



Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu

Ministerie van Volksgezondheid,
Welzijn en Sport

Kennisnotitie

Signalen waterstoftransitie

Kernboodschap

Waterstof wordt gezien als een van de pijlers van het energiesysteem van de toekomst. De keuzes die worden gemaakt met betrekking tot productie, import, opslag, vervoer en gebruik van waterstof en waterstofdragers hebben gevolgen voor de veiligheids- en gezondheidsrisico's van de waterstofketen.

Voor het veiliger en/of efficiënter vervoeren van waterstof wordt gekeken naar vloeibare organische waterstofdragers (LOHC's). Ammoniak, toluen en benzyltoluën zijn het dichtst bij grootschalige toepassing voor transport en opslag van duurzame waterstof. De belangstelling voor methanol neemt toe. Eerder RIVM onderzoek laat zien dat onderzochte vloeibare organische waterstofdragers (LOHC's) één of meerdere Zeer Zorgwekkende Stoffen (ZZS) bevatten of vormen bij productie of gebruik. Echter, de mate waarin ZZS aanwezig zijn of gevormd worden kan verschillen. Het RIVM raadt aan om vanaf het ontwerp van vloeibare waterstofdragers tot en met het gebruik aandacht te hebben voor mogelijke schadelijke effecten voor mens en milieu.

Momenteel worden de eerste vergunningsaanvragen voor ammoniakterminals in de grote havens ingediend en beoordeeld. Waterstof zou in de vorm van ammoniak als waterstofdrager kunnen worden geïmporteerd om aan de verwachte vraag naar waterstof te voldoen. Bij de beoordeling van deze en andere aanvragen voor de productie, import opslag en gebruik van waterstof en waterstofdragers is het van belang om rekening te houden met gevolgen van het vervoer van deze stoffen elders in Nederland. Analyses van mogelijke ongevallen met de waterstofdrager ammoniak laten zien dat, indien er grote hoeveelheden ammoniak vrijkomen, dit tot op grote afstand van het ongeval tot slachtoffers kan leiden. Een toename van transport van waterstofdragers kan, vooral bij transport per spoor leiden tot overschrijding van de huidige risicoplafonds. Indien in het kader van Robuust Basisnet in de toekomst wordt gekozen voor vaste veiligheidsafstanden en aandachtsgebieden in plaats van risicoplafonds, dan kunnen de risico's toenemen zonder dat dit zichtbaar is in de omvang van een gekozen veiligheidsafstand of aandachtsgebied.

De risico's van ammoniak en de risicoverdeling in Nederland leidt ook tot vragen en zorgen bij (toekomstige) omwonenden, bijvoorbeeld rond haven- en industriegebieden. Methanol lijkt mede daarom als bruikbaar en minder risicovol alternatief als energiedrager in beeld te komen.

Nationale en internationale kennisontwikkeling over veiligheids- en gezondheidseffecten van de verschillende alternatieven blijft actueel en belangrijk om huidige en toekomstige effecten van de energietransitie en in het bijzonder de waterstoftransitie te monitoren. Het is daarbij van belang om, zoals beschreven in deze kennisnotitie, de effecten ook op ketenniveau te beschouwen en in samenhang met de te maken keuzes voor het energiesysteem als geheel.

RIVM

A. van Leeuwenhoeklaan 9
3721 MA Bilthoven
Postbus 1
3720 BA Bilthoven
www.rivm.nl

T 088 689 89 89

Auteur:

Jeroen Neuvel

Centrum:

Veiligheid

Contact:

omgevingsveiligheid@rivm.nl

Kenmerk:

KN-2024-0029

DOI:

10.21945/RIVM-KN-2024-0029

Datum: 1-07-2024

Inleiding

In het Nederlandse klimaatakkoord van 2019 is het doel opgenomen op de uitstoot van broeikasgassen sterk terug te dringen met 49% minder in 2030 ten opzichte van 1990 en rond de 100% minder in 2050. (Kabinet Rutte III, 2019). Het kabinet ziet hierbij een belangrijke rol weggelegd voor waterstof in het energiesysteem van de nabije toekomst. Dit bleek al uit het klimaatakkoord. Waterstof wordt daarin ook gezien als een kans voor Nederland om een onderscheidende clean-tech-industrie en kennispositie op te bouwen. Ook in het Nationaal Plan Energiesysteem van december 2023 is een belangrijke rol voor waterstof weggelegd (Ministerie van Economische Zaken en Klimaat, 2023). Waterstof vormt een van de alternatieven voor fossiele brandstoffen. Duurzaam opgewekte waterstof kan bijdragen aan de verduurzaming van het energiesysteem en daarmee aan het terugdringen van de CO₂ uitstoot. Waterstof vervult daarbij volgens het kabinet een cruciale rol in het verduurzamen van de industrie en van het internationaal transport. Ook voor andere sectoren kan waterstof een aanvulling zijn op andere technieken, zoals elektrificatie, om CO₂ te reduceren. Het Nationaal Plan Energiesystemen zet onder andere in op het opschalen van groene waterstofproductie, import en opslag en op het tijdig realiseren van de benodigde infrastructuur.

Waterstof kan op verschillende manieren worden opgeslagen en vervoerd, puur onder druk of vloeibaar, en omgevormd tot waterstofdragers zoals ammoniak. Hoe de productie, import, opslag, het vervoer en gebruik van waterstof in Nederland er precies uit gaat zien is nog onzeker. Het kabinet werkt hiervoor een visie waterstofdragers uit die naar verwachting dit najaar gepresenteerd zal worden.

Deze kennisnotitie richt zich op de waterstofketen en de manieren waarop aan deze keten invulling kan worden gegeven, inclusief de mogelijkheden voor verschillende waterstofdragers. Waterstof vormt slechts een van de beoogde pijlers van het energiesysteem van de toekomst. De discussies over de waterstofketen kunnen dan ook niet los worden gezien van discussies over de toekomstige mogelijkheden van elektrificatie of de inzet van duurzame warmtebronnen, zoals geothermie. Alternatieven voor beoogde waterstoftoepassingen, waaronder seizoensopslag van energie kunnen bijdragen aan het beperken van de omvang van de veiligheidsrisico's als gevolg van waterstofdragers. Deze afweging op systeemniveau, waarin de waterstofketen wordt afgewogen tegen alternatieven, valt buiten de scope van deze kennisnotitie. Ze zijn wel van invloed op de uiteindelijke (transport)volumes waterstof en waterstofdragers.

Het afbouwen van fossiele brandstoffen en de bijbehorende systemen en technieken levert veiligheids- en gezondheidswinst op, bijvoorbeeld door de positieve effecten op de luchtkwaliteit (Van der Ree et al., 2019). Uit een eerdere studie kwam naar voren dat de gezondheidseffecten en veiligheidsrisico's van de meeste maatregelen uit het klimaatakkoord beperkt zullen zijn. Alhoewel sommige maatregelen tot significante negatieve effecten kunnen leiden, zoals biomassa, houtkachels en winturbines, is het beeld dat het netto effect: de negatieve effecten en de positieve effecten die het uitfaseren van het gebruik van fossiele brandstoffen op de gezondheid en veiligheid betekent, positief zal zijn voor de gezondheid en veiligheid (Gooijer & Mennen). Hierbij is aanbevolen om de komende jaren goed te blijven volgen welke effecten de nieuwe energiebronnen hebben.

Waterstofdragers kunnen echter nieuwe veiligheids- en gezondheidsrisico's met zich meebrengen. De keuzes die worden gemaakt met betrekking tot productie, import, opslag vervoer en gebruik van waterstof en waterstofdragers hebben gevolgen voor de veiligheids- en gezondheidsrisico's van de waterstofketen. Ze hebben ook gevolgen voor

de ruimtelijke impact van deze keten, bijvoorbeeld in de vorm van veiligheidsafstanden. Daarom is waterstof als een van de topprioriteiten benoemd voor het RIVM programma klimaat in 2024.

