

EINDRAPPORT

# Omgevingsveiligheid van toekomstige stromen waterstofrijke energiedragers

68008 - Openbaar - 26 januari 2023

# Inhoudsopgave

|                                                                   |           |
|-------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Managementsamenvatting .....</b>                               | <b>4</b>  |
| <b>HOOFDSTUK 1. ....</b>                                          | <b>10</b> |
| <b>Introductie .....</b>                                          | <b>10</b> |
| 1.1      Achtergrond .....                                        | 10        |
| 1.2      Doel- en vraagstelling .....                             | 11        |
| 1.3      Afbakening, werkwijze en onderzoeksmethodiek .....       | 11        |
| 1.4      Leeswijzer.....                                          | 14        |
| <b>HOOFDSTUK 2. ....</b>                                          | <b>15</b> |
| <b>Drie varianten voor volumes .....</b>                          | <b>15</b> |
| 2.1      Inleiding .....                                          | 15        |
| 2.2      Variant 1 – Lage inschatting RFNBO-behoefte.....         | 17        |
| 2.3      Variant 2 – Hoge inschatting RFNBO-behoefte .....        | 18        |
| 2.4      Variant 3 .....                                          | 20        |
| 2.5      Vergelijking van varianten .....                         | 23        |
| 2.6      Doorkijk naar 2050 .....                                 | 25        |
| <b>HOOFDSTUK 3. ....</b>                                          | <b>26</b> |
| <b>Modaliteiten voor en veiligheid van waterstofdragers .....</b> | <b>26</b> |
| 3.1      Veiligheidsaspecten .....                                | 26        |
| 3.2      Buisleidingen .....                                      | 29        |
| 3.3      Spoorvervoer .....                                       | 32        |
| 3.4      Wegvervoer .....                                         | 34        |
| 3.5      Watervervoer .....                                       | 37        |
| 3.6      Overige afhankelijkheden.....                            | 39        |
| 3.7      Samenvattend: een overzicht van mogelijkheden .....      | 40        |
| <b>HOOFDSTUK 4. ....</b>                                          | <b>41</b> |
| <b>Volumes en stromen waterstofrijke energiedragers .....</b>     | <b>41</b> |
| 4.1      Haven Rotterdam.....                                     | 42        |
| 4.2      De haven van Amsterdam (Noordzeekanaalgebied).....       | 45        |
| 4.3      North Sea Port NL (Vlissingen en Terneuzen) .....        | 48        |
| 4.4      Groningen Seaports (Delfzijl en Eemshaven) .....         | 51        |
| 4.5      Chemelot.....                                            | 54        |
| 4.6      België.....                                              | 55        |
| 4.7      Totaaloverzicht.....                                     | 56        |
| 4.8      Stromen in variant 1 en 2 .....                          | 57        |
| <b>HOOFDSTUK 5. ....</b>                                          | <b>59</b> |
| <b>Welke keuzes komen op ons pad? .....</b>                       | <b>59</b> |
| 5.1      Leeswijzer.....                                          | 59        |
| 5.2      Beantwoording van de deelvragen .....                    | 59        |
| 5.3      Reflectie op de bevindingen.....                         | 66        |
| 5.4      Beleidsopties en te maken keuzes .....                   | 68        |
| 5.5      Slotoverweging.....                                      | 71        |

|            |                                               |    |
|------------|-----------------------------------------------|----|
| Bijlage 1. | Eenheden .....                                | 72 |
| Bijlage 2. | Lijst van betrokken actoren .....             | 73 |
| Bijlage 3. | Technische uitleg van de drie varianten ..... | 74 |
| Bijlage 4. | Referenties .....                             | 97 |

# Managementsamenvatting

## Introductie

De energievoorziening in Nederland gaat veranderen. Maar *hoe* de energietransitie precies vorm krijgt, is nog onduidelijk. Dit onderzoek beoogt inzicht te geven in de stromen aan waterstofrijke energiedragers die mogelijk in ons land ontstaan, met de transportmodaliteiten die daarvoor beschikbaar zijn en de mogelijke implicaties daarvan voor de omgevingsveiligheid. Achterliggend doel is om informatie en perspectieven te verzamelen om de omgevingsveiligheid proactief mee te laten wegen in de besluitvorming voor de energietransitie.

## Doel- en vraagstelling

Dit onderzoek is uitgevoerd door onderzoekers van Arcadis, Berenschot en TNO. Doel van het onderzoek is om inzicht te geven in de mogelijke stromen en volumes van waterstofrijke energiedragers die in ons land kunnen ontstaan. Ook de manier waarop deze volumes kunnen worden getransporteerd voor conversie of eindgebruik elders, zoals via het spoor, over de weg of het water en door buisleidingen, is onderzocht. De focus daarbij ligt op de verwachtingen voor de periode 2030 tot en met 2035, met waar mogelijk een doorkijk naar 2050. **Daarbij** moet er in kwalitatieve zin inzicht komen in de locaties waar de dragers worden benut (overslag, opslag, omzetting, gebruik) en hoe deze worden getransporteerd (tussen welke chemische clusters, naar andere landen) en welke transportmodaliteiten daarbij (kunnen) worden ingezet. Ook moet het onderzoek kwalitatief inzicht bieden in de noodzaak en de rol van (meer) buisleidingen in het energiesysteem.

Voor dit onderzoek hebben we de volgende deelvragen geformuleerd:

1. Wat zijn de te verwachten volumes aan te transporteren gasvormige en vloeibare duurzame energiedragers en welke transport- en opslagmodaliteiten kunnen hierbij worden ingezet?
2. Wat is de betekenis van de ontwikkelingen (kwalitatief) voor de belasting van het Basisnet en voor de veiligheid in de omgeving van de overige transportinfrastructuur en in hoeverre speelt een afname van transport van fossiele brandstoffen hierbij een rol?
3. Is er (kwalitatief) zicht op de noodzaak en de rol van (meer) buisleidingen in het energiesysteem en op de eventuele behoefte aan nieuwe tracés en corridors voor het transport van waterstof, ammoniak, of mogelijke andere energiedragers?

