

Handreiking voor optreden tijdens incidenten met waterstoftoepassingen



Brandweer Amsterdam-Amstelland
Sector Expertise en Regie
Karspeldreef 16
1090 AD Amsterdam

Voorwoord

Het gebruik van waterstof kent veel voordelen. Zo kan waterstof dienen als brandstof; is het een onuitputtelijke en schone brandstof en is het de weg naar een duurzame toekomst. De ontwikkelingen van waterstof zullen steeds meer leiden tot een breed gebruik ervan. Of het nu gaat om productie van waterstof, opslag, transport en gebruik ieder van deze toepassingen brengt bepaalde risico's met zich mee. Ondanks dat toepassingen op het gebied van waterstof nog volop in ontwikkeling zijn gebeuren er weinig ernstige incidenten. Meestal blijft het bij 'bijna incidenten'.

Incidenten met waterstof kunnen wel een grote omvang hebben. Ook kan een incident met waterstof-toepassingen verder gebruik ervan doen stagneren en het nemen van beslissingen op het gebied van nieuwe waterstoftoepassingen bemoeilijken. Denk hierbij aan de ramp met de Hindenburg op 6 mei 1937. Aangezien de verantwoordelijkheid voor het nemen van deze beslissingen bij verschillende partijen ligt is het belangrijk dat alle bij de incidentbestrijding betrokken partijen zich goed voorbereiden op een eventueel incident met waterstoftoepassingen.

Deze handreiking biedt veiligheidsregio's, initiatiefnemers van waterstoftoepassingen en het bestuur een handvat bij deze voorbereiding en de te nemen beslissingen, door het verschaffen van advies en informatie. De feitelijke voorbereiding (planvorming, opleiden, oefenen) en het daadwerkelijk nemen van beslissingen (toetsen en afgeven van vergunningen) dient door het bestuur en de korpsen zelf plaats te vinden.

Dit document is door Brandweer Amsterdam-Amstelland opgesteld in opdracht van SenterNovem. De inhoudelijke bijdrage is geleverd door een klankbordgroep, bestaande uit deskundigen op het gebied van waterstoftoepassingen, de Nederlandse Waterstof en Brandstofcellen Vereniging en de NVBR (Nederlandse Vereniging voor Brandweezorg en Rampenbestrijding). Daarnaast hebben nog een aantal andere deskundigen een inhoudelijke bijdrage geleverd. Deze personen willen wij bedanken voor hun inzet.

Inhoud

VOORWOORD	2
INHOUD	3
1. INLEIDING	4
1.1 ALGEMEEN	4
1.2 DOEL	4
1.3 DOELGROEPEN	4
1.4 LEESWIJZER	4
2. ACHTERGRONDINFORMATIE WATERSTOF	5
2.1 WAT IS WATERSTOF	5
2.2 FYSISCHE EIGENSCHAPPEN VAN WATERSTOF	5
2.3 CHEMISCHE EIGENSCHAPPEN VAN WATERSTOF	5
2.4 GEVAREN VAN WATERSTOF	6
2.5 BETROKKEN INSTANTIES.....	6
3. TOEPASSINGEN VAN WATERSTOF	6
3.1 PRODUCTIE VAN WATERSTOF	7
3.2 OPSLAG VAN WATERSTOF.....	8
3.3 TRANSPORT VAN WATERSTOF	8
3.4 GEBRUIK VAN WATERSTOF.....	9
4. VOORKOMEN VAN WATERSTOFINCIDENTEN	10
4.1 ALGEMEEN	10
4.2 PRO-ACTIE	10
4.3 PREVENTIE	10
4.4 PREPARATIE	11
4.5 REPRESSIE	11
4.6 NAZORG	12
5. VOORBEREIDING OP WATERSTOFINCIDENTEN	12
5.1 ALGEMEEN	12
5.2 SOORTEN LEKKAGES	12
5.3 SCENARIO'S.....	13
5.4 MINIMALE AFSTANDEN.....	13
6. OPTREDEN BIJ WATERSTOFINCIDENTEN	16
6.1 ALGEMEEN	16
6.2 ALARMEREN.....	16
6.3 BOVENWINDS BENADEREN EN OPSTELLIJN PLAATSEN	17
6.4 VERKENNEN/REDDEN	18
6.5 BESTRIJDEN.....	18
6.5 BESCHERMENDE MIDDELEN	19
6.6 BESTRIJDINGSTAKEN PER SCENARIO.....	19
6.7 TAKEN BETROKKEN ACTOREN	21
BIJLAGE 1: AFKORTINGEN	23
BIJLAGE 2: PUBLICATIES EN WEBSITES	24
2.1 PUBLICATIES	24
2.2 WEBSITES	24
BIJLAGE 3: LIJST VAN BETROKKEN DESKUNDIGEN	25
3.1 LEDEN VAN DE WERKGROEP	25
3.2 LEDEN VAN DE KLANKBORDGROEP.....	25
3.3 ANDERE DESKUNDIGEN	25
BIJLAGE 4: ALGEMENE AANDACHTSKAART H₂	26

1. Inleiding

1.1 Algemeen

De ontwikkelingen op het gebied van waterstof zullen steeds meer leiden tot een breed gebruik van waterstoftoepassingen in Nederland. Incidenten met waterstof komen niet vaak voor, maar kunnen een grote omvang hebben. Ook kunnen incidenten met waterstof de verdere ontwikkelingen en toepassingen van waterstof belemmeren. Voorbereiding op dergelijke incidenten is daarom belangrijk. Deze voorbereiding is een gedeelde verantwoordelijkheid van de overheid en initiatiefnemers en dient gericht te zijn op het voorkomen en beheersen van de effecten van een incident. Afstemming tussen de verschillende partijen is hierbij van belang. Deze handreiking kan hierbij een belangrijke rol spelen.

1.2 Doel

Het doel van deze handreiking is:

1. *Inzicht verschaffen in de effecten van incidenten met watertoepassingen.*
2. *Adviseren over de voorbereiding op incidenten met waterstoftoepassingen.*
3. *Adviseren over effectief optreden bij incidenten met waterstoftoepassingen.*
4. *Bevorderen van eenduidigheid.*
5. *Ondersteunen van het bevoegde gezag bij het nemen van beslissingen.*

Dit document richt zich op een (dreigende) ongewenste uitstroming van waterstof tijdens productie, opslag, transport en het gebruik. Dit document is niet gericht op het beschrijven van technische eisen waaraan initiatiefnemers van waterstoftoepassingen moeten voldoen.

1.3 Doelgroepen

Deze handreiking is vooral bedoeld voor medewerkers van de brandweer die een taak hebben bij de voorbereiding op, of de bestrijding van incidenten met waterstoftoepassingen. Hierbij wordt gedacht aan adviseurs proactie, preventie, preparatiemedewerkers, en medewerkers van de operationele dienst. Daarnaast richt dit document zich op initiatiefnemers van waterstoftoepassingen, vergunningverleners, de Geneeskundige Hulpverlening bij Ongevallen en Rampen (GHOR) en politieorganisaties

1.4 Leeswijzer

In dit document worden de volgende onderwerpen behandeld. Hoofdstuk 2 geeft achtergrondinformatie over waterstof. In hoofdstuk 3 worden de verschillende waterstoftoepassingen beschreven. Hoofdstuk 4 gaat in op het voorkomen van waterstofincidenten. De voorbereiding op incidenten met waterstof wordt beschreven in hoofdstuk 5 terwijl het werkelijke optreden bij waterstofincidenten wordt weergegeven in hoofdstuk 6.

Bijlage 1 geeft een verklaring van de in dit document gebruikte afkortingen. Bijlage 2 bevat verwijzingen naar publicaties en websites op het gebied van waterstoftoepassingen. In bijlage 3 is een lijst opgenomen van mensen die medewerking hebben verleend aan het totstandkomen van de inhoud van dit document.

2. Achtergrondinformatie waterstof

2.1 Wat is waterstof

Waterstof is een scheikundig element met symbool H (Hydrogenium) en atoomnummer 1. Het is het meest voorkomende element in het heelal: meer dan 90% van de atomen in het heelal zijn waterstof-atomen. Als in dit stuk wordt gesproken over waterstof, wordt niet het atoom waterstof bedoeld, maar de verbinding van twee van deze atomen: waterstofgas. Waterstofgas (H₂) is een kleurloos, geurloos en smaakloos gas. Daarnaast is het ook het lichtste gas. Waterstof kan samen met zuurstof water vormen, een verbrandingsproces waarbij veel energie vrijkomt. Ook is waterstof brandbaar bij kamertemperatuur. In tabel 2.1 wordt waterstofgas met de bijbehorende codering weergegeven.

