp van waterstofbundels, tubetrailers en batterijwagens moet rekening worden gehouden met het onverhoopt uitstromen van waterstof, vooral tijdens verladen. Het toepassen van wegrijdbeveiligingen en noodstoppen zijn voorbeelden van maatregelen die verdere uitstroom beperken.

Open lucht en ventilatie

Ophoping van waterstof kan grotendeels voorkomen worden als een waterstofaggregaat en drukhouders in de open lucht worden opgesteld. Als deze zich toch in een container bevinden, 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 en de drukhouders aan te wijzen als ATEX-zone. Hoe groot die zone is, moet per situatie worden bepaald.

De omvang van een ATEX-zone wordt onder andere 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 - Gasflessen

Bal

Het Bal geeft aan dat een afstand van 15 m moet worden aangehouden tussen enerzijds een opslagplaats in de open lucht waar meer dan 1.000 liter brandbare gassen van ADR-klasse 2 in gasflessen zijn opgeslagen, en anderzijds de terreingrens (art. 4.1008). Deze afstand geldt voor milieubelastende activiteiten die aangewezen zijn in paragrafen 3.3 – 3.11 van het Bal en is bedoeld om de omgeving te beschermen (zie Figuur 6.4). De afstand van 15 m mag worden verkleind naar 7,5 m als een brandwerende voorziening aanwezig is (art. 4.1011 lid 2).

In de volgende gevallen geldt de afstand van 15 m niet tot aan de terreingrens, maar tot (zeer) kwetsbare gebouwen of locaties⁴⁹:

- Het waterstofaggregaat staat niet bij een aangewezen milieubelastende activiteit als beschreven in paragraaf 3.3-3.11 van het Bal (zie Figuur 6.5) of;
- Het waterstofaggregaat staat bij een aangewezen milieubelastende activiteit en er wordt voldaan aan een voorwaarde van artikel 4.1008 lid 3 van het Bal.

Festivals en bouwterreinen vallen over het algemeen onder de eerste bullet, omdat ze niet gezien worden als milieubelastende activiteit.

PGS 15

PGS 15 geeft aan dat de afstand tussen buiten opgeslagen gasflessen tot een gebouw, een brandbaar object en de terreingrens ten minste 15 meter moet zijn (maatregel M91). Deze effectafstand is gebaseerd op een warmtestraling van 10 kW/m² en is niet van toepassing op open aangesloten gasflessen en ook niet op een werkvoorraad. Met het oog op zorgplicht, kan de afstand van 15 meter daar wel voor gebruikt worden.

Van de 15 m kan worden afgeweken als een berekening volgens NEN 6068 aantoont dat de afstand tot een warmtestraling van 10 kW/m² kleiner is dan 15 m.

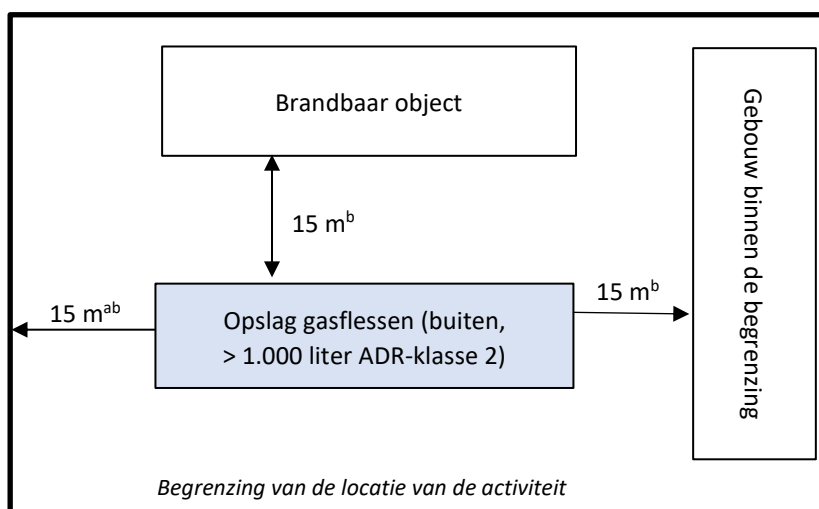
Er zijn extra maatregelen nodig als de afstand korter is dan 15 m of korter is dan de berekende afstand.