Het RIVM doet in opdracht van Ministeries onderzoek naar deze veiligheids- en gezondheidseffecten. Deze onderzoeken richten zich vooral op specifieke onderdelen van de waterstofketen. Zo worden de veiligheidsrisico's van het transport van de waterstofrijke energiedrager ammoniak of puur waterstof door buisleidingen geanalyseerd en vertaald naar rekenvoorschriften voor het modelleren van externe veiligheid. Ook is onderzoek naar de risico's van het vervoer van (samengeperst) waterstof per weg water en spoor afgerond (Timmers et al., 2023). Andere onderzoeken kijken juist naar de keten van een specifieke groep stoffen, zoals de vloeibare organische waterstofdragers (*Liquid Organic Hydrogen Carriers; LOHC*). Omdat de onderzoeksopdrachten zich vaak beperken tot een specifiek onderdeel van de keten, is er behoefte om de resultaten in het licht van de gehele keten te beschouwen en om daaruit de belangrijkste aandachtspunten voor veiligheid en gezondheid samen te vatten. Deze zijn samengevat in onderstaande signalen, die in deze kennisnotitie zijn uitgewerkt.

Het afwegen van verschillende waterstofdragers

- Alle onderzochte vloeibare organische waterstofdragers (LOHC's) bevatten of vormen één of meerdere Zeer Zorgwekkende Stoffen (ZZS). De mate waarin ZZS aanwezig zijn of gevormd worden kan verschillen per drager. Ammoniak en waterstof zijn geen ZZS.
- Een ongeval met ammoniak kan, indien er grote hoeveelheden ammoniak vrij komen, tot op grote afstand van het ongeval tot slachtoffers leiden.
- Methanol lijkt als bruikbaar en minder risicovol alternatief als energiedrager in beeld te komen. Methanol is geen ZZS. Kennisontwikkeling over mogelijke alternatieven blijft actueel en belangrijk.
- Voor bewoners zijn de risico's van de waterstofketen nog vaak onzichtbaar en onbekend, maar dit kan snel veranderen.

Het afwegen van vervoersmodaliteiten

- Het beperken van vervoersstromen van waterstof(dragers) beperkt de risico's van het transport van gevaarlijke stoffen. Een toename van transport van waterstofdragers over het spoor kan leiden tot overschrijding van de huidige risicoplafonds.
- Langs Basisnetroutes zijn grote effecten van ongevallen niet vertaald in grotere aandachtsgebieden. Grotere effecten zijn daardoor niet zichtbaar.

Het afwegen van locaties

- De externe veiligheidsrisico's als gevolg van de waterstoftransitie zijn niet gelijk verdeeld.

Het monitoren van de risico's

- Deelname aan (inter)nationaal onderzoek is niet geborgd.
- Monitoring van emissies van waterstof en waterstofdragers is van belang.

Dit overzicht is gebaseerd op een tweetal workshops met experts op het gebied van waterstof en waterstofdragers binnen het RIVM (zie bijlage 1). De verkenning is uitgevoerd als onderdeel van de opdracht Kennisbasis Klimaat (M46012524DG) uit het programma Klimaat & Energie van het ministerie van Economische Zaken en Klimaat.

Het afwegen van verschillende waterstofdragers

Waterstof is een brandbaar gas en na het vrijkomen van waterstofgas kan ook een explosie ontstaan. Waterstof laat zich niet gemakkelijk efficiënt opslaan of vervoeren. Om waterstof gemakkelijker op te kunnen slaan en te vervoeren, kan waterstof worden omgezet of geabsorbeerd in andere stoffen. Deze stoffen worden waterstofdragers genoemd. Voor enkele LOHC's zoals ammoniak of methanol wordt onderzocht of de waterstof rechtstreeks afgegeven kan worden in eindapparaten met geïntegreerde brandstofcellen. De vloeibare waterstofdragers doen dan feitelijk dienst als energiedragers, en niet meer alleen als waterstofdragers. De bestaande infrastructuur voor het vervoer van gevaarlijke stoffen is vaak al geschikt om vloeibare organische waterstofdragers (LOHC's) op te slaan of te vervoeren. Toch kleven er ook nadelen aan waterstofdragers in vergelijking met waterstof.