Tabel 2.1 waterstofgas met bijbehorend UN-nummer

Gas	Formule	Categorie	UN-nummer	GEVI-nummer	CAS-nummer
Waterstof, gas-vormig	H ₂ (g)	Brandbaar	1049	23	1333-74-0
Waterstof, vloeibaar	H ₂ (l)	Brandbaar	1966	223	1333-74-0

2.2 Fysische eigenschappen van waterstof

De relevante fysische eigenschappen van waterstof zijn:

Moleculair gewicht	2,02 g
Kookpunt	-252,9 °C
Kritische temperatuur	-239,9 °C
Kritische druk	12,8 atm.
Dichtheid van het gas bij 0 °C en 1 atm. (lucht = 1)	0,089 g/l
Dichtheid van het gas bij 25 °C en 1 atm. (lucht = 1)	0,069 g/l
Dichtheid van de verzadigde vloeistof bij 23 K	67,723 g/l
Uitzettingscoëfficiënt, vloeistof -> gas (kookpunt -> 20 °C)	1 tot 848
Latente verdampingswarmte	446 kJ/kg
Ontstekingsgrenzen in lucht bij 1 atm.	4-74,5 vol%
Ontstekingsgrenzen in zuurstof bij 1 atm.	4,65-93,9 vol%
Zelfontstekingtemperatuur in lucht bij 1 atm.	570 °C
Verbrandingswarmte	120.000 kJ/kg

2.3 Chemische eigenschappen van waterstof

De relevante chemische eigenschappen van waterstof zijn:

Relatief inactief bij omgevingstemperatuur
Bij omgevingscondities, niet zichtbaar, niet ruikbaar, niet proefbaar
Reageert bij verhoogde temperatuur met de meeste andere elementen
Reduceert metaaloxiden bij een verhoogde temperatuur
Incompatibel met oxidanten, zoals lucht, zuurstof en halogenen
Reageert met fluor bij een temperatuur van 250 °C in aanwezigheid van onzuiverheden
Mengsels van chloor en waterstof exploderen als deze zijn blootgesteld aan licht
Lithium brandt in een waterstofatmosfeer

2.4 Gevaren van waterstof

De relevante gevaren van waterstof zijn:

Waterstof is een zeer licht ontvlambaar gas met ontvlambaarheidsgrenzen van 4 tot 75 vol%
Waterstof brandt praktisch onzichtbaar
Waterstof is bij omgevingscondities, niet zichtbaar, niet ruikbaar, niet proefbaar
De temperatuur in de waterstofvlam kan oplopen tot 2700 °C in een zuurstofatmosfeer
De minimale ontstekingsenergie van 0,02 mJ is erg laag
Waterstofmoleculen zijn zeer klein en kunnen vrijkomen via minuscule openingen
De diffusiecoëfficiënt in lucht is relatief groot
Vloeibare waterstof kan bij zeer snelle verdamping zorgen voor bevroeringsgevaar
Koud waterstofgas kan na verdamping alsnog op afstand ontsteken
Waterstof kan in hoge concentraties zuurstof verdringen
Waterstof kan verbrossing veroorzaken

2.5 Betrokken instanties

Initiatiefnemers

Het zijn de initiatiefnemers van waterstoftoepassingen die, naast overheidsinstanties, een belangrijke rol spelen bij het voorkomen en bestrijden van incidenten met waterstoftoepassingen. Initiatiefnemers van waterstoftoepassingen kunnen (bron)maatregelen nemen ter voorkoming van een incident of om in geval van een incident de schade te beperken. Hierbij moet onder andere gedacht worden aan maatregelen die genomen kunnen worden ten behoeve van het ontwerp, het gebruik en het onderhoud. De Nederlandse Waterstof en Brandstofcel Vereniging (NWV) heeft zich als netwerkplatform ten doel gesteld de toepassing van waterstof te versnellen door onder andere de samenwerking tussen bedrijven, ontwikkelaars, ondernemers, kennisinstellingen en wetenschappers te stimuleren. De NWV kan een belangrijke rol spelen bij het behartigen van de collectieve belangen van initiatiefnemers van waterstoftoepassingen.

Overheidsinstanties

Ook overheidsinstanties hebben een belangrijke rol bij het voorkomen en bestrijden van incidenten met waterstoftoepassingen. Zo kan de overheid bijvoorbeeld het initiatief nemen tot het opstellen van veiligheidsrichtlijnen met betrekking tot waterstoftoepassingen. Daarnaast draagt de overheid zorg voor de bescherming van personen in de directe omgeving van toepassingen met waterstof. Er zijn verschillende mogelijkheden die de overheid tot haar beschikking heeft. Hierbij kan gedacht worden aan bijvoorbeeld het voorschrijven van veiligheidsregels in vergunningen en te nemen besluiten. De brandweer kan hierin adviseren. Ook heeft de brandweer een belangrijke taak bij het optreden tijdens waterstofincidenten. De brandweer dient zich hierop voor te bereiden. Deze handreiking kan hier een belangrijke rol in spelen.

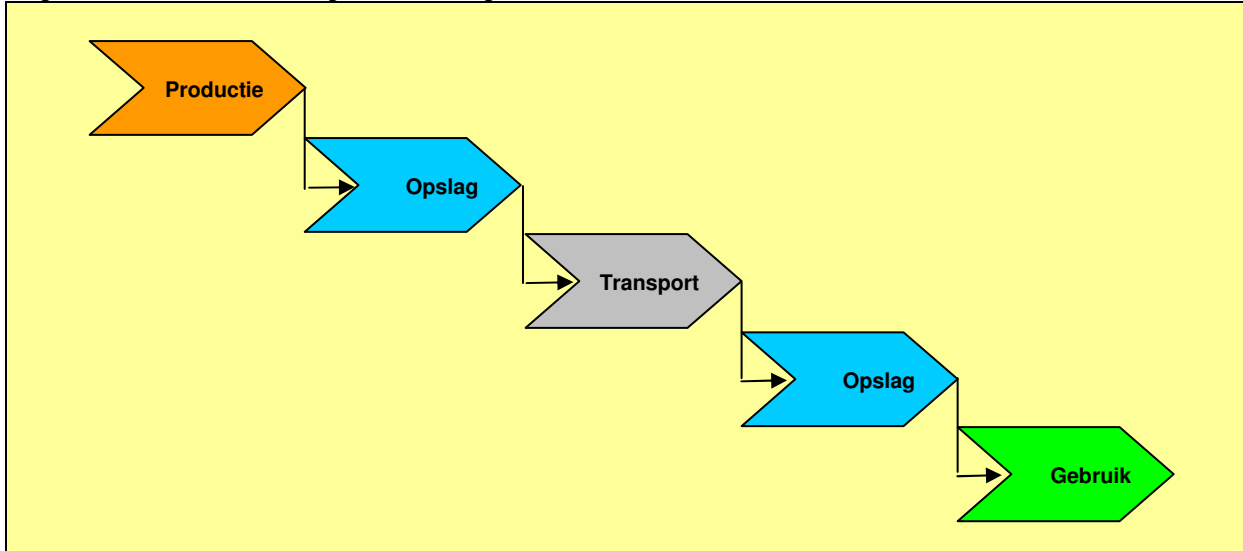
3. Toepassingen van waterstof

De ontwikkelingen van waterstof zullen steeds meer leiden tot een breed gebruik ervan. Hierbij moet onder andere gedacht worden aan de hieronder genoemde:

1. Productie van waterstof
2. Opslag van waterstof
3. Transport van waterstof
4. Gebruik van waterstof

In figuur 3 wordt de logistieke keten schematisch weergegeven.

Figuur 3: schematische weergave van de logistieke keten van waterstof



3.1 Productie van waterstof

Waterstof kan op verschillende manieren en uit verschillende energiebronnen worden geproduceerd. Hierbij moet gedacht worden aan fossiele, hernieuwbare en nucleaire energiebronnen. Een aantal technologieën zijn inmiddels uitgegroeid tot gemeengoed. Andere vergen nog heel wat onderzoek en ontwikkeling. Waterstof kan worden gevormd als bijproduct in de chemische industrie maar kan ook als hoofdproduct worden geproduceerd. De productie van waterstof kan chemisch, biologisch of fysisch geschieden.

Chemische industrie

Bij chemische productie wordt de brandbare waterstof gewonnen uit andere producten die brandbaar zijn. Sommige basisproducten zijn giftig. Bovendien is bij dit procédé sprake van hoge temperaturen en druk. Er zijn diverse grootschalige chemische processen waarbij waterstof als bijproduct wordt gevormd. De risico's van dergelijke processen zijn groter dan het risico van vorming van waterstofgas.

Elektrolyse

Bij elektrolyse wordt uit een ongevaarlijke stof waterstof gewonnen. Een gevaar hierbij is de elektriciteit die wordt gebruikt bij het scheiden van waterstof en zuurstof. Bij kleinschalige productieprocessen is dit geen groot gevaar. Een tweede gevaar is dat het gevormde product, een mengsel van waterstof en zuurstof dat ook wel knalgas wordt genoemd, zeer explosief is. Voordat beide producten van elkaar zijn gescheiden bestaat explosiegevaar bij ontsteking.

Biologische productie

De biologische productie van waterstof is het minst risicovol, omdat uit ongevaarlijke beginstoffen waterstof wordt gevormd. Bij dit proces zijn ook geen hoge temperaturen, druk of voltages noodzakelijk. Biologische productie is niet mogelijk op heel grote schaal, waardoor het niet waarschijnlijk is dat grote hoeveelheden waterstof tegelijkertijd op de productielocatie aanwezig zijn. De gevaren die zijn verbonden aan de productie van waterstof zijn afhankelijk van de productiemethode. In tabel 3.1. worden deze gevaren per productiemethode weergegeven.

Tabel 3.1: gevaren per productiemethode van waterstofgas

Productie	Methode	Gevaren
Chemische industrie	Omvorming van aardgas met behulp van stoom Stoom over verhitte koolstof Afbraak van koolwaterstoffen bij hoge temperatuur Reactie van natrium- of kaliumhydroxide met aluminium Reactie van zuren met metalen	opwarming door externe brand externe impact corrosieve en chemisch agressieve condities toxische wolk
Elektrolyse	Elektrolyse van water	explosie spanning
Biologische	Algen die onder bepaalde omstandigheden waterstof produceren	geen

3.2 Opslag van waterstof

Waterstof kan op diverse manieren worden opgeslagen. Zo kan waterstof bijvoorbeeld worden opgeslagen als gecompriemd gas onder druk (tot 700 bar) en als een tot vloeistof verdicht gas (LH₂). Ook het systeem waarin opslag van waterstof kan plaatsvinden verschilt.

Samengedrukte waterstof

De opslag van samengedrukte waterstof in een drukhouder brengt verschillende gevaren met zich mee. Zo zijn er verschijnselen die leiden tot verhoging van de druk waardoor de drukhouder kan beschadigen of bezwijken. Hierbij moet o.a. gedacht worden aan opwarming door externe brand. Een ander gevaarsaspect van opslag in een drukhouder is dat de drukhouder kan beschadigen door externe impact. Tevens kunnen corrosieve en chemisch agressieve condities leiden tot beschadiging van de omhulling. Een beschadigde omhulling kan uiteindelijk leiden tot een breuk of lek waardoor waterstof onder druk vrijkomt en er een explosieve wolk wordt gevormd.