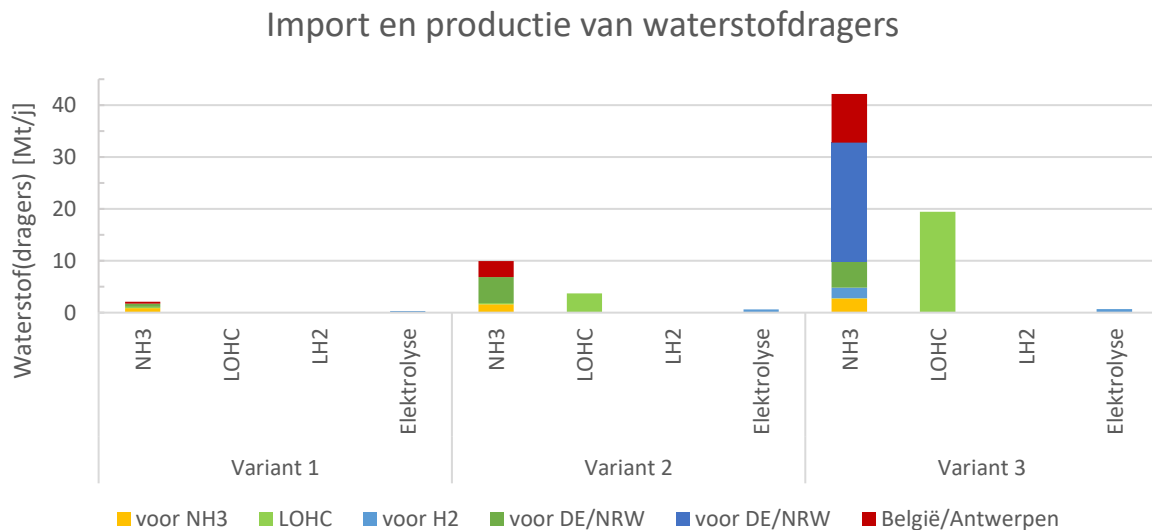
Bij deelvraag 1 hebben we ook aandacht besteed aan de volumes en mogelijke transportmodaliteiten in Duitsland en België en de mogelijke doorvoerrol die Nederland hierin kan gaan spelen.

## Inzichten op basis van drie varianten

In dit onderzoek hebben we drie varianten gebruikt om een bandbreedte van mogelijke ontwikkelingen te schetsen. Twee van de drie varianten zijn gebaseerd op uiteenlopende cijfers voor waterstofgebruik in Europese beleidsvoorstellen in het kader van het 'Fit for 55'-beleidspakket. De derde en hoogste variant is gebaseerd op door marktactoren ingebrachte verwachtingen. De varianten geven een brede variatie in de mogelijk volumes (en stromen) van waterstofrijke energiedragers in Nederland. De eerste variant kan worden gezien als ondergrens. Variant 2 is een tussenvariant en de derde variant is een bovengrens. Op basis van die drie varianten hebben we de deelvragen beantwoord.

*Deelvraag 1: Wat zijn de te verwachten volumes aan te transporteren gasvormige en vloeibare duurzame energiedragers en welke transport- en opslagmodaliteiten kunnen hierbij worden ingezet?*

De volgende figuur geeft een overzicht van de uitkomsten van deze drie varianten, met een variatie aan waterstofdragers in megatonnen stofstromen per jaar. In variant 3 is ook een stroom vloeibare waterstof (LH2) voorzien, maar die is minder dan één megaton waterstof en valt vrijwel weg ten opzichte van de grote stromen ammoniak (NH<sub>3</sub>) en Liquid Organic Hydrogen Carriers (LOHC) in vooral variant 3. Dit is ook het geval voor de hoeveelheid waterstof van binnenlandse productie via elektrolyse die in de drie varianten onder de één megaton blijft.



In de figuur wordt met 'voor NH3' bedoeld op ammoniak die wordt geïmporteerd en waar het eindgebruik ook ammoniak is in Nederland. Bij 'voor H2' wordt ammoniak geïmporteerd, maar betreft het eindgebruik van waterstof in Nederland. Bij 'voor DE/NRW' gaat het om import van ammoniak bestemd voor een vraag naar waterstof of ammoniak in Duitsland/Noordrijn-Westfalen. De kleur bij 'voor DE/NRW' geeft aan of dit groene of blauwe ammoniak betreft.

De verwachting is dat binnenlandse productie van waterstof via elektrolyse, of anderszins, voornamelijk plaatsvindt in of nabij de grote industrieclusters aan de kust rond de grote zeehavens. Als import van waterstof en waterstofrijke energiedragers al plaatsvindt in de periode 2030-2035, dan zal dat ook via de havens gaan. Naar verwachting zal er rond die tijd nog geen volledig ontwikkelde Europese infrastructuur zijn die import van gasvormige waterstof via buisleidingen mogelijk maakt uit Noord-Afrika, Middelen Europa of andere delen van Europa. De havens die een centrale rol spelen bij productie en import zijn:

- de haven van Rotterdam (inclusief de Maasvlakte)
- de haven van Amsterdam (Noordzeekanaalgebied)
- North Sea Port (het Nederlandse gedeelte, namelijk Vlissingen en Terneuzen)
- Groningen Seaports (Delfzijl en Eemshaven).

Het grootste deel van de vraag naar waterstof in Nederland bevindt zich ook rond deze havens, en kan dus lokaal worden voorzien. Daarnaast zal een deel van de waterstof en de waterstofrijke energiedragers door Nederland moeten worden vervoerd naar afnemers buiten de industrieclusters rond de havens. De voornaamste bestemmingslocaties zijn:

- Chemelot
- Duitsland (en mogelijk verder).

Naast transport naar de voornaamste bestemmingslocaties wordt verwacht dat er ook onderlinge uitwisseling van waterstof tussen de industrieclusters zal plaatsvinden via het Hydrogen Network Netherlands (buisleidingnetwerk voor waterstof), als dit tegen die tijd is gerealiseerd. De bedoeling is om dit netwerk te verbinden met grootschalige ondergrondse opslag in zoutcavernes in het noorden van het land. Onderlinge uitwisseling en grootschalige opslag in combinatie met lokale opslag binnen clusters wordt nodig geacht om het batchgewijze aanbod van import via schepen en het variabele aanbod van hernieuwbare waterstof via elektrolyse in overeenstemming te brengen met de veelal continue vraag naar waterstof vanuit de industrie.