Alle onderzochte vloeibare organische waterstofdragers bevatten of vormen één of meerdere Zeer Zorgwekkende Stoffen (ZZS).

Vloeibare organische waterstofdragers bieden kansen om als waterstofdrager energie veiliger te vervoeren. De veiligheidseffecten van een ongeval zijn namelijk vaak minder groot dan bij een ongeval met waterstof of ammoniak. Echter, alle onderzochte vloeibare organische waterstofdragers bevatten of vormen één of meerdere Zeer Zorgwekkende Stoffen (ZZS). De mate waarin ZZS aanwezig zijn of gevormd worden kan verschillen tussen de verschillende vloeibare waterstofdragers (Marinković & Ng-A-Tham, 2024b). Het is beter om waar mogelijk geen ZZS te gebruiken. Het RIVM vraagt om hier bij het ontwerpen en gebruiken van LOHC's rekening mee te houden om tot een veilige en duurzame energietransitie te komen (Marinković & Ng-A-Tham, 2024a).

Een ongeval met ammoniak kan, indien er grote hoeveelheden ammoniak vrij komen, tot op grote afstand van het ongeval tot slachtoffers leiden.

Ammoniak wordt momenteel geproduceerd met het Haber-Bosch-proces met behulp van waterstof uit aardgas. Ammoniak is ook nadrukkelijk in beeld als circulaire vloeibare waterstofdrager. Uit ammoniak kan namelijk ook weer waterstof worden gewonnen (dehydrogenatie). Het proces van thermisch kraken, waarmee ammoniak wordt omgezet in stikstof en waterstof wordt al toegepast voor bepaalde industriële processen. Ammoniak kan ook direct als brandstof dienen. Er wordt bijvoorbeeld gekeken naar de toepassing van een mengsel van ammoniak en waterstof als brandstof. Ammoniak is echter een giftig gas. Bij het vrijkomen van grote hoeveelheden van dit gas kunnen tot op kilometers afstand slachtoffers vallen.

Methanol lijkt als bruikbaar en minder risicovol alternatief als energiedrager in beeld te komen. Kennisontwikkeling over mogelijke alternatieven blijft actueel en belangrijk.

Methanol is in beeld als waterstofrijke energiedrager waarbij de eindgebruiker methanol zelf als energiebron of grondstof gebruikt en als waterstofdrager waarbij de methanol wordt omgezet naar waterstof. Tijdens de waterstofafgifte van de circulaire LOHC's methanol en mierenzuur kan weliswaar de ZZS koolmonoxide gevormd worden, maar het gevormde koolmonoxide kan in hetzelfde proces weer met water reageren tot de waterstofarme drager koolstofdioxide (CO₂). De effectafstanden van een ongeval met methanol zijn kleiner dan bij een vergelijkbaar ongeval met ammoniak. Kennisontwikkeling over waterstof- en energiedragers die bij kunnen dragen aan een veilig en duurzaam energiesysteem blijft daarom actueel en belangrijk.

Voor bewoners zijn de risico's van de waterstofketen nog vaak onzichtbaar en onbekend, maar dit kan snel veranderen.

Uit belevingsonderzoek naar waterstofbuisleidingen komt naar voren dat besef van de eventuele risico's van het transport en in minder mate de toepassing van waterstof nieuw is. Ze hebben zich vaak nog geen beeld gevormd. Nadat informatie is verstrekt over waterstof, ziet men voordelen van duurzame productie en hergebruik van buisleidingen. Ze hebben ook zorgen, bijvoorbeeld over de explosiviteit. Aan het gebruik van waterstof stellen ze voorwaarden. Bijvoorbeeld het veilig omgaan met waterstof en het duurzaam produceren van waterstof.