Vloeibare waterstof

De opslag van vloeibare waterstof in een cryogene houder brengt nagenoeg dezelfde gevaren met zich mee als de opslag van samengedrukte waterstof in een drukhouder. Er zijn wel een aantal belangrijke verschillen. Zo kunnen de verschijnselen die leiden tot hoge druk in de houder verschillen. Bij de opslag van vloeibare waterstof in een cryogene houder kunnen naast opwarming door externe brand en corrosieve of chemisch agressieve condities ook warmte door zonnestrallen, warmte door voedingsstroom en het verlies van isolatie van de houder mogelijk leiden tot hoge druk waardoor de cryogene houder kan beschadigen. Een beschadigde cryogene houder kan leiden tot een breuk of een lek waardoor er een explosieve wolk gevormd kan worden.

Bij de opslag van vloeibare waterstof bestaat het gevaar op een BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion). Bij aanstraling van de vloeistof door een brand, door een schok of door plotseling drukverlies kan de vloeistof in de tankwagen gaan koken. Het gas dat daarbij wordt gevormd, kan ervoor zorgen dat de tank bezwijkt. Dit wordt een fysische explosie genoemd. Het vrijkomende product kan worden ontstoken en zorgen voor een grote vuurbal.

Waterstof in vaste vorm

Waterstof kan behalve als gas of vloeistof ook worden opgeslagen in de kristalstructuur van een metaalhydride zoals bijvoorbeeld natriumboorhydride. Hierbij is het waterstofgas opgenomen in een borax-kristal. Borax (natriumboraat of boorzure soda) is een natriumzout van boorzuur. Het brandgevaar van waterstof wordt hiermee teniet gedaan. De gevaren die verbonden zijn aan de opslag van waterstof zijn afhankelijk van de opslagmethode en het type opslagsysteem. In tabel 3.2 worden de gevaren van waterstof per opslagmethode en type opslagsysteem weergegeven.

Tabel 3.2: gevaren van waterstof per opslagmethode en opslagsysteem

Opslagmethode	Middel	Gevaar
samengedrukte waterstof	Drukhouder	opwarming door externe brand externe impact corrosieve en chemisch agressieve condities
vloeibare waterstof	Cryogene houder	opwarming door externe brand opwarming door zonnestrallen opwarming door voedingsstroom opwarming door verlies van isolatie externe impact corrosieve en chemisch agressieve condities
vloeibare waterstof	Cryogene houder	BLEVE

3.3 Transport van waterstof

Onder transport van waterstof wordt in dit stuk verstaan het bulkvervoer van waterstofgas in transporteenheden groter dan 50 liter water inhoud (waaronder ook buisleidingen). Vervoer van waterstof in het aandrijfsysteem van een voertuig dat door waterstof wordt aangedreven, wordt door de regeling Vervoer van Gevaarlijke Stoffen over Land (VLG) niet gezien als transport van een gevaarlijke stof, maar wordt in dit stuk wel meegenomen (paragraaf 3.4).

Transport van waterstof over weg, water en spoor gebeurt op dit moment vooral als samengedrukt gas (gascilinders, tanks) of als lage temperatuur vloeistof (tanks). Transport van waterstof vindt ook plaats via ondergrondse en bovengrondse buisleidingen. Tevens kan transport van waterstofgas via kleinere leidingen plaatsvinden in en tussen laboratoria.

De gevaren van het transport van waterstof over weg, water, spoor en buisleidingen zijn vergelijkbaar met de gevaren die verbonden zijn aan de opslag van samengedrukte waterstof en vloeibare waterstof. Specifieke gevaren met betrekking tot ondergrondse buisleidingen zijn beschadiging aan de leiding door 'grondroerders' (bedrijven die graafwerkzaamheden verrichten), grondverzakkingen door bijvoorbeeld bovengrondse belasting op ondergrondse buisleidingen en corrosie. Ook verschijnselen die leiden tot hoge druk zoals thermische uitzetting van de ingesloten stof en vloeistofslag zijn gevaren die kunnen leiden tot beschadigingen van de leiding. Beschadigingen kunnen leiden tot lekkage en de vorming van een explosieve wolk.

Net als bij de opslag van vloeibare waterstof bestaat ook bij het transport van vloeibare waterstof het gevaar van een BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion). Bij aanstraling van de vloeistof door een brand, door een schok of door plotseling drukverlies kan de vloeistof in de tankwagen gaan koken. De verhoogde druk die veroorzaakt wordt door het gas dat daarbij wordt gevormd, kan ervoor zorgen dat de tank bezwijkt. Dit wordt een fysische explosie genoemd. Het vrijkomende product kan worden ontstoken en zorgen voor een grote vuurbal. In tabel 3.3 worden de gevaren van het transport van waterstof per transportmethode nog eens weergegeven.

Tabel 3.3: gevaren van waterstof per transportmethode

Transportmethode	Gevaren
Transport over weg, water, spoor	opwarming door externe brand externe impact corrosieve en chemisch agressieve condities opwarming door zonnestrallen opwarming door voedingsstroom opwarming door verlies van isolatie corrosieve en chemisch agressieve condities BLEVE
Transport via buisleidingen	opwarming door externe brand thermische uitzetting van de ingesloten vloeistof vloeistofslag externe impact bovengrondse belasting op ondergrondse leiding corrosieve en chemisch agressieve condities verbrossing onder specifieke condities

3.4 Gebruik van waterstof

In de regio's Rotterdam en Delfzijl ontstaat waterstof als bijproduct in de procesindustrie. Mede gefinancierd door SenterNovem (uitvoeringsorganisatie van het ministerie van Economische Zaken op het gebied van duurzaamheid en innovatie) heeft de Nederlandse brandstofcelproducent Nedstack samen met AKZO Nobel Chemicals in 2006/2007 in Delfzijl een elektriciteitscentrale gebouwd. In eerste instantie was het vermogen van deze centrale 100 kWe met als uiteindelijk doel een PEM-powerplant van 5 MW te ontwikkelen, waar de brandstofcellen in een duurproef worden getest. De waterstof dat als brandstof dient komt vrij als bijproduct van de elektrolytische bereiding van chloor. De brandstofcellen winnen een deel van de hiervoor gebruikte elektriciteit terug.

Waterstof wordt vooral als brandstof gebruikt. Nadat het al decennia was gebruikt als raketbrandstof, wordt het tegenwoordig ook gebruikt in verbrandingsmotoren van voertuigen. Er zijn (hybride) motoren ontwikkeld die zowel fossiele brandstoffen als waterstof als energiebron kunnen gebruiken. Dit zijn de normale verbrandingsmotoren. Daarnaast worden steeds efficiëntere brandstofcellen voor waterstof ontwikkeld. Waterstofbrandstofcellen worden beschouwd als een manier om in de toekomst goedkoop en milieuvriendelijk elektrische energie te produceren. Momenteel wordt waterstof als brandstof gebruikt in hybride voertuigen, bussen, boten, scooters en karts.

De gevaren van het particuliere gebruik van waterstof zijn kleiner dan bij productie of transport. Het kleinere risico is direct verbonden aan de kleinere hoeveelheden waterstof bij het gebruik. Waar bij industriële processen vaak sprake is van grote gevolgen bij een lekkage of brand, zullen de consequenties bij particulier gebruik niet zo groot zijn. De aard van de gevaren zijn echter wel hetzelfde. In tabel 3.4 worden aan de hand van verschillende gebruiksmiddelen de gevaren van waterstof weergegeven.

Tabel 3.4: gevaren van waterstof voor verschillende gebruiksmiddelen

Gebruiksmiddel	Gevaren
Scooters	opwarming door externe brand
Personenauto's	externe impact
Motoren	corrosieve en chemisch agressieve condities
Bussen	opwarming door zonnestralen
Boten	opwarming door voedingsstroom
Scooters	opwarming door verlies van isolatie
Vliegtuigen (Boeing)	corrosieve en chemisch agressieve condities

4. Voorkomen van waterstofincidenten

4.1 Algemeen

Waterstoftoepassingen brengen een zeker risico met zich mee. Om die risico's te beperken worden (hoofdzakelijk door de initiatiefnemers) maatregelen genomen. Hierbij wordt onderscheid gemaakt in de verschillende schakels van de veiligheidsketen: pro-actie, preventie, preparatie, repressie en nazorg.

4.2 Pro-actie

Pro-actie is het structureel voorkomen van onveiligheid. Hierbij kan er onder andere aan gedacht worden om voor waterstoftoepassing aansluiting te zoeken bij het externe veiligheidsbeleid van de rijksoverheid. Dit betekent in het kort dat bij ruimtelijke besluiten en bij het verlenen van milieuvergunningen getoetst kan worden aan de normen voor externe veiligheid.

In het kader van het externe veiligheidsbeleid heeft de brandweer een adviserende rol met betrekking tot het groepsrisico. Deze rol is nader beschreven in de handreiking verantwoordingsplicht groepsrisico. Voorbeelden zijn:

- Goede ruimtelijke ordening
- Toepassen van veiligheidsafstanden (zoning).
- Inherent veilig ontwerpen.
- Veiligheid in de vergunning Wet milieubeheer (Omgevingsvergunning)

4.3 Preventie

Preventie is het beperken van kansen op ongevallen en branden, en het beperken van de gevolgen van ongevallen en branden door het doorvoeren van maatregelen. Het is dan ook van belang dat een initiatiefnemer van waterstoftoepassingen een risicoanalyse laat uitvoeren om te bepalen aan welk veiligheidsniveau de toepassing moet voldoen. Vervolgens kunnen de resultaten mee worden genomen in het ontwerp en de constructie.