Met maatwerk kan het bevoegd gezag een grotere afstand vaststellen als hier specifieke redenen voor zijn. Mocht PGS 15 niet van toepassing zijn, dan kan worden aangesloten bij NPR 8090, die aangeeft dat de minimale afstand tussen een waterstofaggregaat en de waterstofopslag 1 meter is.⁵⁰

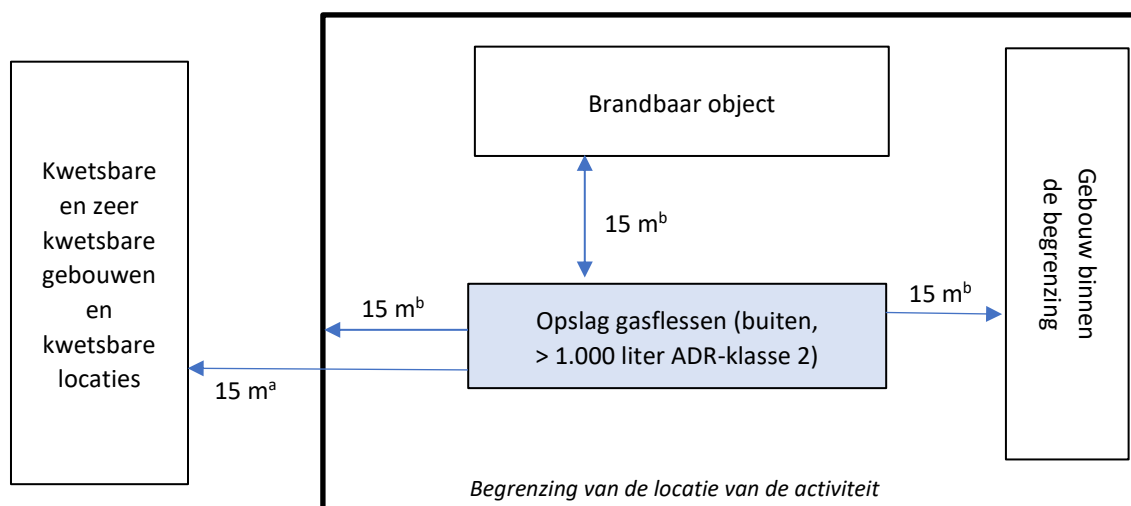
⁴⁹ Nota van Toelichting Bal (paragraaf 4.8.2): 'Het aanhouden van de interne afstanden (bronmaatregel) gaat voor de naleving van de plicht om de afstand aan te houden tot de begrenzing van de locatie. [...] Als niet aan de afstanden tot de begrenzing van de locatie kan worden voldaan, dan moeten in ieder geval de afstanden tot beperkt kwetsbare, kwetsbare en zeer kwetsbare gebouwen en beperkt kwetsbare en kwetsbare locaties in acht worden genomen'.

⁵⁰ NPR 8090:2013 (Waterstofbrandstofcelaggregaten). In deze praktijkrichtlijn gaat men uit van levering van waterstof via gasflessen.

Let op: De afstand van 15 m in zowel PGS 15 als in het Bal geldt voor gasflessen met brandbare gassen en is niet specifiek voor waterstof. Deze afstand is groter dan de berekende effectafstand van 10 m voor een gasfles met waterstof (zie Tabel 6.4). Voor gasflessen met waterstof zijn het Bal en PGS 15 echter leidend.



Figuur 6.4 Aan te houden interne afstanden volgens Bal en PGS 15 voor opslag gasflessen bij aangewezen milieubelastende activiteiten.



^a Afstand volgens Bal.

^b Afstand volgens PGS 15.

Figuur 6.5 Aan te houden interne afstanden volgens Bal en PGS 15 voor opslag gasflessen bij activiteiten die niet zijn aangewezen als milieubelastend, bijvoorbeeld evenementen en bouwplaatsen.

Voorbeeld

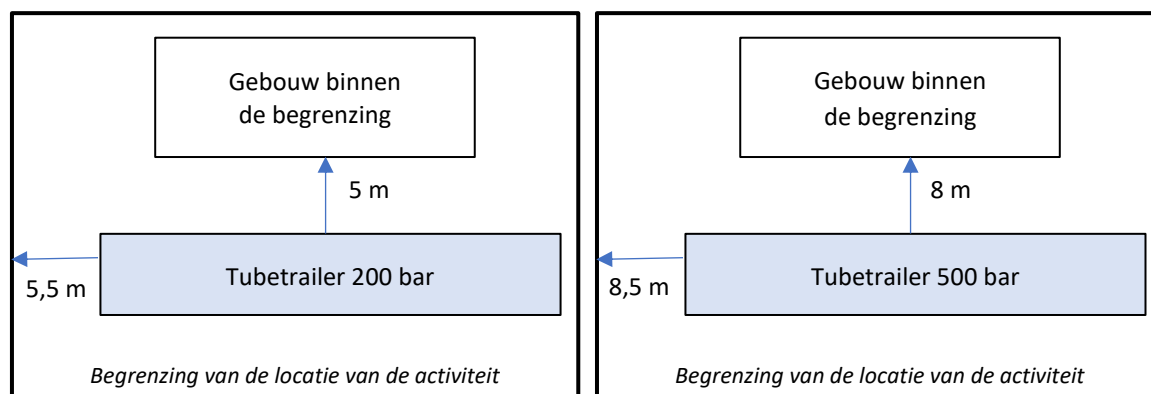
Bij een bouwplaats is men voornemens gebruik te maken van een waterstofaggregaat om zware apparatuur van stroom te voorzien. Het aggregaat krijgt waterstof aangeleverd via een aansluiting op een waterstofbundel. Diverse waterstofbundels zullen aanwezig zijn op de bouwplaats. De afstand van de opslaglocatie tot de terreingrens is 11 meter.