Verder zijn ook verwachtingen rond waterstof in België van belang voor Nederland. Indien de import van waterstofdragers naar de Antwerpse haven gaat plaatsvinden, dan verloopt dit via de Westerschelde (in Nederland), waarmee deze import ook invloed heeft op de omgevingsveiligheid in Nederland. Ook bestaat de kans dat stromen van waterstofrijke energiedragers van België naar Duitsland vervoerd worden over Nederlands grondgebied.

De import van hernieuwbare waterstof op korte termijn zal waarschijnlijk plaatsvinden in de vorm van ammoniak. De technologie hiervoor is immers al beschikbaar, ammoniak is een chemische commodity die al wereldwijd wordt verhandeld en het is op dit moment nog eenvoudiger in grote hoeveelheden te transporteren per schip dan bijvoorbeeld gasvormige of vloeibare waterstof. Indien variant 2 en vooral variant 3 realiteit worden dan zullen grote hoeveelheden ammoniak worden geïmporteerd. In deze varianten is het overgrote deel van de import het gevolg van een waterstofbehoefte in Duitsland. Ook is vervanging van de ammoniakproductie op Chemelot door geïmporteerde ammoniak verondersteld. Bij transport van ammoniak naar Duitsland en Chemelot zal dit een grote stijging van het aantal vervoersbewegingen met ammoniak tot gevolg hebben ten opzichte van de huidige situatie. Daaraan gekoppeld zal ook een stijging van het risiconiveau optreden. Om hier goed mee om te gaan is een verdere visie- en besluitvorming nodig over het vervoer van waterstof en ammoniak door ons land en hoe dit veilig gerealiseerd kan worden.

Er zal een mix van modaliteiten moeten komen om dergelijke hoeveelheden te faciliteren. Daarbij is het beschikbaar komen van ammoniakkrakers en daarnaast ook ammoniakbuisleidingen nodig om de grote hoeveelheden vervoerd te krijgen. Ook andere modaliteiten, zoals transport per spoor en water, zullen een rol van betekenis blijven spelen, zeker in de periode die nodig is om die krakers en buisleidingen gereed te maken.

*Deelvraag 2: Wat is de betekenis van de ontwikkelingen (kwalitatief) voor de belasting van het Basisnet<sup>1</sup> en voor de veiligheid in de omgeving van de overige transportinfrastructuur en in hoeverre speelt een afname van transport van fossiele brandstoffen hierbij een rol?*

De belasting van het Basisnet (het landelijk aangewezen netwerk voor het vervoer van gevaarlijke stoffen) is zeer groot in de varianten 2 en 3. Vooral voor het spoor en het water verwachten wij een forse toename van de risico's in het Basisnet. Niet uitgesloten is dat er ook aanzienlijke hoeveelheden van waterstofrijke energiedragers over de weg zullen worden getransporteerd en dat ook hier een forse toename van de risico's in het Basisnet zullen komen.

Bij de discussies over de toename van de risico's is het transport over het water tot op heden altijd redelijk buiten schot gebleven. Bij de grote transportvolumes in de derde variant zullen echter met grote zekerheid ook daar de plafonds uit het Basisnet voor binnenvaart overschreden worden, wanneer er voldoende schepen beschikbaar zijn om ammoniak te transporteren.

---

<sup>1</sup> Zie ook: [Basisnet - Kenniscentrum InfoMil](#) en [Hoofdpijnen Basisnet - Informatiepunt Leefomgeving \(iplo.nl\)](#).

De kans dat (fossiele brand)stoffen compleet verdwijnen als gevolg van de stromen waterstofrijke energiedragers, is op 'korte' termijn (tot 2035) niet heel groot. Veel van de bestaande transporten van fossiele brandstoffen (brandbare vloeistoffen en LPG) over het spoor en de weg zijn niet bedoeld voor de grote industriële doeleinden waarvoor waterstof en ammoniak worden ingezet, maar worden bijvoorbeeld ingezet als brandstof voor het wegverkeer. De stromen zullen hiermee deels naast elkaar bestaan en zich ontwikkelen, voordat op de langere termijn de vraag naar fossiele brandstoffen zal afnemen (maar niet volledig zal verdwijnen). De stromen van gevaarlijke stoffen zijn daarmee dermate groot dat de vraag niet is óf het Basisnet onder druk komt te staan, maar wanneer en voor welke modaliteit dit als eerste geldt.

Een element dat hierbij ook benoemd moet worden, is de wissel die dit gaat trekken op stedelijke ontwikkeling in de buurt van zowel het spoor als het water als de weg, omdat de potentiële effecten van een incident met ammoniak heel ver kunnen reiken.

*Deelvraag 3: Is er (kwalitatief) zicht op de noodzaak en rol van (meer) buisleidingen in het energiesysteem en op de eventuele behoefte aan nieuwe tracés en corridors, voor transport van waterstof, ammoniak, of mogelijke andere energiedragers?*

Uit dit onderzoek komt naar voren dat de stromen waterstofrijke energiedragers die vervoerd moeten worden zeer groot kunnen worden. Ook in een gematigder variant 2 zijn de transporthoeveelheden al erg groot. De omgevingsrisico's, de potentieel negatieve perceptie en de uitdagingen voor de ruimtelijke ontwikkelingen die daarbij komen kijken, wijzen duidelijk in de richting van nut en noodzaak van buisleidingen. Vooral bij de hoeveelheden zoals geschetst in variant 3 is deze vorm van transport essentieel voor ammoniak. Ook in variant 2 kan dit al nodig blijken te zijn. Wanneer de hoeveelheden beperkt blijven zoals in variant 1, dan zal een buisleiding voor ammoniak waarschijnlijk niet nodig zijn.