De brandweer kan adviseren in het kader van de risicoanalyse. Voorbeelden van preventieve maatregelen zijn:

- Toepassen van veiligheidskleppen ter voorkoming van een explosie
- Aarden van de opslagtank
- Elektrische installaties in de nabijheid van een waterstofopslag explosie veilig uitvoeren
- Toepassen van beschermingsconstructies ter voorkoming van externe impact
- Aanbrengen van coating en kathodische bescherming ter voorkoming van corrosieve en chemisch agressieve condities
- Zorg dragen voor een onbrandbare ondergrond (beton/straatklinkers)
- Geen opslag van brandbare materialen in de directe omgeving van de waterstofopslag
- Vermijden van aanstralen door externe warmtebronnen
- Voldoende afstand tot (openingen van) gebouwen

4.4 Preparatie

Preparatie is de voorbereiding op de bestrijding van mogelijke incidenten. We maken hierbij onderscheid in preparatie door de initiatiefnemer en door de overheid. Preparatie door de initiatiefnemer bestaat voor een belangrijk deel uit het in werking hebben van een calamiteitenorganisatie. Voorbeelden hiervan zijn:

- Het hebben van personeel dat wordt opgeleid en geoefend om in geval van een incident te kunnen optreden

Preparatie door de overheid bestaat vooral uit weten waar de initiatieven met waterstoftoepassingen gelokaliseerd zijn. Hiervoor kan gebruik gemaakt worden van de informatie die bij de afdelingen milieu van het bevoegde gezag beschikbaar zijn. Verder kunnen de korpsen de inhoud van deze handreiking gebruiken voor het opstellen van aandachtskaarten die als eerste hulpmiddel gebruikt kunnen worden bij een incident met waterstof. In hoofdstuk 5 worden de relevante incidentscenario's beschreven waar men zich op zou moeten voorbereiden.

4.5 Repressie

Repressie is de daadwerkelijke bestrijding van het incident. Ook hier kan onderscheid worden gemaakt tussen de rol van de initiatiefnemer en de rol van de overheid bij de bestrijding van waterstofincidenten.

Om een incident met waterstof te kunnen bestrijden is de medewerking van de initiatiefnemer onontbeerlijk. De initiatiefnemer kent de toepassing en weet wat de mogelijkheden en onmogelijkheden zijn voor het beperken van de omvang van de uitstroom.

Alleen specialisten zijn in staat om een beschadiging te repareren. Iedere initiatiefnemer van waterstoftoepassingen zal dan ook een calamiteitenplan beschikbaar moeten hebben. In geval van een (grootschalig) incident zal nauwe samenwerking plaats moeten vinden tussen brandweer en initiatiefnemer, daar de brandweer de operationele leiding heeft over de incidentbestrijding. De specialisten van de initiatiefnemer zullen in samenspraak met de officier van dienst de bronbestrijding uitvoeren.

De inzet van overheidshulpdiensten bij (grootschalige) incidenten met waterstoftoepassingen zal vaak noodzakelijk zijn. De inzet betreft de bestrijding van en hulpverlening tijdens een waterstofincident door politie, geneeskundige hulpverlening, brandweer en overige diensten.

4.6 Nazorg

Een incident is nog niet afgesloten als het acute gevaar geweken is. Nazorg vraagt specifieke aandacht op de volgende punten. Een incident met waterstof kan een grote impact hebben. Zeker wanneer er ook slachtoffers vallen, is de kans groot dat dit op korte of lange termijn invloed heeft op het psychisch welbevinden van de betrokkenen (hulpverleners en omstanders). In de nazorgfase dient hier aandacht voor te zijn. Ook is het zeer wel denkbaar dat een incident met waterstof maatschappelijke onrust veroorzaakt. Daarom kan goede communicatie vanuit de gemeente over de afhandeling van het incident en over de voordelen en nadelen van waterstoftoepassingen belangrijk zijn. Een goede evaluatie van een incident kan ertoe bijdragen dat het optreden bij waterstofincidenten in de toekomst verbetert, doordat aandachts- en verbeterpunten door een goede evaluatie naar boven komen en breed kunnen worden gecommuniceerd. De betrokken hulpdiensten kunnen (bij voorkeur samen met de initiatiefnemer) het initiatief voor zo'n evaluatie nemen. Ook is het mogelijk dat de Onderzoeksraad voor veiligheid een onderzoek zal starten. Het verdient aanbeveling om in de preparatiefase aandacht te schenken aan de nazorg.

5. Voorbereiding op waterstofincidenten

5.1 Algemeen

Een goede voorbereiding op incidenten met waterstoftoepassingen bestaat er onder meer uit, dat bij alle hulpverleners die mogelijk betrokken kunnen worden bij de bestrijding van waterstofincidenten, bekend is welke waterstoftoepassingen in de regio plaatsvinden.

Incidenten met waterstoftoepassingen wijken niet af van een ander ongeval met gevaarlijke stoffen. Wij verwijzen hiervoor dan ook naar de bestaande OGS-literatuur en het lesmateriaal van het Nederlands Instituut voor Fysieke Veiligheid (NIFV). Zaken zoals het bovenwinds naderen van een incident en het nemen van een veilige afstand tot het incident, zijn ook bij waterstoftoepassingen van het grootste belang.

Een belangrijk aspect van een waterstofincident is dat een ontvlambaar mengsel gevormd kan worden met lucht dat, blootgesteld aan een ontstekingsbron aanleiding kan geven tot branden of deflagraties (explosieve verbranding). Hier dient rekening mee gehouden te worden bij de bestrijding van het incident.

5.2 Soorten lekkages

Incidenten bij waterstoftoepassingen worden vooral veroorzaakt door schade aan het productie-, opslag-, transport-, en of gebruiksmiddel. De manier waarop schade ontstaat, kan verschillen per waterstoftoepassing. De schade die ontstaat, is voor de verschillende waterstoftoepassingen vergelijkbaar en wordt weergegeven in tabel 5.2.

Tabel 5.2: schademechanisme waterstoftoepassingen

Schade	Omschrijving
Gat tot 5 mm	Ontstaat door corrosie en door lekkende flenzen
Gat tot 10 mm	Ontstaat door externe impact
Gat groter dan 100 mm (Instantaan falen)	Veelal het gevolg van mechanische externe impact
BLEVE	Veelal het gevolg van opwarming door brand

Met de aard van het schademechanisme en het type insluitsysteem hangt ook het verloop van de lekkage samen. Afhankelijk van de beschadiging, de inhoud en de druk van het insluitsysteem kan waterstof snel of minder snel vrijkomen.

5.3 Scenario's

Er zijn verschillende scenario's die op kunnen treden bij incidenten met waterstoftoepassingen. Bij de in deze handreiking beschreven scenario's wordt geen onderscheid gemaakt tussen productie, opslag, transport en gebruik: de grootte van het effectgebied is namelijk vooral afhankelijk van de hoeveelheid waterstof en de druk waarmee het waterstof wordt opgeslagen. Het maakt daarbij niet uit of deze mobiel of vast is. De mogelijke scenario's zijn beschreven in tabel 5.3.

Tabel 5.3 mogelijke scenario's bij waterstofincidenten

Stof	Scenario	Gevaar
waterstofgas (leiding)	<ul style="list-style-type: none"> Uitstroming uit leiding zonder ontsteking 	<ul style="list-style-type: none"> Ontsteking Hoofdpijn, sufheid, ademnood en bewusteloosheid (door zuurstofverdringing)
	<ul style="list-style-type: none"> Uitstroming uit leiding met directe ontsteking: fakkelbrand (+ vuurbal) 	<ul style="list-style-type: none"> Ontstaan van secundaire branden Brandwonden
	<ul style="list-style-type: none"> Uitstroming uit buisleiding met vertraagde ontsteking: gaswolkontbranding (+ fakkelbrand) 	<ul style="list-style-type: none"> Ontstaan van secundaire branden Mogelijke drukeffecten Brandwonden Longbeschadiging door inademing van hete verbrandingsgassen
Waterstofgas (drukhouder)	<ul style="list-style-type: none"> Uitstroming uit drukhouder zonder ontsteking 	<ul style="list-style-type: none"> Ontsteking Hoofdpijn, sufheid, ademnood en bewusteloosheid (door zuurstofverdringing)
	<ul style="list-style-type: none"> Uitstroming uit drukhouder met directe ontsteking: fakkelbrand (+ vuurbal) 	<ul style="list-style-type: none"> Ontstaan van secundaire branden Brandwonden
	<ul style="list-style-type: none"> Uitstroming uit drukhouder met vertraagde ontsteking: gaswolkontbranding (+ fakkelbrand) 	<ul style="list-style-type: none"> Ontstaan van secundaire branden Mogelijke drukeffecten Brandwonden Longbeschadiging door inademing van hete verbrandingsgassen
	<ul style="list-style-type: none"> Ontploffing drukhouder 	<ul style="list-style-type: none"> Ontstaan van secundaire branden Mogelijke drukeffecten fragmentatieschade Brandwonden Longbeschadiging door inademing van hete verbrandingsgassen
Vloeibare waterstof	<ul style="list-style-type: none"> Ontploffing cryogeen drukhouder, BLEVE 	<ul style="list-style-type: none"> Ontstaan van secundaire branden Mogelijke drukeffecten Fragmentatieschade Brandwonden Longbeschadiging door inademing van hete verbrandingsgassen

5.4 Minimale afstanden

Bij incidenten met waterstoftoepassingen dient rekening te worden gehouden met bepaalde effectafstanden om zodoende de eigen veiligheid en die van andere zeker te stellen. De effectafstanden worden vooral bepaald door factoren zoals lekgrootte, druk, hoeveelheid, meteorologische omstandigheden en de aard van het beschouwde effect.