Deze situatie is alleen toegestaan als een brandwerende muur of een gelijkwaardige maatregel wordt toegepast, of als met een berekening kan worden aangetoond dat de warmtestraling van 10 kW/m² niet verder reikt dan 11 meter.

Afstand houden - Tubetrailer en batterijwagens

Omdat opslag van waterstof in drukhouders niet gezien wordt als een milieubelastende activiteit (zie paragraaf 3.3.2), staan er in het Bal geen aan te houden veiligheidsafstanden.

Een alternatief is PGS 35 dat betrekking heeft op waterstoftankstations.⁴⁰ PGS 35 geeft interne veiligheidsafstanden voor onder meer tubetrailers die zijn gebaseerd op de effecten van een fakkelbrand die ontstaat als een slang tijdens verladen faalt. Het criterium voor de afstanden tussen een tubetrailer en de terreingrens is een warmtestraling van 3 kW/m^2 , terwijl dat voor de afstanden tussen een tubetrailer en gebouwen 10 kW/m^2 is. Zie Figuur 6.6 voor deze afstanden.



Figuur 6.6 Aan te houden interne afstanden voor opslag tubetrailer volgens PGS 35.

Let op: De effectafstanden in PGS 35 zijn specifiek voor waterstof en zijn berekend voor het scenario slangbreuk. Voor de uitstroombopening is de diameter van de afsluiter van de tubetrailer genomen (3 mm), terwijl een diameter van 7 mm realistischer is (zie bijlage 2). Met EFFECTS zijn dan ook grotere effectafstanden berekend (zie Tabel 6.6).

Tabel 6.10 Effectafstanden (10 kW/m^2) voor slangbreuk bij verlading van een tubetrailer.

Druk tubetrailer	PGS 35 3 mm opening	EFFECTS 7 mm opening
200 bar	5	12
300 bar	Niet berekend	14
350 bar	Niet berekend	15
500 bar	8	17

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 alarmeringssystemen, kan de toevoer van waterstof handmatig of automatisch worden stopgezet.

Routing

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

Terreinindeling

Bij het plaatsen van een waterstofaggregaat en bijbehorende drukhouders moet rekening worden gehouden met verschillende aspecten die van belang zijn voor de keuze van de locatie, 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.⁵¹
- Voldoende ruimte voor het wisselen van de drukhouders.
- Ontoegankelijkheid voor onbevoegden.
- Geschikte onbrandbare ondergrond voor een stabiele opstelling.

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

Hoeveelheid waterstof

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'.⁵²

6.5. Incidentbeschrijving en maatregelen

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

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

- aandachtskart waterstof algemeen⁵³
- aandachtskart waterstof wegtransport⁵⁴

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 veiligheidsregio's beschikken erover.

⁵¹ Hiervoor kan gebruik gemaakt worden van de [Handreiking Bluswatervoorziening en Bereikbaarheid 2019](#).

⁵² Vaughn, B.K. en Klein, J.A. (2012). [What you don't manage will leak: A tribute to Trevor Kletz](#). Process Safety and Environmental Protection 90 (2 0 1 2) 411–418.

⁵³ <https://nipv.nl/wp-content/uploads/2022/03/20190628-BRWNL-Aandachtskaart-H2-Algemene-procedure.pdf>

⁵⁴ <https://nipv.nl/wp-content/uploads/2022/03/20190628-BRWNL-Aandachtskaart-H2-Wegtransport.pdf>