Er loopt nog een belevingsonderzoek naar de waterstofketen en ammoniak. Er zit verschil tussen de brandbaarheid, explosiviteit en giftigheid van deze stoffen. Daarmee verschilt ook de mogelijke impact voor omwonenden. De verwachting is dat de risicoperceptie en acceptatie van risico's van waterstof en waterstofdragers verschillen. We verwachten dat ook de modaliteitkeuze (vervoer via weg, water, spoor, buis) verschilt. We hopen met het lopende onderzoek hier meer inzicht in te krijgen. In de media roeren omwonenden van grootschalige ammoniakopslagen zich. Ze maken zich onder andere zorgen over de effecten van een ongeval en zijn kritisch op de wijze waarop risico's zijn verdeeld. Ze stellen ook vragen aan het RIVM, die het RIVM technisch-inhoudelijk beantwoordt.

Het serieus nemen van deze vragen en zorgen in beleid, bijvoorbeeld door aan te geven hoe belangen van omwonenden zijn meegenomen bij de invulling van de waterstofketen, kan bijdragen aan het vertrouwen in de overheid en in het beleid voor de energietransitie. Voor het RIVM is het van belang om gestelde vragen te beantwoorden, op een inhoudelijk juiste en begrijpelijke manier.

Het afwegen van vervoersmodaliteiten

Waterstof en waterstofdragers kunnen worden vervoerd via de weg. Als het gaat om grote stromen is het waarschijnlijker dat dit via bulktransporten via spoor, water of via buisleidingen vervoerd zal worden. (Berenschot, 2023). Nederland investeert in een netwerk van buisleidingen om in de toekomst waterstof en ammoniak te kunnen vervoeren van de havens naar chemieclusters in Nederland, met verbindingen naar België en Duitsland. Het beperken van vervoersstromen beperkt de risico's van het transport van gevaarlijke stoffen. Daar waar dat niet mogelijk is, is een buisleiding is vanuit veiligheidsperspectief interessant ten opzichte van andere vormen van transport. Wanneer het transport door buisleidingen aan de veiligheidseisen voldoet, kunnen er grote hoeveelheden waterstof of ammoniak worden vervoerd. Hierdoor is grootschalige opslag bij de gebruiker minder noodzakelijk. Zolang de buisleidingen nog niet beschikbaar zijn, zijn andere vormen van transport noodzakelijk. Dit kan tot veiligheidsvraagstukken leiden, vooral langs het spoor.

Het beperken van vervoersstromen van waterstof(dragers) beperkt de risico's van het transport van gevaarlijke stoffen. Een toename van transport van waterstofdragers over het spoor kan leiden tot overschrijding van de huidige risicoplafonds.

Een toename van activiteiten met gevaarlijke stoffen lijkt vooral op het Basisnet spoor te leiden tot overschrijding van de huidige plaatsgebonden risicoplafonds (Arcadis & Berenschot, 2021; Arcadis et al., 2023). Een toename van het vervoer van waterstof en ammoniak per spoor is realistisch wanneer in en nabij de Nederlandse havens ruimte wordt gegeven aan activiteiten die samenhangen met de import en doorvoer van waterstofdragers naar het achterland, waaronder ook het Ruhrgebied en wanneer deze stoffen (nog) niet via buisleidingen verder kunnen worden vervoerd en wanneer

grootverbruikers niet geclusterd kunnen worden nabij productie- of importlocaties van waterstofdragers.

Het ministerie van IenW werkt in het programma Robuust Basisnet aan een herziening van het Basisnet. Om de overschrijding van normen in de toekomst tegen te gaan overweegt het ministerie vaste, beleidsmatig vastgestelde, veiligheidsafstanden langs het spoor waarbinnen niet gebouwd mag worden. Een toename van het transport leidt in eventuele risicoberekeningen dan nog wel tot een grotere plaatsgebonden risico-contour, maar niet noodzakelijk tot een grotere veiligheidsafstand.

Langs Basisnetroutes zijn grote effecten van ongevallen niet vertaald in grotere aandachtsgebieden. Grotere effecten zijn daardoor niet zichtbaar.