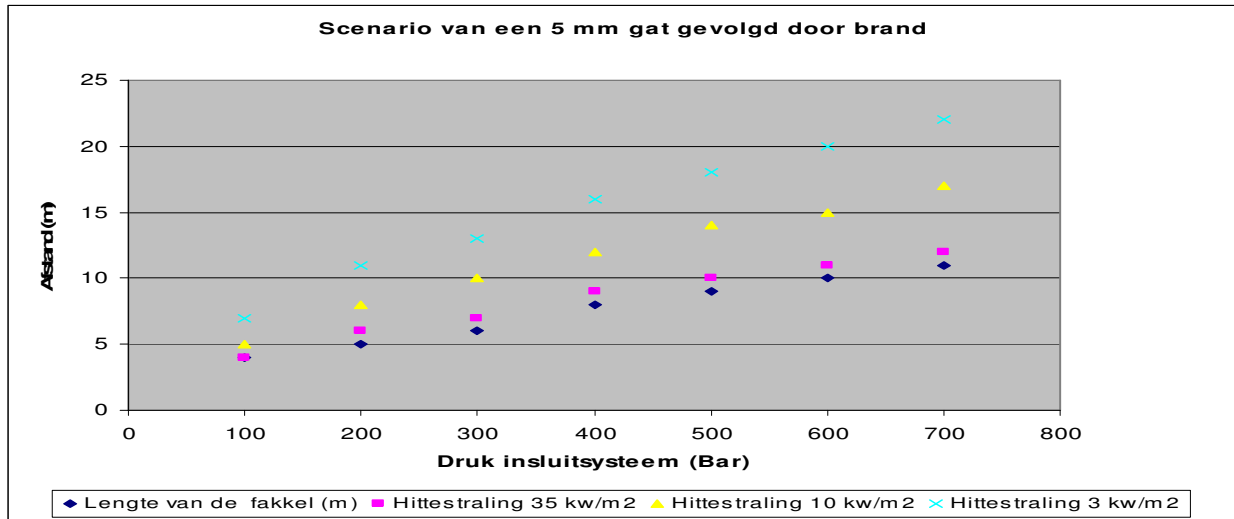
Het effect bij incidenten met waterstoftoepassingen is voornamelijk hittestraling. In geval van een incident met vloeibare waterstof kan mogelijk een BLEVE optreden. Bij het bepalen van de minimale effectafstanden voor een BLEVE is vooral de hoeveelheid waterstof van belang.

Tijdens een incident met waterstoftoepassingen zullen noch de benodigde gegevens aanwezig en beschikbaar zijn, noch de benodigde tijd om detailberekeningen van effectafstanden uit te voeren. In de tabellen 5.4. tot en met 5.4.3 worden de berekende minimale effectafstanden gepresenteerd. In de bijbehorende figuren worden de afstanden nog eens in een grafiek weergegeven.

Tabel 5.4: minimale afstanden in meters bij het scenario van een gat van 5 mm gevolgd door brand

Druk Insluitsysteem (Bar)	Lengte van de fakkel (m)	Hittestraling (m) 35 (kw/m ²)	Hittestraling (m) 10 (kw/m ²)	Hittestraling (m) 3 (kw/m ²)
100	4	4	5	7
200	5	6	8	11
300	6	7	10	13
400	8	9	12	16
500	9	10	14	18
600	10	11	15	20
700	11	12	17	22

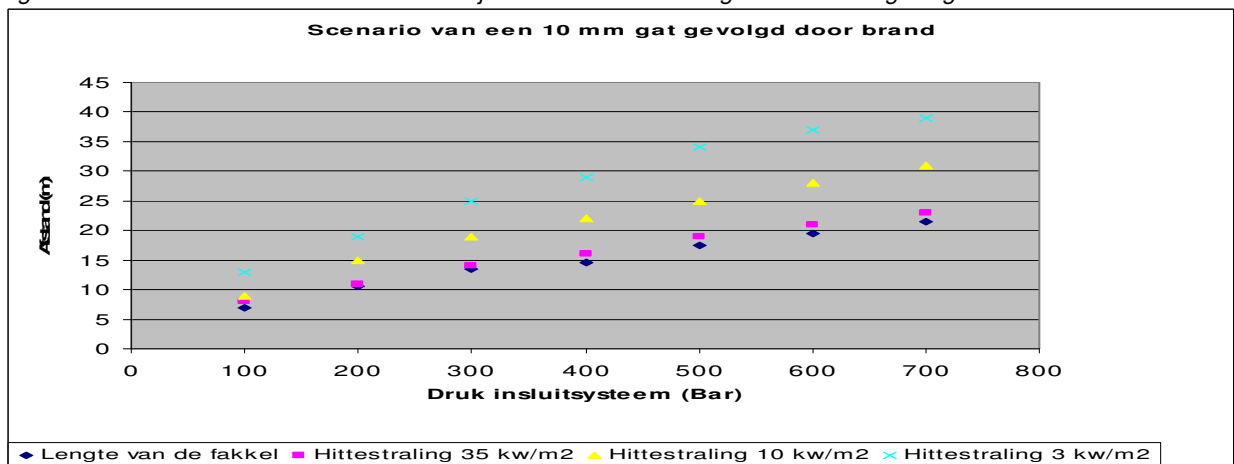
Figuur 5.4: minimale afstanden in meters bij het scenario van een gat van 5 mm gevolgd door brand



Tabel 5.4.1: minimale afstanden in meters bij het scenario van een gat van 10 mm gevolgd door brand

Druk Insluitsysteem (Bar)	Lengte van de fakkel (m)	Hittestraling (m) 35 (kw/m ²)	Hittestraling (m) 10 (kw/m ²)	Hittestraling (m) 3 (kw/m ²)
100	7	8	9	13
200	10,5	11	15	19
300	13,5	14	19	25
400	14,5	16	22	29
500	17,5	19	25	34
600	19,5	21	28	37
700	21,5	23	31	39

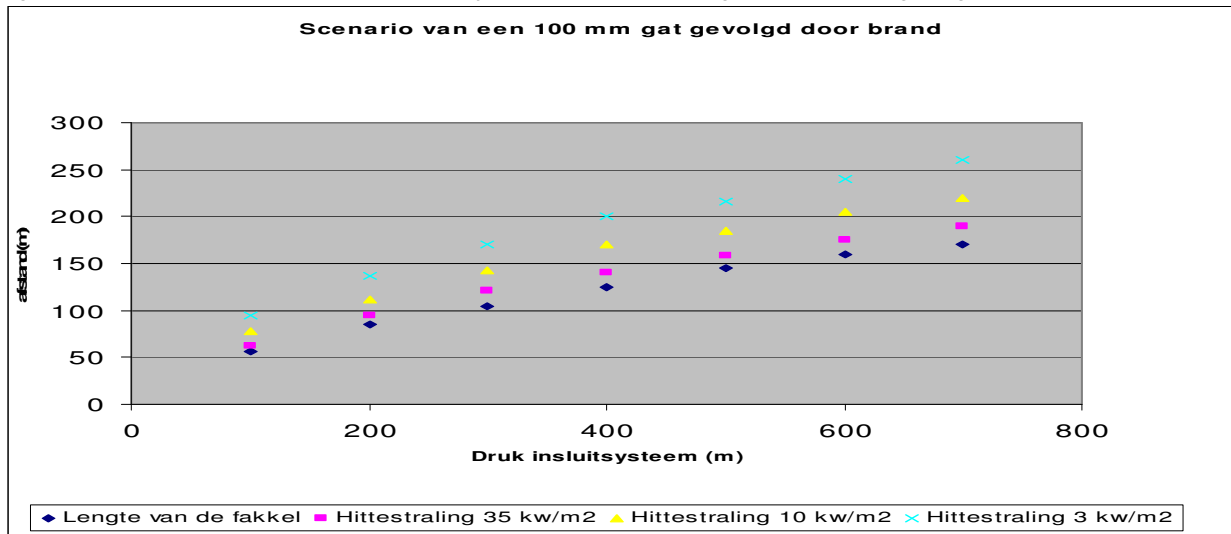
Figuur 5.4.1: minimale afstanden in meters bij het scenario van een gat van 10 mm gevolgd door brand



Tabel 5.4.2: minimale afstanden in meters bij het scenario van een gat van 100 mm gevolgd door brand

Druk Insluitsysteem (Bar)	Lengte van de fakkel (m)	Hittestraling (m) 35 (kw/m ²)	Hittestraling (m) 10 (kw/m ²)	Hittestraling (m) 3 (kw/m ²)
100	56	63	78	95
200	85	95	112	137
300	105	121	143	170
400	125	140	170	200
500	145	158	185	216
600	160	175	205	240
700	170	190	220	260

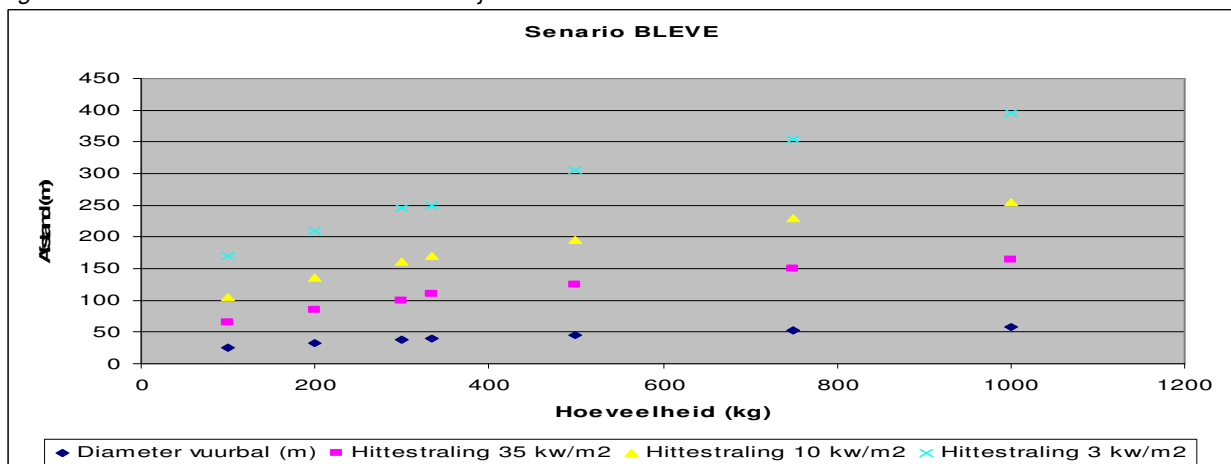
Figuur 5.4.2: minimale afstanden in meters bij het scenario van een gat van 100 mm gevolgd door brand



Tabel 5.4.3: minimale afstanden in meters bij het scenario BLEVE

Hoeveelheid (Kg)	Diameter vuurbal (m)	Hittestraling (m) 35 (kw/m ²)	Hittestraling (m) 10 (kw/m ²)	Hittestraling (m) 3 (kw/m ²)
100	26	65	105	170
200	33	85	135	210
300	38	100	160	245
334	40	110	170	250
500	46	125	195	305
750	52	150	230	355
1000	58	165	255	395

Figuur 5.4.2: minimale afstanden in meters bij het scenario BLEVE



6. Optreden bij waterstofincidenten

6.1 Algemeen

In dit hoofdstuk wordt het optreden bij een incident met waterstof behandeld. Bij een incident met waterstof kan worden opgetreden als bij een incident met gevaarlijke stoffen. Dat betekent dat de brandweer conform de procedure ongevalbestrijding gevaarlijke stoffen (procedure OGS) dient te handelen. Tijdens een OGS inzet zijn de volgende activiteiten van belang (zie de leidraad OGS):

- Alarmeren
- Bovenwinds benaderen en opstellijn plaatsen
- Verkennen/Redden
- Bestrijden
- Beschermende middelen

Deze activiteiten zullen niet één voor één en in bovenstaande volgorde worden uitgevoerd, maar tenminste gedeeltelijk parallel lopen.