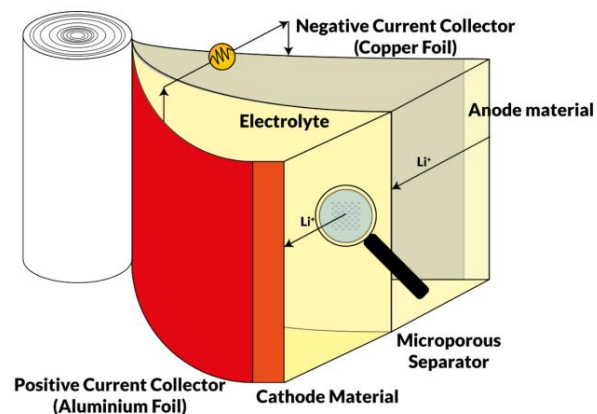
7. Beperken van gevaren – Batterij

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).⁵⁵

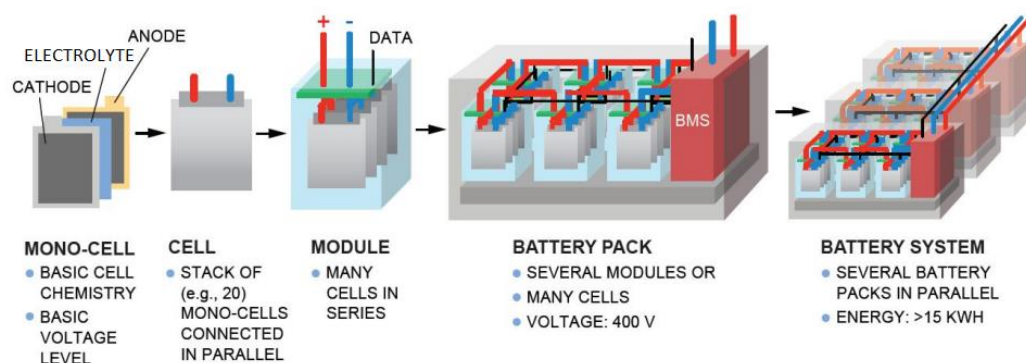
7.2. Beschrijving van Li-ion batterijsystemen

De basiseenheid van een Li-ion batterij wordt gevormd door de batterijcel. Er zijn drie verschillende vormen batterijcellen: cilindrische, pouch en prismatische cellen. Figuur 7.1 geeft de structuur weer van een cilindrische batterijcel.⁵⁶ Elke cel bestaat uit twee elektroden, de anode en de kathode. Tussen de elektroden zit een ionengeleidend elektrolyt die 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).



Source: Alexander Otto, Fraunhofer Institute for Electronic Nano Systems ENAS, presentation of May 30, 2012, "Battery Management Network for Fully Electrical Vehicles Featuring Smart Systems at Cell and Pack Level."

Figuur 7.2 Opbouw van lithium-ion energieopslagsysteem.

⁵⁵ <https://publicatiereeksgevaarlijkestoffen.nl/publicaties/pgs37-1/>.

⁵⁶ Research Institute of Sweden (RISE, 2019). [Fire Safety of Lithium-Ion Batteries in Road Vehicles](#). RISE Report 2019:50.

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.

7.3. Gevaren van een Li-ion batterijsysteem

Bij incidenten met batterijpakketten staan ontleding van de 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.

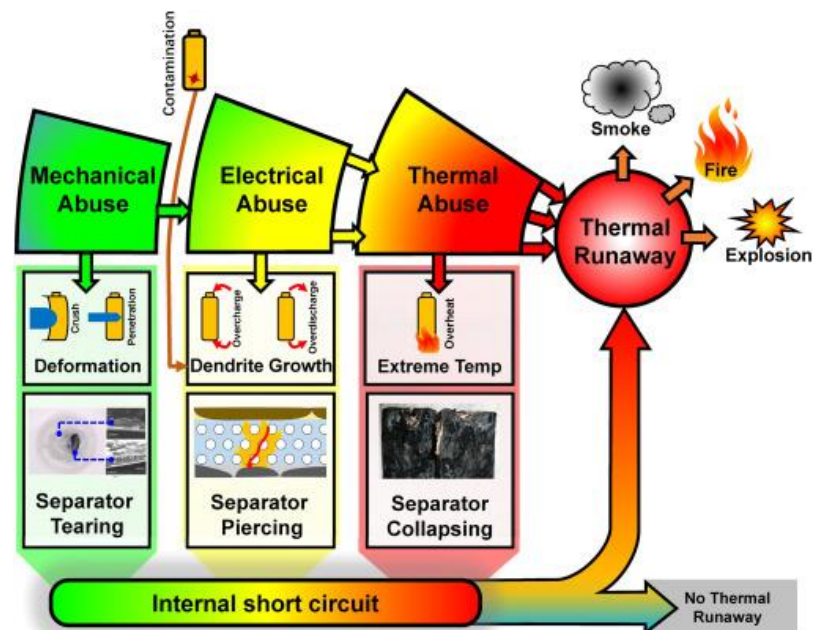
Ontleding van de elektrolyt

Ontleding van de 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 reactie⁵⁷ 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 openbreken, waarbij de gevormde gassen vrijkomen.⁵⁸ 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 van problemen met elektrische verbindingen tussen batterijmodules of -pakketten. Ook externe hittebronnen kunnen oververhitting veroorzaken.⁵⁹ De verschillende oorzaken van een thermal runaway zijn samengevat in Figuur 7.3.

Defect in de separator

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



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

⁵⁷ Dit is een reactie waarbij warmte ontstaat.

⁵⁸ Wang, et al. (2019). [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.

⁵⁹ Brandweer Nederland (2020). [Handreiking Elektriciteit Opslag Systemen \(EOS > 20 kWh Li-Ion\)](#).