De hoofdroutes voor het transport van gevaarlijke stoffen vallen onder het Basisnet. Voor het Basisnet weg, Basisnet spoor en het Basisnet water zijn ook aandachtsgebieden vastgesteld. Aandachtsgebieden zijn gebieden rond activiteiten met gevaarlijke stoffen die zichtbaar maken waar mensen binnenshuis, zonder aanvullende maatregelen onvoldoende beschermd kunnen zijn tegen de gevolgen van ongevallen met gevaarlijke stoffen. Het bevoegde gezag, vaak de gemeente, maakt en motiveert in de omgevingsvisie en het omgevingsplan een keuze over wat voldoende veilig is en hoe gezondheid en milieu worden beschermd. Ook beoordeelt het bevoegd gezag of, en zo ja welke maatregelen nodig zijn om mensen in aandachtsgebieden voldoende te beschermen. Voor het Basisnet zijn aandachtsgebieden beleidsmatig vastgesteld. Deze vastgestelde aandachtsgebieden kunnen kleiner zijn dan de aandachtsgebieden die op basis van een QRA worden bepaald.

Een gifwolkaandachtsgebied is vastgesteld op 300 meter. Uit risicoberekeningen volgt dat de gebieden waar mensen binnenshuis, zonder aanvullende maatregelen onvoldoende beschermd kunnen zijn tegen de gevolgen van ongevallen met ammoniak, op het Basisnet groter dan een kilometer kunnen zijn.

Het afwegen van locaties

De risico's als gevolg van de waterstoftransitie zijn ongelijk verdeeld.

Eerder onderzoek, zoals van het PBL, heeft laten zien dat de leefomgevingskwaliteit gemiddeld slechter is in buurten met de laagste sociaaleconomische positie. Ook veiligheidsrisico's zijn niet gelijk verdeeld over Nederland. In de waterstofketen verwachten we op basis van het huidige beleid vooral een toename van risico's bij de Nederlandse zeehavens, langs het Basisnet spoor, weg en water en langs de beoogde buisleidingenstroken. Door de keten anders in te richten, worden ook de veiligheidsrisico's anders verdeeld. Het kraken van ammoniak in de havens verkleint de kans op een ongeval met ammoniak in het achterland. Het vervoeren van deze waterstofrijke energiedrager per buisleidingen in plaats van per spoor leidt tot een toename van het risico voor de gebieden langs buisleidingenstroken, maar zorgt voor afname van het risico langs het spoor en een afname van de hoeveelheid geluid en trillingen langs het spoor. Ook het anders verdelen van de importstromen voor waterstofrijke energiedragers over meerdere Nederlandse en Europese havens leidt tot een andere risicoverdeling. Achterliggende politieke vraag is of Nederland een doorvoerland voor energie wil blijven. Het sturen via ruimtelijk beleid, en dan specifiek waar productie en gebruik van waterstof/waterstofdragers plaatsvindt – kan leiden tot een andere risicoverdeling. Dit kan ook invloed hebben op (transport)risico's. Het transport van gevaarlijke stoffen via de Betuwelijn ligt bijvoorbeeld meer voor de hand voor stoffen die via Rotterdam binnenkomen dan voor stoffen die via de Eemshaven binnenkomen.

Het monitoren van de risico's

Deelname aan (inter)nationaal onderzoek is niet geborgd

Kennis over waterstofdragers beperkt zich niet tot Nederland. Om de ministeries van actuele kennis en inzichten te kunnen voorzien over de risico's van waterstof en waterstofdragers blijft betrokkenheid bij internationaal onderzoek van belang. Kennisontwikkeling blijft vereist om ook in de toekomst de gevraagde expertise te leveren. Zo is bijvoorbeeld aangegeven dat verdere investeringen in kennis over elektrolyzers vereist is om in de toekomst de rol van beoordelaar van de te ontwikkelen PGS voor elektrolyser naar behoren te kunnen vervullen. Een ander voorbeeld is de kans op vertraagde ontsteking bij waterstof. Bij een vertraagde ontsteking zit er meer tijd zitten tussen het vrijkomen van het waterstofgas en het ontbranden ervan. Dit kan leiden tot krachtigere explosies en tot explosies die verder van de plaats van het ongeval ontstaan, waardoor een groter gebied rond de activiteit met waterstof wordt blootgesteld aan het explosierisico. Dit leidt tot grotere veiligheidsafstanden. In de huidige voorschriften zijn actuele inzichten verwerkt. Nieuwe inzichten kunnen tot andere risico-inschattingen leiden. Ook is het nodig om op de hoogte te blijven van de doorontwikkeling van waterstofdragers en eventuele uitbreiding van hun toepassingsgebied. Hierbij is aandacht nodig voor het inschatten van emissies om zo risico's in te kunnen schatten.