6.2 Alarmeren

Een melding betreffende een lekkage van of een incident met waterstof kan op verschillende plaatsen binnenkomen. Zo kan de melding binnenkomen bij de politie, de brandweer of de initiatiefnemer. Belangrijk is dat na een eerste melding, ongeacht wie die melding binnen krijgt, de juiste instanties worden gealarmeerd of gewaarschuwd. Dit zijn:

- Brandweer (regionale alarmcentrale, RAC)
- Politie (meldkamer)
- Geneeskundige dienst (meldkamer ambulance, MKA)
- Initiatiefnemer
- Vergunningverlener
- Overige diensten, waaronder partijen met een taak of verantwoordelijkheid op het gebied van weg, water, spoor, buisleidingen (zoals Inspectie Verkeer en Waterstaat, Rijkswaterstaat, Leidingbeheerder, Provincie, Gemeente, Meldpunt VROM, BOT-mi).

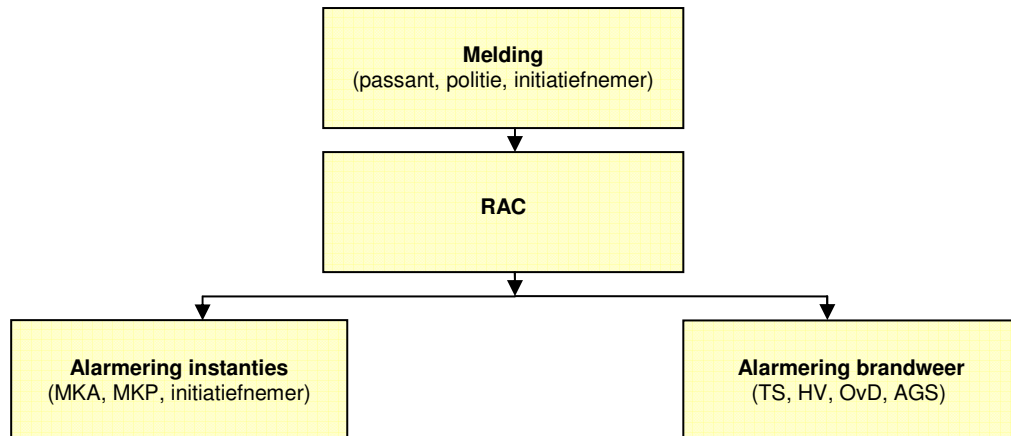
Het overgrote deel van de waterstofincidenten wordt of door de initiatiefnemer zelf ontdekt of door de ontdekker/veroorzaker van het lek direct aan de initiatiefnemer gemeld. De initiatiefnemer zal niet alleen de eigen calamiteitenorganisatie opstarten maar ook de regionale alarmcentrale van de brandweer waarschuwen. De brandweer zal de overige betrokken overheidsdiensten alarmeren.

Een deel van de waterstofincidenten zullen als eerste gemeld worden via "112" bij de regionale alarmcentrale van de brandweer. Het is dan van groot belang dat de initiatiefnemer (snel) wordt gealarmeerd. Dit om ervoor te zorgen dat het calamiteitenplan wordt opgestart. Indien bij de RAC een melding binnenkomt van een waterstofincident, neemt de RAC contact op met de initiatiefnemer. Zodra het contact tussen de RAC en de contactpersoon van de initiatiefnemer tot stand is gekomen, kan de contactpersoon gekoppeld worden aan de officier van dienst van de brandweer en kunnen verdere maatregelen worden besproken.

Een klein deel van de waterstofincidenten wordt via "112" gemeld bij de politiemeldkamer. Wanneer dit het geval is, dient de centralist van de politiemeldkamer per ommekeer de regionale alarmcentrale van de brandweer te waarschuwen. Deze zal dan contact opnemen met de initiatiefnemer.

In figuur 6.2 wordt het alarmeringsschema van de verschillende instanties schematisch weergegeven.

Figuur 6.2 alarmeringsschema



Aangezien de brandweer de operationele leiding heeft bij waterstofincidenten, wordt hieronder kort ingegaan op het alarmeringsschema van de brandweer. Ongeacht de grootte van het waterstofincident kunnen binnen de brandweer de volgende functionarissen/eenheden worden gealarmeerd:

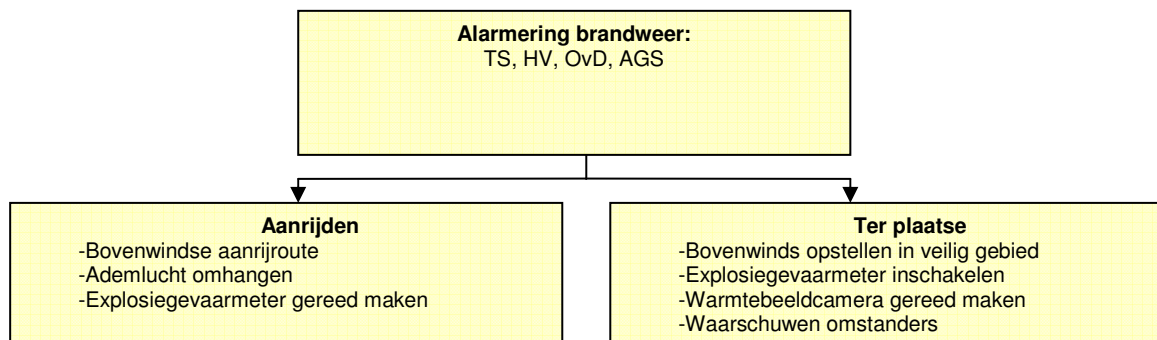
- Eerste uitruk OGS conform regionale procedure
- Tankautospuiter (TS)
- Snel Inzetbare Eenheid (SIE)
- Officier van Dienst (OvD)
- Adviseur Gevaarlijke Stoffen (AGS)
- Hulpverleningsvoertuig (op verzoek van de OvD)

6.3 Bovenwinds benaderen en opstellijs plaatsen

Nadat de eerste eenheden zijn gealarmeerd zullen deze uitrukken naar plaats incident. Aangezien de brandweer vaak als eerste ter plaatse is en het gevaarlijke gebied bepaald wordt in het kort de werkwijze van de brandweer beschreven.

Veelal is op het moment van de eerste melding nog niet duidelijk om welke stof het gaat. In dat geval wordt de standaard OGS procedure gevolgd. Als de stof geïdentificeerd is als waterstof dan kan het schema in figuur 6.3 worden gehanteerd.

Figuur 6.3 schema bovenwinds benaderen en plaatsen van de opstellijs



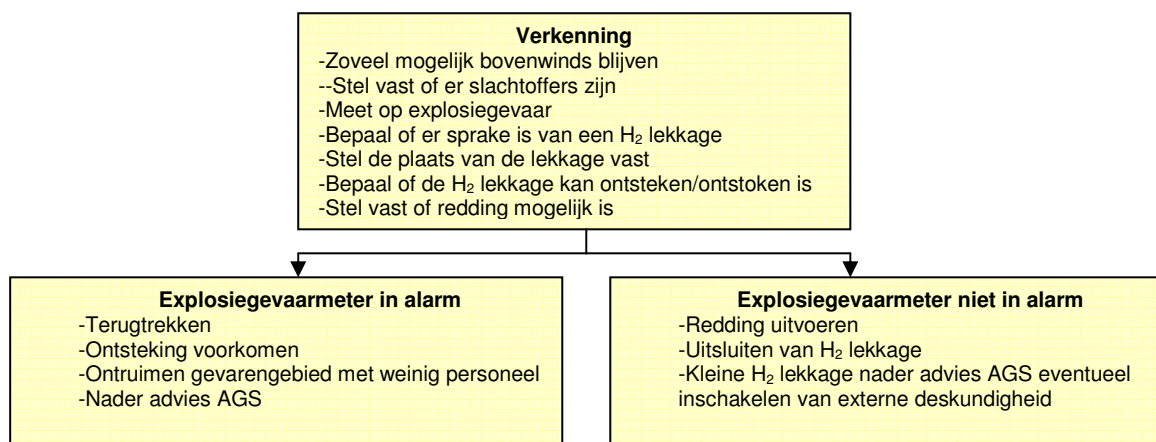
6.4 Verkennen/Redden

Conform de procedure OGS zal de eerste TAS ter plaatse een verkenning uitvoeren om een beeld te krijgen van de situatie. De gegevens uit deze verkenning worden doorgegeven aan de bevelvoerder. Het is van belang dat bij een verkenning zoveel mogelijk informatie wordt verzameld. Afhankelijk van de beschikbare informatie vooraf wordt een verkenningsopdracht gegeven. Deze opdracht kan als volgt luiden:

1. Het zoeken en redden van slachtoffers
2. Het vaststellen van de aard en omvang van het incident
3. In kaart brengen omgeving

In figuur 6.4 wordt de werkwijze met betrekking tot het uitvoeren van een verkenning/redding schematisch weergegeven.