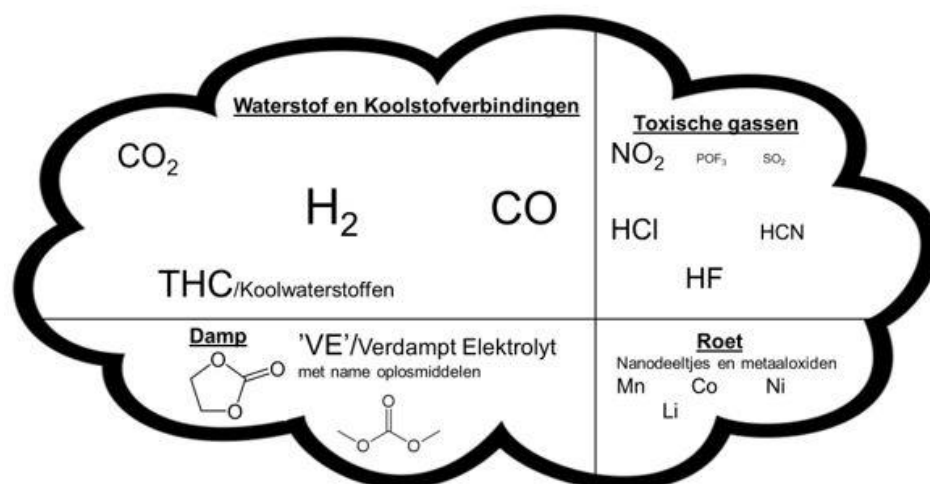
constructiefouten kunnen tot defecten in de separator leiden, evenals fysieke beschadigingen als gevolg van bijvoorbeeld ruw gebruik van batterijen of van batterijsystemen.

7.4. Effecten

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

- het vrijkomen van toxische en ontvlambare gassen;
- brand in het batterijpakket en branduitbreiding naar naburige pakketten en/of de 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 hoeveelheid en samenstelling van het gevormde gas, aangezien er weinig experimentele gegevens zijn. De gerapporteerde hoeveelheden van totaal gevormd gas variëren van 300 tot ca. 6.000 liter/kWh.⁶⁰ 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, wat 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 een 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.⁶¹
- Voor toxisch gas wordt per kWh 55 liter toxisch fluorwaterstof (HF) gevormd.⁶²

⁶⁰ Christensen, P. (2022). Bijdrage door professor Paul Christensen, Newcastle University op het [EU Energy Storage Systems Safety Conference](#), georganiseerd door NIPV, aangevuld met telefonisch contact.

⁶¹ Berekend op basis van Figuur 6 (LCO/NMC) in: Golubkov, A.W. et al. 2014. [Thermal-runaway experiments on consumer Li-ion batteries with metal-oxide and olivin-type cathodes](#). RSC Advances, issue 7.

⁶² Larsson, F. et al. 2017. [Toxic fluoride gas emissions from lithium-ion battery fires](#). Sci Rep 7, 10018.

Dampwolkeexplosie of wolkbrand

Soms kan het voorkomen dat de vrijkomende gassen niet direct ontstoken worden tijdens een thermal runaway. Bij vertraagde ontsteking kan dan een dampwolkeexplosie 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 m³ 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 thermal runaway van een 100 kWh batterijpakket in een container komt per kWh 55 liter HF vrij. Dit leidt tot de effectafstanden in Tabel 7.1. Zie voor details van de berekeningen Bijlage 3.

Tabel 7.1 Effectafstanden voor thermal runaway van een batterijpakket in een container in verstedelijkt gebied.

	D5	F1.5
1% letaliteit	-	12
LBW (10 min)	-	8
AGW (10 min)	-	25
VRW (10 min)	125	800

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 opvlammen. 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].⁶³ 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 gebruikmaken. 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 inbrandbare EOS'en om brandoverslag te voorkomen. Deze maatregel kan ook worden toegepast bij een container waar een waterstof-aggregaat naast een EOS staat.

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

⁶³ Voor maatregelen bij EOS'en met een vermogen van minder dan 20 kWh wordt verwezen naar [Veiligheidsprincipes kleinschalige EOS'en \(<20 kWh\)](#) (NIPV, 2021).

Om brand en thermal runaway van batterijsystemen te voorkomen, zijn bouwkundige, installatie-technische 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 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)*.⁵⁹

Bijlage 1. Vormen van waterstofopslag

Er bestaat een grote diversiteit in de manier waarop waterstof wordt opgeslagen. Zo verschillen de inhoud en de druk van drukhouders, het materiaal waar drukhouders van zijn gemaakt en de samenstelling van drukhouders in bundels en batterijen. Tabellen A-C geven een overzicht van veel voorkomende drukhouders en de manier waarop zij vervoerd worden en aanwezig zijn op locaties.⁶⁴

Tabel A Veel voorkomende drukhouders voor waterstof. Bron: [UAC](#).