Deelname van RIVM aan internationaal onderzoek lijkt vooral 'bottom up' tot stand te komen. RIVM onderzoekers sluiten via hun netwerk aan bij internationale onderzoeksprojecten. Keuzes voor het wel/niet deelnemen aan dergelijk projecten worden gemaakt op programmaniveau, als onderdeel van de RIVM invulling van het IenW programma Omgevingsveiligheid waaronder ook Veilige Energietransitie onder valt. De ruimte hiervoor is beperkt.

Monitoring van emissies

Ook bij de toepassing van waterstof en waterstofdragers kunnen broeikasgassen vrijkomen. Een vraag die hierbij nog open staat is hoe de monitoring van de emissies bij het gebruik van deze stoffen, waaronder waterstof, ammoniak en methaan moet plaats vinden en hoe dit gekoppeld kan worden met de emissieregistratie (verificatie van broeikasgasemissies). Ook kunnen in havens ZZS worden gemeten die vrij kunnen komen bij op- en overslag van waterstofdragers.

Literatuur

- Arcadis, & Berenschot. (2021). *Ketenstudie omgevingsveiligheid van duurzame waterstofrijke energiedragers. Eindrapport (65256)*. A. e. Berenschot.
- Arcadis, Berenschot, & TNO. (2023). *Omgevingsveiligheid van toekomstige stromen waterstofrijke energiedragers. Eindrapport*.
- Gooijer, L., & Mennen, M. G. (2021). *Klimaatakkoord: effecten van nieuwe energiebronnen op gezondheid en veiligheid in Nederland (RIVM-rapport 2021-0054)*.
- Kabinet Rutte III. (2019). *Klimaatakkoord*.
- Marinković, M., & Ng-A-Tham, J. (2024a). *Factsheet: Vermijd Zeer Zorgwekkende Stoffen zoveel mogelijk in vloeibare waterstofdragers. Naar een veilige en duurzame energietransitie*. RIVM.
- Marinković, M., & Ng-A-Tham, J. (2024b). *Liquid hydrogen carriers: an overview of technical aspects and SVHC properties*. RIVM.
- Ministerie van Economische Zaken en Klimaat. (2023). *Nationaal Plan Energiesysteem*.

- Timmers, P. G. J., Haag, P. A. M. U. d., & Verkleij, S. P. (2023). *Rekenmethode om de risico's te berekenen van het vervoer van samengeperste gassen en tot vloeistof gekoelde gassen* (2022-0116).
- Van der Ree, J., Honig, E., Uijt de Haag, P., Kelfkens, G., & Van de Ven, M. (2019). *Klimaatakkoord: effecten op veiligheid, gezondheid en natuur* (2019-0076).

Bijlage 1 Deelnemers expertsessie

Naam	Afdeling	Organisatie
Yannick Geertzema	Omgevingsveiligheid	Centrum VLH RIVM
Sam Houdijk	Omgevingsveiligheid	Afstudeeronderzoeker TU Delft
Marino Marinković	Milieu risico's van Stoffen en Producten	Centrum VSP RIVM
Jeroen Neuvel	Omgevingsveiligheid	Centrum VLH RIVM
Mark Spruijt	Omgevingsveiligheid	Centrum VLH RIVM
Piet Timmers	Omgevingsveiligheid	Centrum VLH RIVM

Reviewers: Joost van der Ree, Rolf van den Hoek, Mark van de Ven