Figuur 6.4 schema verkennen/redden



6.5 Bestrijden

Bij de bestrijding van waterstofincidenten kan onderscheid gemaakt worden tussen het bestrijden van het lek en het bestrijden van het ontsnapte product. Het bestrijden van het lek is zowel een taak van de initiatiefnemer als van de brandweer. Het gaat hier om bronbestrijding. De brandweer zal uiterst terughoudend zijn met bronbestrijding bij waterstoftoepassingen. Alleen als het gaat om bijvoorbeeld het dichtdraaien van een afsluiter zonder gevaar van ontsteking kan de brandweer onder voorwaarden overwegen deze activiteit uit te voeren. Aangezien bronbestrijding bij waterstoftoepassingen een specialistische taak is, is het raadzaam om hiervoor externe deskundigheid in te schakelen.

Het bestrijden van het ontsnapte product is een taak voor de brandweer. Het gaat hier om effectbestrijding. De brandweer richt zich vooral op het in kaart brengen van het gevarengedebied en indien nodig het ontruimen daarvan. Ook het voorkomen van uitbreiding behoort tot de taken van de brandweer. Na stabilisering van de situatie zullen de opruimwerkzaamheden weer de verantwoordelijkheid zijn van de initiatiefnemer. Waarbij de brandweer zo lang als nodig de operationele leiding behoudt. In figuur 6.5 wordt dit schematisch weergegeven.

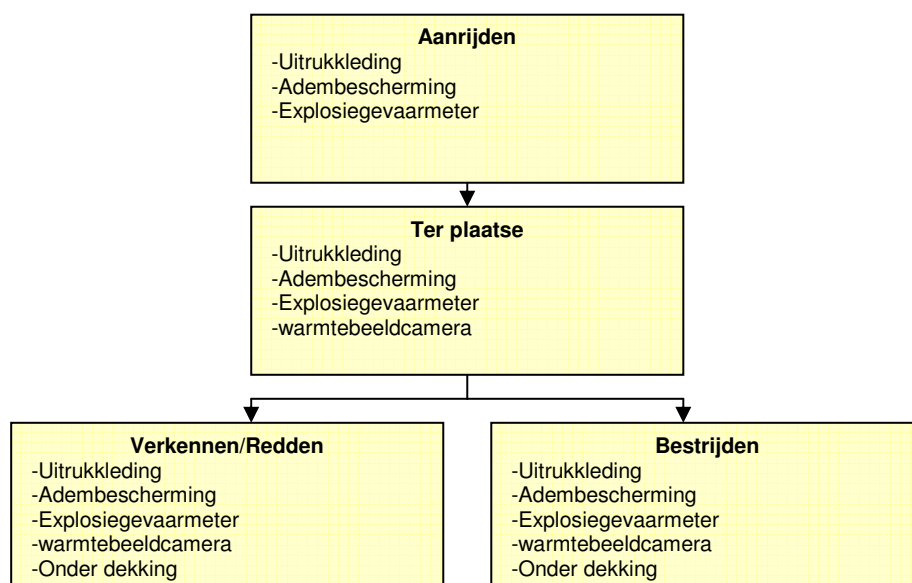
Figuur 6.4 schema bestrijden



6.5 Beschermende middelen

De primaire taak van de brandweer is het redden en in veiligheid brengen van personen afkomstig uit de gevarengedebied met inachtneming van de eigen veiligheid. Dit betekent dat de veiligheid van brandweerpersoneel en andere hulpdiensten hoge prioriteit heeft. In figuur 6.5 wordt schematisch weergegeven welke beschermende middelen minimaal nodig zijn bij het optreden tijdens incidenten met waterstof.

Figuur 6.5 schema beschermende middelen



Bij gebruik van de explosiegevaarmeter is het belangrijk om te weten dat gecombineerde explosie/koolmonoxide meters een koolmonoxide alarm kunnen geven. Reden is dat 10 ppm H₂ resulteert in 3 ppm koolmonoxide. Verder is het belangrijk dat een fakkel H₂ niet geblust wordt.

6.6 Bestrijdingstaken per scenario

De bestrijdingstaken van de brandweer zijn afhankelijk van het scenario dat optreedt. In tabel 6.6 zijn deze nader uitgewerkt.

Tabel 6.6: bestrijdingstaken per scenario

Stof	Scenario	Gevaar	Aanpak
waterstofgas	<ul style="list-style-type: none"> • Uitstroming zonder ontsteking 	<ul style="list-style-type: none"> • Hoofdpijn, sufheid, ademnood en bewusteloosheid (door zuurstofverdringing) • Ontsteking 	<ul style="list-style-type: none"> • Ontstekingsbronnen verwijderen • Verdun explosieve wolk • Ventileren • veilige afstand afzetting plaatsen voor onbeschermd hulpverleners en omstanders
	<ul style="list-style-type: none"> • Uitstroming met directe ontsteking: fakkelbrand (+vuurbal) 	<ul style="list-style-type: none"> • Brandwonden • Ontstaan van secundaire branden 	<ul style="list-style-type: none"> • Laten branden • Koelen omgeving • Blussen secundaire branden • Tussen 3 en 10 kw/m2 onder dekking optreden brandweer in beschermende kleding mogelijk • Veilige afstand afzetting plaatsen voor onbeschermd hulpverleners en omstanders
	<ul style="list-style-type: none"> • Uitstroming met vertraagde ontsteking: gaswolkontbranding (+ fakkelbrand) 	<ul style="list-style-type: none"> • Brandwonden • Ontstaan van secundaire branden • Longbeschadiging door inademing van hete verbrandingsgassen • Mogelijk drukeffecten 	<ul style="list-style-type: none"> • Laten branden • Koelen omgeving • Blussen secundaire branden • Tussen 3 en 10 kw/m2 onder dekking optreden brandweer in beschermende kleding mogelijk • Veilige afstand afzetting plaatsen voor onbeschermd hulpverleners en omstanders
Waterstof gas druk houder	<ul style="list-style-type: none"> • Uitstroming uit drukhouder zonder ontsteking 	<ul style="list-style-type: none"> • Hoofdpijn, sufheid, ademnood en bewusteloosheid (door zuurstofverdringing) • Ontsteking 	<ul style="list-style-type: none"> • Ontstekingsbronnen verwijderen • Ventileren • Verdun explosieve wolk • Veilige afstand afzetting plaatsen voor onbeschermd hulpverleners en omstanders
	<ul style="list-style-type: none"> • Uitstroming uit drukhouder met directe ontsteking: fakkelbrand (+ vuurbal) 	<ul style="list-style-type: none"> • Brandwonden • Ontstaan van secundaire branden 	<ul style="list-style-type: none"> • Laten branden, Koelen drukhouder • Koelen omgeving • Blussen secundaire branden • Tussen 3 en 10 kw/m2 onder dekking optreden brandweer in beschermende kleding mogelijk • Veilige afstand afzetting plaatsen voor onbeschermd hulpverleners en omstanders
	<ul style="list-style-type: none"> • Uitstroming uit drukhouder met vertraagde ontsteking: gaswolkontbranding (+ fakkelbrand) 	<ul style="list-style-type: none"> • Brandwonden • Ontstaan van secundaire branden • Longbeschadiging door inademing van hete verbrandingsgassen • Mogelijk drukeffecten 	<ul style="list-style-type: none"> • Laten branden • Koelen drukhouder en omgeving • Blussen secundaire branden • Tussen 3 en 10 kw/m2 onder dekking optreden brandweer in beschermende kleding mogelijk • Veilige afstand afzetting plaatsen voor onbeschermd hulpverleners en omstanders
	<ul style="list-style-type: none"> • Ontploffing drukhouder 	<ul style="list-style-type: none"> • Brandwonden • Ontstaan van secundaire branden • Longbeschadiging door inademing van hete verbrandings gassen • Mogelijk drukeffecten • Fragmentatieschade 	<ul style="list-style-type: none"> • Koelen drukhouder en omgeving • Blussen secundaire branden • Tussen 3 en 10 kw/m2 onder dekking optreden brandweer in beschermende kleding mogelijk • afstand afzetting plaatsen voor onbeschermd hulpverleners en omstanders
Voeibare waterstof	<ul style="list-style-type: none"> • Ontploffing cryogeen drukhouder, BLEVE 	<ul style="list-style-type: none"> • Brandwonden • Ontstaan van secundaire branden • Longbeschadiging door inademing van hete verbrandings gassen • Mogelijk drukeffecten • Fragmentatieschade 	<ul style="list-style-type: none"> • Koelen drukhouder en omgeving • Blussen secundaire branden • Tussen 3 en 10 kw/m2 onder dekking optreden brandweer in beschermende kleding mogelijk • Veilige afstand afzetting plaatsenvoor onbeschermd hulpverleners en omstanders

6.7 Taken betrokken actoren

Algemeen

Bij een bestrijding van een waterstofincident is het van groot belang dat alle betrokken partijen goed samenwerken. Ook wanneer een incident (nog) niet heeft plaatsgevonden, maar er wel een dreiging van een incident is, is het belangrijk dat er in multidisciplinair verband opgetreden wordt en er maatregelen worden genomen om er voor te zorgen dat, indien het incident onverhoopt alsnog plaatsvindt, de schadelijke gevolgen zoveel mogelijk beperkt blijven. In deze paragraaf zal een puntsgewijs overzicht worden gegeven van de taken die de verschillende betrokkenen bij een waterstofincident hebben. Dit overzicht kan dan ook dienen als een beperkte checklist voor de preparatie op waterstofincidenten. De taken voor de hulpdiensten brandweer, politie en GHOR wijken in principe niet af van de reguliere taken tijdens incidentbestrijding (zoals beschreven in het *Handboek voorbereiding rampenbestrijding*), maar krijgen soms iets andere accenten.