Druk (bar)	Inhoud	
	liter	kg
200	1.650	24
	1.700	25
	1.925	28
250	1.650	30
	1.700	31
	1.925	36
300	1.650	35
	1.700	37
	1.925	41
350	1.650	40
	1.700	41
	1.925	46

Tabel B Veel voorkomende opslagsystemen voor waterstofbundels en tubetrailers. Bron: Ohpen.⁶⁵

	Waterstofbundel				Tubetrailers			
	200 bar		300 bar		200 bar			
Aantal cilinders	12	16	12	16	9	18	9	18
Inhoud totaal (l)	600	800	600	800	10.350	20.700	20.970	41.940
Inhoud totaal (kg)	8,8	11,7	12,4	16,5	151	302	306	612

Tabel C Veel voorkomende opslagsystemen voor batterijsystemen. Bron: Ohpen⁶⁵ en M-Tech.⁶⁶

	Batterijwagen					
	200 bar			300 bar	500 bar	
Aantal cilinders	9	295	228	18	224	105
Inhoud 1 cilinder (l)	1.650	85	165	1.700	165	350
Inhoud totaal (l)	14.850	25.075	37.620	30.600	36.960	36.750
Inhoud totaal (kg)	222	375	563	649	1.177	1.170

⁶⁴ Systemen met 500 bar cilinders zijn in deze overzichten niet meegenomen.

⁶⁵ Ohpen (2024). [Algemeen Handboek - Voor veilige waterstof-aangedreven bouwplaatsen](#).

⁶⁶ M-Tech (2020). [Eindrappport - Inhuur van diensten i.v.m. domein externe veiligheid waterstoftankstations](#).

Tabel D Aantallen cilinders en hoeveelheden waterstof in diverse ISO-containers. Bron: : [UAC](#).

	20" Hook MEGC Standard	20" ISO Standard	20" ISO High Cube	40" ISO Standard	40" ISO High Cube	45" ISO Standard	45" ISO High Cube
Aantal cilinders	9	9	11	18	22	18	20
Inhoud 1 cilinder (l)	1.650	1.650	1.650	1.700	1.700	1.925	1.925
Inhoud totaal (l)	14.850	14.850	14.850	30.600	36.400	34.650	42.350
Inhoud totaal (kg)							
200 bar	222	222	271	457	558	517	632
250 bar	269	269	329	555	678	628	768
300 bar	314	314	383	647	791	732	895
350 bar	356	356	435	734	897	831	1.016

Bijlage 2. Details berekeningen drukhouders waterstof

Details Tabel 6.4 Effectafstanden (m) voor het falen van een waterstofgasfles in een bundel die buiten staat opgesteld.

Algemeen

Voor het modelleren van de effectafstanden van een losse waterstofcilinder en van een waterstofbundel is gekeken naar wat hierover in de *Handleiding Risicoberekeningen Bevi* (HRB) staat⁶⁷ en in een RIVM-memo over het modelleren van gasflessen.⁴⁸ Gebleken is dat de *Handleiding* wel gasflessen met toxische stoffen beschouwt, maar niet gasflessen met ontvlambare gassen. De rekenmethode is voor beide echter gelijk.⁴⁸

Explosie

De RIVM-memo is geschreven voor ontvlambare en toxische gassen. Hoewel het exploderen van een gasfles 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’*. Ook PGS 35 neemt het instantaan falen van een drukhouder niet mee, omdat de kans op dit scenario te klein wordt geacht (kleiner dan 1×10^{-5} per jaar).⁴¹ In deze handreiking is dit scenario wel meegenomen om volledig te zijn en om inzicht te geven in de diverse effecten.

Fakkelbrand

Een breuk van de losslang geeft een fakkelbrand, doordat de inhoud van de bundel leegloopt. Het exploderen van een gasfles leidt er ook toe dat de inhoud van de resterende gasflessen in de bundel leegstroomt en een fakkelbrand geeft. Volgens de RIVM-memo gebeurt dit door een opening van 5 mm, maar deze grootte wordt niet onderbouwd.⁴⁸ Desalniettemin sluit deze handreiking voor het modelleren van de fakkelbrand aan bij deze grootte van de uitstroomopening.

Voor de fakkel is in EFFECTS het model *‘Release from vessel through (a hole in) a pipe’* gebruikt. Dit model gaat uit van een gat gebruikt in een leiding dat verbonden is met een vat. In een waterstofbundel staan alle flessen met behulp van leidingen in verbinding met elkaar en zal uitstroom veelal plaatsvinden bij het centrale aansluitpunt, bijvoorbeeld als een losslang van het aansluitpunt wordt gerukt. Aangenomen wordt dat de afstand van het aansluitpunt tot de opening in de gasflessen gemiddeld 1 m is. Zie ook Figuur A op de volgende bladzijde.

Wolkbrand

Aangenomen wordt dat waterstofgasflessen 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; dit gaat zonder overdrukeffecten gepaard. Een explosie bij het ontsteken van de wolk 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.

Tabel D Details effectberekeningen van het falen van een waterstofgasfles in een bundel.