Voor het transport van waterstof an sich is het waterstofnetwerk van Hydrogen Network Services (HNS) (het aardgasleidingnetwerk dat omgebouwd wordt voor transport van waterstof) een randvoorwaarde. Hiervoor is het nodig dat de geïmporteerde ammoniak gekraakt wordt, voordat de gasvormige waterstof in de buisleidingen geïnjecteerd kan worden. De analyse toont dat bij variant 3 een capaciteit aan ammoniakkrakers nodig is die gelijk is aan ongeveer zestig van de grootste waterstoffabrieken die op het ogenblik in Nederland aanwezig zijn. Dus om het transport van waterstof te kunnen realiseren via buisleidingen is nog een extra stap nodig, namelijk het bieden van ruimte voor het faciliteren en bouwen van kraakinstallaties.

## Beleidsopties en te maken keuzes

De komst van stromen waterstofrijke energiedragers zorgt ervoor dat de energietransitie op gespannen voet komt te staan met de huidige regelgeving omtrent omgevingsveiligheid. Dit maakt het heroverwegen van beleid en (politieke) keuzes noodzakelijk, zodanig dat zowel het maatschappelijke belang van de energietransitie als het maatschappelijke belang van de (omgevings)veiligheid de juiste aandacht en plek krijgen in beleid, wet- en regelgeving en uiteindelijk in risicobeperkende maatregelen. Om de keuzes te onderbouwen zijn enkele opties benoemd.



### **Keuze 1. Bepaal als Rijksoverheid welke visie je hebt over de veiligheid en de energietransitie en neem de regie op het realiseren daarvan**

De Rijksoverheid zet breed in op de verduurzaming van de energievoorziening. Een visie op de dragers en de gerelateerde veiligheidsaspecten ontbreekt echter nog. Bepaal daarom als Rijksoverheid een langetermijnvisie hierop. Zo wordt vermeden dat ontwikkelingen ons 'overkomen' en er geen sturing kan plaatsvinden op essentiële criteria als veiligheid, ruimtelijke ontwikkeling en afstemming met publieke en private partners. Een essentiële vraag die daarbij past is hoe de regie het best kan worden ingevuld met zoveel betrokken partijen.

### **Keuze 2. Maak een keuze over de wenselijkheid van ammoniaktransport over land en water**

De noodzaak voor deze keuze is niet nieuw. Ammoniaktransport, met name over het spoor, is jarenlang ontmoedigd door de Rijksoverheid, maar eerder onderzoek<sup>2</sup> laat zien dat het nodig is deze ontmoediging te heroverwegen in het licht van de energietransitie. Een besluit daarover moet daarom snel genomen worden, omdat veel van de andere principiële keuzes die gemaakt moeten worden hiermee samenhangen.

### **Keuze 3. Bepaal hoe je (waterstofrijke) energiedragers wilt faciliteren**

Alle modaliteiten hebben hun eigen voor- en nadelen, zoals de geschiktheid om bepaalde typen energiedragers te kunnen/mogen vervoeren. Voor de korte termijn lijkt de keuze voor het transport over het water het meest kansrijk, maar voor de (middel)lange termijn moeten nog keuzes worden gemaakt. Er wordt al gewerkt aan de ontwikkeling van de waterstofbackbone. Grootschalige import van ammoniak vraagt om een grote hoeveelheid aan ammoniakkrakers (indien de ammoniak allemaal omgevormd wordt naar waterstof). Een alternatief is het transporteren van ammoniak via buisleidingen. Vragen die bij de keuzes een rol kunnen spelen zijn: welke modaliteiten (of een combinatie hiervan) passen het beste binnen de visie voor het doorvoeren van waterstofrijke energiedragers? Zijn er mogelijkheden om import en afname elders dichterbij elkaar te brengen?

### **Keuze 4. Bepaal of je alleen inzet op een waterstofbuisleidingnetwerk of ook op een ammoniakbuisleiding in de Delta Corridor**

Wanneer alleen wordt ingezet op een waterstofbuisleidingnetwerk is het van groot belang om nu al te starten met het plannen van ammoniakkrakers om de geïmporteerde ammoniak te kraken naar gasvormige waterstof. Als er ook naar wordt gestreefd om buisleidingen voor ammoniak in te zetten, zal ook bepaald moeten worden wat de specificaties zijn van een buisleiding voor ammoniak en welke partijen daarop aangesloten worden. Hieruit volgt ook een onvermijdelijke afstemming met nationale (of decentrale) medeoverheden, private partijen en ook met buurlanden en marktpartijen over de grens. Dat is een proces dat jaren kan duren, dus het is belangrijk deze keuzes spoedig te maken. Niet in de laatste plaats omdat vertraging van de aanleg van deze buisleidingen tot transportbewegingen over het land of het water kunnen leiden. Vragen die met deze keuze samenhangen zijn: welke aanbieders moeten ontsloten worden (denk aan de Rotterdamse haven, North Sea Port, maar ook de haven van Antwerpen)? Wie zijn de afnemers van de ammoniak? Welke specificaties (omvang, druk, et cetera) zal de buisleiding moeten hebben? Hoe kan de tracékeuze een zo veilig mogelijke worden?

---

<sup>2</sup> Deze keuze is niet nieuw en staat ook in ons vorige rapport (de Ketenstudie<sup>2</sup>). Hierin gaven wij aan: 'Mocht ammoniak in de energietransitie een grote vlucht nemen, dan zal de Rijksoverheid een uitspraak moeten doen over de wenselijkheid van ammoniak en hier, indien nodig, nieuw beleid rond formuleren' Zie het rapport van de [Ketenstudie hier](#).



## **Keuze 5. Maak een keuze tussen duidelijkheid en flexibiliteit**

In de transitie is de balans belangrijk tussen het geven van duidelijkheid en het scheppen van ruimte voor nieuwe technologieën en opties. In het bedrijfsleven is duidelijkheid nodig omdat het bedrijfsleven grote meerjarige investeringen moet doen. Het hoge tempo van de energietransitie maakt dat er op korte termijn keuzes op ons afkomen. Duidelijkheid nu (bijvoorbeeld ‘we gaan de Delta Corridor aanleggen met een ammoniakbuisleiding’) kan echter leiden tot lock-in-effecten. Nu de keuze maken voor een uitgebreide ammoniakinfrastructuur kan mogelijk verhinderen dat over tien tot vijftien jaar andere, meer optimale opties tot ontwikkeling kunnen komen (bijvoorbeeld rond LH2).