Initiatiefnemer

De medewerking van de initiatiefnemer is onontbeerlijk bij de bestrijding van het incident. De initiatiefnemer is immers in staat de waterstoftoepassing stil te leggen. (Het feit dat er een incident heeft plaatsgevonden houdt overigens niet automatisch in dat ook onmiddellijk de toepassing wordt stilgelegd. Soms is het veiliger dit juist niet te doen.) Alleen specialisten kunnen de schade daadwerkelijk repareren. Iedere initiatiefnemer zal over een calamiteitenplan moeten beschikken of een 'SOS-contract' met een gespecialiseerde firma moeten hebben afgesloten. In geval van een (grootschalig) incident zal nauw overleg tussen de brandweer en de initiatiefnemer moeten plaatsvinden, omdat de brandweer de operationele leiding heeft over de incidentbestrijding. De specialisten van de initiatiefnemer zullen in samenspraak met de (hoofd)officier van dienst van de brandweer en de AGS/ROGS de bronbestrijding uitvoeren. Deze belangrijke rol van de initiatiefnemer laat onverlet dat het bevoegd gezag (i.c. de burgemeester en daarvan afgeleid de brandweer) de verantwoordelijkheid en de leiding over de incidentbestrijding heeft. De initiatiefnemer heeft als taken:

- het alarmeren en het informeren van de brandweer
- het ter plaatse sturen van een specialist, onder meer ter ondersteuning van overheidshulpdiensten met deskundig advies
- het (op uitnodiging) deelnemen aan het overleg in het COPI, ROT en Beleidsteam
- het sturen van een bronbestrijdingsteam om het lek te beheersen
- het opruimen van gelekt product en het herstel van schade.

Politie

De politie heeft als taken:

- het ontruimen en evacueren
- het afzetten van bedreigd gebied (op aangeven van de brandweer)
- het omleiden van het verkeer (verkeerscirculatieplan)
- het handhaven van de openbare orde
- het identificeren van slachtoffers
- het gidsen en het begeleiden van hulpdiensten en technici/specialisten
- het doen van strafrechtelijk onderzoek
- het deelnemen aan het overleg in het COPI.

Geneeskundige hulpverleningsorganisatie

De geneeskundige hulpverleningsorganisatie (GHOR) heeft als taken:

- het geneeskundig verzorgen van slachtoffers
- het verlenen van psychosociale hulpverlening
- het leveren van gezondheidskundige informatie en het adviseren over de te nemen maatregelen door de gezondheidskundig adviseur gevaarlijke stoffen (GAGS) in samenspraak met de adviseur gevaarlijke stoffen (AGS/ROGS) van de brandweer
- het deelnemen aan het overleg in het COPI.

Brandweer

De brandweer heeft als taken:

- redden
- bronbestrijding
- effectbestrijding
- waarschuwen van de bevolking
- waarnemen en meten
- ontsmetten van mens en dier (n.v.t. bij waterstof)
- ontsmetten van voertuigen en infrastructuur (n.v.t. bij waterstof)
- toegankelijk maken en opruimen
- het deelnemen aan het overleg in het COPI.

Doorgaans beperkt de brandweer zich tot het veiligstellen van de omgeving. Het onder controle brengen van de situatie kan pas na en in overleg met de initiatiefnemer. De brandweer heeft de operationele leiding over de incidentbestrijding totdat een stabiele situatie ter afhandeling aan derden overgedragen kan worden. Vanuit de brandweer kunnen de volgende functionarissen betrokken zijn bij de bestrijding van waterstofincidenten:

- bevelvoerder eerste uitruk
- officier van dienst (OVD)
- (hoofd)officier van dienst ((H)OVD) of leider COPI
- adviseur gevaarlijke stoffen (AGS/ROGS)
- meetplanleider/WVD-deskundige.

Het daadwerkelijk verhelpen van de lekkage of het stoppen van de uitstroom van waterstof (de bronbestrijding) is zoals gezegd een taak voor de initiatiefnemer. Mogelijk kan de brandweer hierbij wel logistieke en technische ondersteuning leveren.

Gemeentelijke diensten

Gemeentelijke diensten hebben als taak:

- (het coördineren van) voorlichting richting pers en bevolking
- het zorgdragen voor de opvang van de bevolking tijdens een eventuele evacuatie
- het registreren van slachtoffers
- het registreren van schade
- het eventueel verzorgen van de uitvaart van dodelijke slachtoffers
- het toezicht houden op het opruimen van het gelekte product.

Overige diensten

- LOCC: Wanneer de aard of de omvang van een incident het noodzakelijk maakt, dan kan het Landelijk Operationeel Coördinatie Centrum (LOCC) een rol vervullen ten behoeve van de inzet van extra capaciteit of deskundigheid
- NCC: vanaf GRIP 4 kan ook het Nationaal Coördinatiecentrum (NCC) een rol spelen. Het NCC coördineert op landelijk niveau de bijstandsverlening en zorgt voor (interdepartementale) afstemming van maatregelen tijdens een crisis

Bijlage 1: Afkortingen

Afkorting	Verklaring
AGS	Adviseur Gevaarlijke Stoffen
BLEVE	Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion
Borax	Natriumzout van boorzuur
BOT-mi	Beleidsondersteunend team milieu incidenten
COPI	Commando Plaats Incident
DCMR	Dienst Centraal Milieubeheer Rijnmond
GHOR	Geneeskundige Hulpverlening bij Ongevallen en Rampen
H2	Waterstofgas
HOvD	Hoofd Officier van Dienst
LH2	Vloeistof verdicht waterstofgas
LOCC	Landelijk Operationeel Coördinatie Centrum
MKA	Meldkamer Ambulance
MKP	Meldkamer politie
NVW	Nederlandse Waterstof en Brandstofcel Vereniging
NCC	Nationaal Coördinatie Centrum
OGS	Ongeval (sbestrijding) Gevaarlijke Stoffen
OvD	Officier van Dienst
RAC	Regionale Alarm Centrale
ROGS	Regionaal Officier Gevaarlijke Stoffen
ROT	Regionaal Operationeel Team
VLG	Regeling Vervoer Gevaarlijke Stoffen over land
VROM	Ministerie voor Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer
WVD	Waarschuwing- en Verkenning Dienst

Bijlage 2: Publicaties en websites

2.1 Publicaties

Checklist waterstof (FOD Werkgelegenheid, Arbeid en Sociaal Overleg, 2003)

Feuerwehreinsatz bei Fahrzeugen mit Wasserstoff- Antrieben (Deutscher Feuerwehr Verband 2003)

Handbook for Hydrogen Refuelling Station Approval (HyApproval 2007)

Installation Permitting Guidance for Hydrogen and Fuel Cells Stationary Applications (HYPER partners 2nd draft version)

Leidraad ongevalsbestrijding gevaarlijke stoffen (NIFV 2001)

Managing Gas Cylinders involved in a Fire (British Compressed Gases Association)

Nederlands Instituut Fysieke Veiligheid NIFV, lesstof

Nederlands Instituut Fysieke Veiligheid NIFV, leidraad oefenen

Operationeel handboek ongevallen gevaarlijke stoffen (NVBR-netwerk OGS, 2005)

Special Information for Firefighting Services (BMW Cleanenergy 2005)

2.2 Websites

<http://www.ecn.nl> Energieonderzoek Centrum Nederland

<http://www.hysafe.net>: netwerk van industriële ondernemingen en onderzoeksorganisaties op het gebied van veiligheid en waterstof aangedreven voertuigen.

<http://www.loccnl.nl>: informatie over het Landelijk Operationeel Coördinatie Centrum

<http://www.senternovem.nl>: agentschap voor duurzaamheid en innovatie

<http://www.waterstofvereniging.nl>: Nederlandse Waterstof en Brandstofcellen Vereniging

www.hyapproval.org Handboek voor waterstof stations

www.eiga.org European Industrial Gases Association

Bijlage 3: Lijst van betrokken deskundigen

3.1 Leden van de werkgroep

De heer P. Jetten, Brandweer Amsterdam-Amstelland

Mevrouw M. van Staaveren, Brandweer Amsterdam-Amstelland

De heer F. El-Aaidi, Brandweer Amsterdam-Amstelland (projectleider)

3.2 Leden van de klankbordgroep

De heer P. Bout, Air Products Europe

Mevrouw M. Oude Wolbers Nederlands Instituut Fysieke Veiligheid

De heer A.J.C.M Matthijsen, RIVM

De heer S. B. van der Molen, Nederlandse Waterstof en Brandstofcellen Vereniging.

3.3 Andere deskundigen

Daarnaast hebben buiten de leden van de klankbordgroep nog de volgende mensen een belangrijke inhoudelijke bijdrage geleverd:

De heer N. Malkoc, Brandweer Amsterdam-Amstelland

Mevrouw J. Middelkoop, Brandweer Amsterdam-Amstelland

De heer C. Mars, Brandweer Amsterdam-Amstelland

Bijlage 4: Algemene Aandachtskaart H₂

Waterstof (H ₂)	
Tactiek	Gevaren
<ul style="list-style-type: none"> • Bovenwinds benaderen • Explosiegevaarmeter aanzetten in veilig-gebied • Verkennen/redden onder dekking • Inzet binnen met ademlucht • Ontruim het directe gevarengedebied (ku-bus) • Voorkomen van ontsteking • Controleren op brand met een warmte-beeldcamera of laserthermometer • Niet inzetten in een gebied boven de 10% LEL • Indien noodzakelijk onder voorwaarden van advies AGS en het aantal eenheden beperken • H₂ fakkel niet blussen wel inblokken • H₂ wolk verdunnen met water • Omgeving koelen • H₂ is lichter dan lucht let op ophoping en meet explosiegevaar ook bovenin 	<ul style="list-style-type: none"> • Zeer brandbaar • Explosiegevaar, 4-75% • Brand zonder zichtbare vlam • Hoge temperaturen • H₂ is reuk-, kleur-, smaakloos • Let op gasophoping in besloten ruimten • Fakkel niet blussen, wel inblokken • Porto's, mobiele telefoons, overdrukventila-toren, statische elektriciteit kunnen ex-plosie veroorzaken • Ramen kunnen naar buiten klap-pen:voertuig niet voor gebouw opstellen • Let op elektrocutiegevaar • H₂ kan zuurstof verdringen
Middelen	Overig
<ul style="list-style-type: none"> • Explosie/CO meter • Ademlucht • Uitrakkleding • Warmtebeeldcamera • Laserthermometer • AGS • Explosie veilige apparatuur • Externe deskundigheid 	<ul style="list-style-type: none"> • Explosie/CO-meter kan een CO alarm geven, want 10 ppm H₂ resulteert in 3 ppm CO • Explosie/CO-meter heeft een reactietijd • H₂ heeft geen nadelige effecten op het milieu