Effect	Opmerkingen
Explosie	- Berekend met EFFECTS, versie 12.3.0. Gekozen parameters: - Model <i>‘Gas Fireball’</i>, submodel <i>‘Include vessel rupture overpressure effects’</i>; - Druk 300 bar, inhoud 50 liter, temperatuur 15 °C, weertype D5.

⁶⁷ Hoewel een locatie waar een waterstofaggregaat staat geen Bevi-inrichting zal zijn, bevat de HRB wel bruikbare informatie.

Effect	Opmerkingen
Vuurbal	▪ Berekend met EFFECTS, versie 12.3.0. Gekozen parameters: - Model 'Gas Fireball', submodel 'Include vessel rupture overpressure effects'; - Druk 300 bar, inhoud 50 liter, temperatuur 15 °C, weertype D5.
Fakkel	▪ Berekend met EFFECTS, versie 12.3.0. Gekozen parameters: - Scenario 'Release from vessel through (a hole in) a pipe'; - Druk 300 bar, inhoud 800 liter (16 × 50 liter), temperatuur 15 °C, weertype D5; - Slanglengte 1 m; - Leidingbreuk: diameter leiding en diameter gat 5 mm; - Type opening 'round edges'.



Figuur A – De leidingen tussen de gasflessen en het centrale aansluitpunt. Foto: NIPV.

Details Tabel 6.5 Faalkansen van een waterstofgasfles in een bundel die buiten staat opgesteld

Algemeen

Het uitgangspunt bij de scenario's instantaan falen en lek is dat één waterstofcilinder – al dan niet in een bundel – faalt. Voor de faalkansen van waterstofcilinders is aangesloten bij het Rekenvoorschrift Omgevingsveiligheid Module II⁶⁸ en de RIVM-memo.^{48, 69} De faalkansen zijn onafhankelijk van de plaats waar de cilinder of de bundel zich bevindt.

Explosie

De kans dat één cilinder met een inhoud van minder dan 150 liter instantaan faalt, is 5×10^{-7} per jaar. Voor een cilinderpakket met N cilinders moet deze kans vermenigvuldigd worden met N.

⁶⁸ RIVM (2020). Hoofdstuk 5 van het [Rekenvoorschrift Omgevingsveiligheid Module II](#).

⁶⁹ De RIVM-memo heeft geen betrekking op verlading, alleen op opslag.

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 handreiking buiten beschouwing gelaten.

Fakkelbrand

Voor de kans dat de losslang breekt, is aangesloten bij de RIVM-memo.

Ontsteking

Er bestaat onzekerheid over de kans op directe ontsteking. De RIVM-memo over de modellering van gasflessen geeft aan dat de kans op directe ontsteking voor 'reactieve' gassen' 0,2 bedraagt. Voor waterstof is dit aan de lage kant, gezien de lage ontstekingsenergie en het brede ontvlambaarheidsgebied van waterstof. De kans dat waterstof überhaupt ontsteekt (direct of vertraagd) hoeft overigens niet 1 te zijn, hoewel dat voor *risicoberekeningen* wel gebruikelijk is.

Details Tabel 6.6 Effectafstanden (m) voor een drukhouder met een inhoud van 1650 liter Explosie

De RIVM-memo over gasflessen stelt dat instantaan falen van een geheel cilinderpakket niet aanneemelijk is. Voor een systeem als een tubetrailer of een batterijwagen zal dat dan ook niet het geval zijn. PGS 35 neemt het instantaan falen van een drukhouder niet mee, omdat de kans op dit scenario te klein wordt geacht (kleiner dan 1×10^{-5} per jaar).⁴¹ In deze handreiking is het instantaan falen van een drukhouder wel meegenomen om volledig te zijn en om inzicht te geven in de diverse effecten.

Fakkelbrand

Zowel het falen van de losslang als het exploderen van een tube of cilinder leidt tot uitstroom van de inhoud van alle drukhouders door een opening. In deze handreiking is uitgegaan van een opening met een diameter van 7 mm. In het kader wordt dit toegelicht.

PGS 35 gaat uit van een lek in de losslang en hanteert een gatgrootte van 3 mm, omdat de uitstroming bepaald wordt door de diameter van de afsluiter van de tubetrailer.⁷⁰ Deze grootte lijkt aan de kleine kant te zijn en wordt door de auteurs in twijfel getrokken. Navraag en zoeken levert de volgende inzichten op:

- Het RIVM geeft aan dat een diameter van 8 mm realistischer is.⁷¹
- Het Scenarioboek gebruikt voor een fakkelbrand bij een tubetrailer een diameter van 6 mm.⁷²
- M-Tech hanteert voor drukhouders met een inhoud van meer dan 1.000 liter een diameter van 8 mm voor de grootste aansluiting.⁷³
- In QRA's van waterstoftankstations wordt ook uitgegaan van de grootste aansluiting en de diameter is dan 9 mm⁷⁴ of 10 mm.⁷⁵
- Navraag bij Ekinetix en Waterstofnet laat zien dat een diameter van 7 mm gebruikelijk is.⁷⁶

Voor de fakkel is in EFFECTS het model '*Release from vessel through (a hole in) a pipe*'. Dit model gaat uit van een gat in een leiding die verbonden is met een vat. In de berekeningen is aangenomen dat de afstand van de tubetrailer of batterijwagen tot de uitstroomopening 2 m is.