## **Slotoverweging**

Dit onderzoek beoogt bij te dragen aan structurele keuzes die gemaakt moeten worden met betrekking tot externe veiligheidseffecten, in relatie tot de transitie naar het gebruik van nieuwe waterstofrijke energiedragers. De grote volumes en stromen die kunnen ontstaan, zullen veel uitdagingen met zich meebrengen. Vroegtijdige aandacht hiervoor is van groot belang om pro-actief duidelijke kaders te ontwikkelen die zowel een voorspoedige ontwikkeling van de inzet van die nieuwe waterstofrijke energiedragers mogelijk maakt als de veiligheid voor de omgeving bij de mogelijke volumes en stromen waarborgt. Pro-actief handelen nu kan voorkomen dat er later alsnog maatregelen moeten worden genomen met mogelijk relatief hoge kosten om de veiligheid te borgen.

## HOOFDSTUK 1.

# Introductie

## 1.1 Achtergrond

De energievoorziening in Nederland gaat veranderen. Door verschillende oorzaken kan de mate waarin de duurzame waterstofrijke energiedragers een rol gaan spelen in de nationale en pan-Europese energievoorziening sterk in omvang verschillen. Denk hierbij bijvoorbeeld aan het onafhankelijk willen worden van Russisch gas, het stoppen van het winnen van Gronings gas, in combinatie met de ambitie om de energievoorziening volledig te verduurzamen. Maar *hoe* de energievoorziening precies gaat veranderen is nog onduidelijk.

In eerder onderzoek van Arcadis en Berenschot<sup>3</sup> is al een analyse gemaakt van wat op hoofdlijnen de veiligheidseffecten kunnen zijn van waterstofrijke energiedragers.<sup>4</sup> Zoals in dit rapport wordt beschreven, zijn er gevaren voor de omgevingsveiligheid bij het gebruik van alle energiedragers, zowel fossiel als non-fossiel. Deze risico's voor de omgevingsveiligheid gelden voor de gehele keten, dus zowel voor de productie, het transport, de omzetting, de opslag en het eindverbruik. Uit het onderzoek volgden meerdere aandachtspunten voor de omgevingsveiligheid van met name ammoniak (zowel samengeperst als vloeibaar gemaakt gas) en waterstof (zowel samengeperst als sterk gekoeld vloeibaar gemaakt gas). Om die aandachtspunten beter te kunnen duiden en waar mogelijk ook concreet te maken in de hoeveelheden die worden getransporteerd, hebben de ministeries van Infrastructuur en Waterstaat (hierna: IenW) en Economische Zaken en Klimaat (hierna: EZK) een vervolgonderzoek uit laten voeren.

De onderzoeksresultaten moeten inzicht geven in het mogelijk te verwachten gebruik en de behoefte aan transport van waterstofrijke energiedragers in ons land voor de periode 2030 tot en met 2035 en in de daarvoor beschikbare transportmodaliteiten.<sup>5</sup> Daarnaast is het van belang beter zicht te krijgen op hoe dit uitwerkt voor de omgevingsveiligheid. Het bredere achterliggende doel van het onderzoek is om informatie en handelingsperspectief te bieden voor beleidskeuzen, zodat de omgevingsveiligheid proactief kan worden meegewogen in de besluitvorming voor de energietransitie.

---

<sup>3</sup> Het eindrapport 'Ketenstudie omgevingsveiligheid van duurzame waterstofrijke energiedragers' dat eind 2021 gepubliceerd is, vindt u [hier](#).

<sup>4</sup> Onder waterstofrijke energiedragers verstaan wij chemische stoffen die gebruikt kunnen worden om de energietransitie te verduurzamen. In dit rapport gaan wij vooral in op waterstof zelf, ammoniak en LOHC's, wat wij later uitgebreider zullen toelichten dan in deze voetnoot.

<sup>5</sup> In dit rapport hebben wij het met name over mega- en kilotonnages (Mt of kt) of over Petajoules (PJ). Hier komen wij verder op in dit rapport nog terug.

## 1.2 Doel- en vraagstelling

Waterstof speelt een rol in ons toekomstige energiesysteem, maar over de rol en de veiligheidsrisico's van waterstofrijke energiedragers verschillen de inzichten in de verschillende scenariostudies. Dit onderzoek heeft als doel om de effecten van duurzame waterstofrijke energiedragers op de omgevingsveiligheid te verkennen. Op basis van de verkregen resultaten en scenarioanalyses is het doel van dit onderzoek **allereerst** om een inschatting te geven van de hoeveelheden waterstofrijke energiedragers die verwacht kunnen worden in ons land en de manier waarop deze getransporteerd kunnen worden, zoals over het spoor, de weg, het water en door buisleidingen. Daarbij ligt de focus op de verwachtingen rond de jaren 2030 tot en met 2035, maar wordt indien mogelijk een doorkijk gegeven naar de langere termijn tot 2050. **Het tweede doel** is om kwalitatief inzicht te geven in de betekenis van de te verwachten volumes en beschikbaarheid van modaliteiten voor de omgevingsveiligheid/externe veiligheid in het algemeen en het Basisnet in het bijzonder. In kwalitatieve zin moet er een beeld ontstaan van de locaties waar de stoffen worden benut (opslag, omzetting, overslag) en hoe deze stoffen worden getransporteerd (tussen welke chemische clusters, internationaal, of door de gebouwde omgeving) en welke transportmodaliteiten daarbij (kunnen) worden ingezet. **Ten derde** moet het onderzoek, eveneens kwalitatief, zicht bieden op de noodzaak en rol van (meer) buisleidingen in het energiesysteem en op de eventuele behoefte aan nieuwe tracés en corridors, voor transport van waterstof(dragers). Hierbij is ons ook gevraagd rekening te houden met de reële mogelijkheid dat het transport van fossiele brandstoffen gedurende de transitie zal afnemen.

Voor dit onderzoek zijn de volgende deelvragen geformuleerd:

1. Wat zijn de te verwachten volumes aan te transporteren gasvormige en vloeibare duurzame energiedragers en welke transport- en opslagmodaliteiten kunnen hierbij worden ingezet?
2. Wat is de betekenis van de ontwikkelingen (kwalitatief) voor de belasting van het Basisnet en voor de veiligheid in de omgeving van de overige transportinfrastructuur en in hoeverre speelt een afname van transport van fossiele brandstoffen hierbij een rol?
3. Is er (kwalitatief) zicht op de noodzaak en rol van (meer) buisleidingen in het energiesysteem en op de eventuele behoefte aan nieuwe tracés en corridors, voor transport van waterstof, ammoniak, of mogelijke andere energiedragers?

Het Basisnet is het landelijk aangewezen netwerk voor het vervoer van gevaarlijke stoffen. De ontwikkelingen die spelen rond duurzame waterstofrijke energiedragers vinden niet alleen in Nederland plaats. Daarom hebben wij bij deelvraag 1 ook aandacht voor de mogelijke volumes die kunnen ontstaan in de ons omringende landen, in dit geval Duitsland en België. Hiervoor schetsen wij aan de hand van drie varianten voor de periode 2030 tot en met 2035 een beeld van de te verwachten transportstromen die kunnen ontstaan en de manier waarop de volumes getransporteerd kunnen gaan worden.

## 1.3 Afbakening, werkwijze en onderzoeksmethodiek

Voordat wordt overgaan op de uitkomsten van het onderzoek worden eerst de keuzes en afbakeningen weergegeven die medebepalend zijn geweest voor hoe dit onderzoek is aangepakt:

### 1.3.1 Consortium

Arcadis en Berenschot hebben gezamenlijk ingeschreven op een aanvraag van het Ministerie van IenW. Tegelijkertijd is vanuit het Ministerie van EZK een vergelijkbare vraag gesteld aan TNO. Na de opdrachtverstrekking hebben wij min of meer als consortium geopereerd. Daar waar in dit rapport gesproken wordt over we of wij, bedoelen wij dit gezamenlijke consortium van Arcadis, TNO en Berenschot.

### 1.3.2 Onderzoeksmethoden en proces

Binnen dit onderzoek hebben wij de volgende uitgangspunten en werkwijzen gehanteerd om te komen tot een goede aanpak:

#### Van varianten naar inzicht in veiligheidseffecten

Hoe de ontwikkeling rond het gebruik van hernieuwbare waterstof en daarvan afgeleide energiedragers er precies uit gaat zien, is niet eenduidig te bepalen en niet met zekerheid te voorspellen. Voor het inschatten van de consequenties van die ontwikkeling op de omgevingsveiligheid is het daarom van belang niet uit te gaan van een enkel scenario, maar om meerdere scenario's te bekijken die een beeld geven van de bandbreedte aan mogelijkheden. Deze scenario's (wij noemen deze hier 'varianten') hebben wij getoetst bij betrokken actoren, zodat de ontstane varianten op een zo breed mogelijk draagvlak kunnen rekenen. Deze drie varianten hebben wij zo uitgewerkt, dat deze vanuit verschillende uitgangspunten diverse **mogelijke** toekomstbeelden schetsen. De varianten bestaan uit een lage variant, een tussenvariant en een hoge variant. De lage variant (variant 1) is gebaseerd op de minimale eisen voor inzet van zogenoemde 'Renewable Fuels of Non-Biological Origin' (RFNBO)<sup>6</sup> in de industrie en de vervoerssector, die zijn voorgesteld in het proces om te komen tot een herziening van de Europese Renewable Energy Directive (RED). Variant 2 is een tussenvariant. Deze is gebaseerd op de maximale eisen die zijn voorgesteld voor de RED-herziening, die deels zijn gebaseerd op het voorstel voor de waterstofversneller in het REPowerEU-plan. De derde variant is voornamelijk gebaseerd op cijfers over binnenlandse productie en vooral over de import van waterstof die worden gecommuniceerd door de verschillende havenbedrijven in Nederland. Deze hebben ook een relatie met de herziening van de RED maar vormen meer een optelsom van initiatieven voor binnenlandse productie, import, gebruik en doorvoer van waterstof, die zijn ontstaan vooruitlopend op de nieuwe Europese regelgeving. Deze wetgeving wordt verwacht om de doelstelling van 55% reductie van broeikasgasemissies in 2030 te kunnen halen.

Vanuit die scenario's is het mogelijk aan te geven wat de effecten op de omgevingsveiligheid zullen zijn. Hiervoor nemen wij als basis de hoge variant op basis van marktverwachtingen en ambities, omdat deze variant ook de meeste effecten zal hebben op de omgevingsveiligheid. Hiermee is *niet* gezegd dat dit ook de meest waarschijnlijke of meest realistische variant is. De drie varianten zijn gebruikt vooral om een bandbreedte van effecten aan te geven.

#### Eenheden

In de energietransitie komen veel verschillende maten, grootheden en eenheden voor die voor de niet ingevoerde lezer door elkaar gebruikt lijken te worden. In dit onderzoek maken wij gebruik van in ieder geval de volgende termen:

- Petajoules (PJ): Eenheid voor energie. Het totale Nederlandse energieverbruik is ongeveer 3.000 PJ per jaar).
- Kilo- of megatonnen (kt en Mt: respectievelijk een miljoen en een miljard kilogram van een stof).
- Waterstofequivalenten ( $H_{2,eq}$ : kilo- of megatonnen waterstof opgeslagen in een andere stof, bijvoorbeeld ammoniak<sup>7</sup>).

<sup>6</sup> Renewable Fuels of Non-Biological Origin zijn grotendeels synoniem voor hernieuwbare waterstof die is geproduceerd door splitsing van water in waterstof en zuurstof door middel van elektrolyse. Het omvat echter ook daarvan afgeleide verbindingen zoals ammoniak en e-fuels waaronder e-methanol en e-kerosine.

<sup>7</sup> Een waterstofdrager draagt, zoals de naam al aangeeft, een hoeveelheid waterstof met zich mee. Zo bevat 5,6 ton ammoniak ongeveer één ton waterstof moleculen.