⁷⁰ In het achtergronddocument bij PGS 35 staat echter '*hose rupture*', dus breuk van de losslang.

⁷¹ RIVM (2025). Persoonlijke communicatie van M. Spoelstra (NIPV) per mail met de helpdesk, d.d. 22 januari 2025.

⁷² NIPV (2023). [Tubetrailer Waterstof – Fakkelbrand](#).

⁷³ Vito (2020). [Waterstoftankstation met niet-continue aanvoer via tube-trailers of batterijvoertuigen](#).

⁷⁴ Bilfinger Tebodin Netherlands B.V. (2019). Kwantitatieve Risicoanalyse (QRA) Tankstation Ede.

⁷⁵ Adviesgroep AVIV BV (2019). Risicoanalyse / H2-tankstation Breda.

⁷⁶ Ekinetix en Waterstofnet (2025). Persoonlijke communicatie van M. Spoelstra (NIPV) per mail in de periode 21-23 januari 2025.

Tabel E Details effectberekeningen voor een drukhouder (1650 l).

Effect	Opmerkingen
Explosie	- Berekend met EFFECTS, versie 12.3.0. Gekozen parameters: - Model 'Gas Fireball', submodel 'Include vessel rupture overpressure effects'; - Inhoud 1650 l, temperatuur 15 °C, hoogte tube/cilinder 1 m.
Vuurbal	- Berekend met EFFECTS, versie 12.3.0. Gekozen parameters: - Model 'Gas Fireball', submodel 'Include vessel rupture overpressure effects'; - Inhoud 1650 l, temperatuur 15 °C.
Fakkel	- Berekend met EFFECTS, versie 12.3.0. Gekozen parameters: - Scenario 'Release from vessel through hole in a vessel'; - Gatgrootte 7 mm. - Type opening 'round edges' zodat diameter gat overeenkomt met diameter slang; - Slanglengte 2 m.

Details Tabel 6.7 Faalkansen van een drukhouder met een inhoud van 1650 l

Algemeen

Voor de faalkansen voor drukhouders op tubetrailers en batterijwagens is aangesloten bij het Rekenvoorschrift Omgevingsveiligheid Module I.⁷⁷ Dit voorschrift geeft scenario's en bijbehorende faalkansen voor tankauto's met een reservoir onder druk, waaronder MEGC's. Het voorschrift geeft ook scenario's en faalkansen voor verlading.

Explosie

Voor de kans dat een drukhouder op een tubetrailer of batterijwagen instantaan faalt, is aangesloten bij het Rekenvoorschrift Omgevingsveiligheid Module I.

Fakkelbrand

Voor de kans dat de losslang breekt, is aangesloten bij het Rekenvoorschrift Omgevingsveiligheid Module I.

Als brand in de omgeving van de tubetrailer of batterijwagen mogelijk is, kunnen meerdere drukhouders tegelijk falen. Door het treffen van maatregelen, kan dit voorkomen worden. Deze additionele faalkans is in deze handreiking buiten beschouwing gelaten.

⁷⁷ RIVM (2024). Hoofdstuk 3 van het [Rekenvoorschrift Omgevingsveiligheid Module I](#).

Bijlage 3. Details berekeningen thermal runaway batterijpakket

De uitgangspunten van de berekeningen zijn als volgt:

- Het batterijpakket van 100 kWh staat in een container.
- Per kWh komt er 55 liter HF vrij. Dit komt overeen met 4,78 kg/uur. Dit is een conservatieve aanname, omdat meer dan de helft van de HF na 10 tot 20 minuten uit de rook is verdwenen doordat de stof zich bindt aan rookdeeltjes en aan andere stoffen.⁷⁸
- Aangenomen wordt dat bij thermal runaway HF naar buiten treedt en zich verspreidt met de wind.⁷⁹

Tabel F Details effectberekeningen thermal runaway batterijpakket.

Effect	Opmerkingen
Pluim	▪ Berekend met EFFECTS, versie 12.4. Gekozen parameters: - Model 'Dispersion', submodel 'Toxic dose'; - Semi-continue uitstroming; - Bronterm: 4,78 kg/uur; - Hoogte uitstroming: 2,29 m; - Temperatuur: 9 °C; - Weertype: D5 en F1.5 - Middelingstijd: 10 minuten.

⁷⁸ Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM, 2021). [Risico's van rook door branden van Li-ion batterijen](#).

⁷⁹ Als de gassen die vrijkomen bij thermal runaway niet door openingen naar buiten kunnen, zal de druk in de container toenemen en kan de container bezwijken.