In bijlage 1 hebben wij een overzicht opgenomen van andere eenheden die ook gebruikt worden. Daarnaast hebben we een overzicht gegeven van de hoeveelheid ton die er van een drager nodig is om een ton waterstof in op te slaan. De bovenstaande eenheden zijn binnen dit onderzoek leidend geweest.

## Proces en betrokken actoren

De studie is begeleid door twee ministeries. Gedurende het project hebben wij maandelijks een gezamenlijk projectteamoverleg gevoerd met vertegenwoordigers van de drie bureaus en de beide ministeries. Daarnaast is een klankbordgroep twee keer gevraagd om tussentijdse resultaten te becommentariëren. Deze klankbordgroep bestond naast projectteamleden van de beide ministeries uit vertegenwoordigers van havenbedrijven, vervoerders en koepelorganisaties (in totaal negen extra organisaties). Tot slot zijn de uitkomsten eind november 2022 in een werksessie gepresenteerd en becommentarieerd in een bijeenkomst met een brede vertegenwoordiging van actoren die een rol spelen bij de ontwikkelingen in de energietransitie.

## Onderzoeksmethoden

Binnen dit onderzoek zijn meerdere methoden gebruikt om te komen tot beantwoording van de (deel)vragen. Wij hebben veel rapporten bestudeerd (openbare en vertrouwelijke) waaruit wij de basis hebben geformuleerd voor de drie varianten. Deze varianten zijn vervolgens gevalideerd en aangescherpt op basis van meer dan twintig interviews met enkele tientallen vertegenwoordigers van de ministeries van IenW en EZK (dat waren andere personen dan degenen die direct bij het project betrokken waren), vervoerders, industrie, de havenbedrijven en enkele koepelorganisaties<sup>8</sup>. Daarnaast zijn de inzichten medebepalend geweest voor het bepalen van de effecten op (vervoers)stromen en de omgevingsveiligheid.

Wat betreft de (vervoers)stromen en de omgevingsveiligheid hebben wij er binnen ons consortium voor gekozen om dit door middel van logisch doorredeneren verder uit te werken. Dit is gedaan door te kijken naar welke import- en productiebronnen er zijn, de hoeveelheid duurzame waterstofrijke energiedragers die op locatie gebruikt wordt, en het verschil tussen die twee te beschouwen als vervoerstroom naar andere locaties op basis van de beschikbaarheid van transportmodaliteiten. Dit klinkt hier misschien wat abstract maar zal in hoofdstuk 3 en 4 duidelijk worden gemaakt. Op basis van de omvang van die vervoerstromen hebben wij vervolgens een inschatting gemaakt van de effecten op de omgevingsveiligheid door de stromen qua omvang te projecteren op de logischerwijs te verwachten routes en beschikbare modaliteiten.

## Kwalitatieve beantwoording deelvragen

Binnen de omgevingsveiligheid wordt vaak gesproken over kwantitatieve risico's. Het gaat dan om een getal dat een waarde aangeeft over hoe groot de kans op een ongeval is in combinatie met het overlijden van personen. Kwantitatieve analyse vergt veel tijd en biedt op dit moment nog weinig meerwaarde vanwege te grote onzekerheden in de varianten over de exacte omvang van de stromen en welke modaliteiten exact gebruikt gaan worden. In deze studie worden risico's daarom uitsluitend kwalitatief beschouwd.

---

<sup>8</sup> In bijlage 2 is een overzicht van betrokken partijen opgenomen.

## 1.4 Leeswijzer

In het vervolg van dit rapport gaan wij in op de uitkomsten van ons onderzoek. Hiervoor hebben wij in hoofdstuk 2 de drie verschillende varianten uitgewerkt. Om de leesbaarheid van dit technische hoofdstuk te bevorderen, hebben wij alleen de hoofdpunten van de varianten (aannames, getallen die daarbij horen, et cetera) in dit hoofdstuk opgenomen. De uitgebreidere verantwoording staat in bijlage 3 vermeld. Hierbij hebben we ook geput uit gesprekken en interviews en hebben wij de daaruit voortgekomen relevante informatie ook verwerkt in de cijfers. Deze informatie is uiteraard niet herleidbaar naar de actoren. Aan de hand van de drie varianten hebben wij in hoofdstuk 3 eerst uitgewerkt welke modaliteiten gebruikt kunnen worden voor het transport van duurzame waterstofrijke energiedragers. Vervolgens hebben wij in hoofdstuk 4 de stromen van waterstofrijke energiedragers verder uitgewerkt aan de hand van schema's en diagrammen en hebben deze schematisch op kaarten geplot. In hoofdstuk 5 volgen de conclusies en de reflectie op het vraagstuk. Daarnaast geven wij verschillende opties, die vragen om een aantal structurele keuzes en een nieuw perspectief over het omgaan met gevaarlijke stoffen.

## HOOFDSTUK 2.

# Drie varianten voor volumes

## 2.1 Inleiding

De volumes aan waterstof en waterstofdragers die in de toekomst verwacht kunnen worden, en de snelheid waarmee volumes tot ontwikkeling komen, staan nog allerminst vast. Ze worden beïnvloed door een verscheidenheid aan factoren. Eén van deze invloedrijke factoren is de aanscherping van Europees beleid dat op handen is op het gebied van hernieuwbare energie en brandstoffen. Het gaat daarbij met name om de herziening van de Renewable Energy Directive (RED). Naast de invloed van beleid zijn er ook andere ontwikkelingen in de wereld die (in)direct invloed hebben op de volumes van waterstof(dragers). Bijvoorbeeld de aanhoudende onzekerheid op de fossiele energiemarkten kan de vraag naar waterstof(dragers) doen versnellen. Dit kan vervolgens ook als gevolg hebben dat bedrijven, vanwege strategische redenen, investeringen gaan overwegen in installaties die waterstof(dragers) als energiebron gebruiken. Anderzijds zouden alle onzekerheden rond energiemarkten en de energietransitie ook een aanleiding kunnen zijn voor de trage voortgang, omdat partijen eerst zoveel mogelijk zekerheden willen creëren voordat nieuwe investeringen worden gedaan.

De opgaven of verplichtingen die voortkomen uit de aanstaande herziening van de RED vormen in deze studie een ondergrens. Investerings in een duurzaam energiesysteem die nu al in gang worden gezet door bedrijven met het oog op de periode na 2030 komen mogelijk bovenop de minimale wettelijke vereisten. Deze studie werkt daarom met varianten om de spreiding in toekomstige volumes (en stromen) van waterstofvrije energiedragers handen en voeten te geven, namelijk een ondergrens op basis van de minimale vereisten in de RED, een variant met de verwachte maximale eisen in de RED en een variant op basis van initiatieven in de markt (marktvraag gedreven) als bovengrens. In dit hoofdstuk geven wij op hoofdlijnen weer welke keuzes hierbij gemaakt zijn en wat de verschillen zijn tussen die varianten.

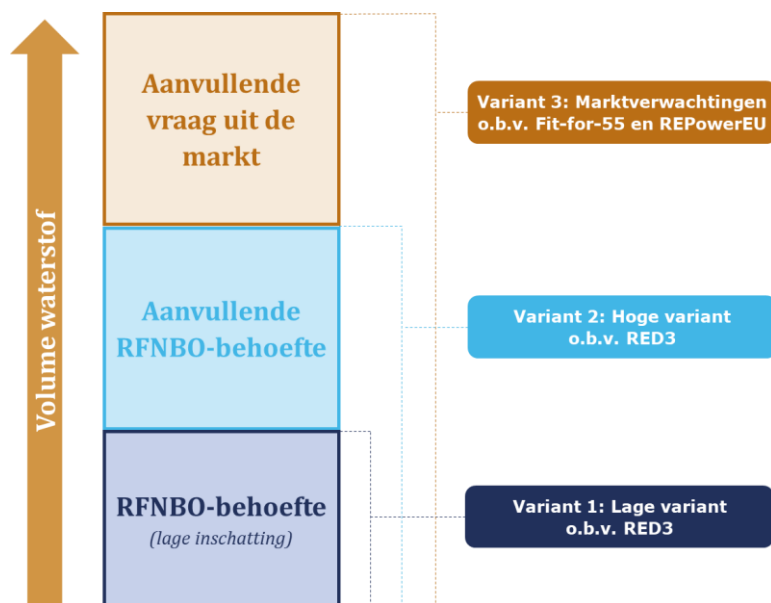
De twee varianten op basis van de RED zijn gebaseerd op de gehanteerde bandbreedte binnen de RFNBO-doelen<sup>9</sup>, waarbij de eerste variant uitgaat van de minimale doelen en de tweede variant van de maximale doelen. De derde variant gaat uit van initiatieven vanuit de markt en verwachtingen van havenbedrijven over importstromen aan waterstof(dragers) die nodig zijn om de Europese Fit-for-55-doelstellingen te kunnen halen (Zie figuur 1).

---

<sup>9</sup> RFNBO staat voor 'Renewable Fuels of Non-Biological origin'. Hernieuwbare brandstoffen die een niet-biologische oorsprong kennen. In de praktijk gaat dit vaak om waterstof of synthetische brandstoffen op basis van waterstof.



Tot slot is het van belang om op te merken dat variant 1 en 2 alleen gaan over productie, import en gebruik van hernieuwbare waterstof en waterstofdragers. In variant 3 kan het ook import van koolstofarme waterstof en waterstofdragers betreffen. In alle varianten is het voor Nederland echter niet het gehele beeld voor waterstof. De hernieuwbare waterstof zal de bestaande waterstofproductie op basis van aardgas voorlopig niet geheel vervangen. Ook wordt in Rotterdam en Zeeland een grote hoeveelheid productie en gebruik van waterstof voorzien op basis van methaanrijk restgas van raffinaderijen en van naftakrakers. Dit zal worden gedaan in combinatie met afvang en opslag van CO<sub>2</sub> om zodoende het restgas te decarboniseren en CO<sub>2</sub>-emissiereductie te bewerkstelligen. Deze waterstof en de resterende bestaande productie na vervanging door hernieuwbare waterstof zullen lokaal en in bestaande toepassingen in plaats van het restgas worden gebruikt. Deze hoeveelheden zijn daarom buiten de beschouwing gelaten in de varianten en niet opgenomen in de schema's en figuren van de varianten. Op termijn zal ook deze waterstof een weg kunnen vinden naar andere afnemers.



Figuur 1. Schematisch overzicht van de relatie tussen de drie varianten.

Om de volumes aan waterstofrijke energiedragers binnen deze varianten vast te stellen, wordt vanuit een aantal uitgangspunten gewerkt, namelijk:

- Algemene uitgangspunten:
  - Als zichtjaar voor de volumes wordt gewerkt met de range 2030 tot en met 2035, het exacte jaartal is afhankelijk van de snelheid van de ontwikkelingen.
  - De volumes waterstof en waterstofdragers die door Nederland vervoerd worden zijn onder andere afhankelijk van de ambities van andere landen.
- Import en productie:
  - Voor de periode 2030-2035 vindt import vooralsnog alleen plaats per schip via de havens.
  - Een groot deel van de import en productie (met name in variant 3) wordt doorgevoerd naar het buitenland (meer dan de Nederlandse vraag).
  - Tussen de havens bestaan verschillen in ambities en welke dragers de voorkeur hebben (namelijk de focus op of ammoniak, of vloeibare waterstof, of LOHC).
- Industrie:
  - Veel industrieclusters bevinden zich op een importlocatie van waterstof en/of produceren eigen waterstof. Veel hiervan wordt vervolgens binnen het cluster weer gebruikt.
  - In het cluster Limburg wordt weinig eigen productie van (hernieuwbare) waterstof via elektrolyse verwacht. Hierdoor zijn de chemische bedrijven binnen dit cluster afhankelijk van waterstofstromen vanuit de havens of productielocaties elders.

- De huidige ammoniakproductie kan vervangen worden door import van ammoniak of door eigen hernieuwbare waterstofproductie, maar heeft gevolgen voor betrokken industriële complexen die verder gaan dan waterstof alleen. Hetzelfde geldt voor methanol.
- Transport:
  - Er zijn momenteel geen signalen dat de volumes nu al een vlucht nemen in het vervoer door Nederland (waterstof is nog beperkt en neemt niet snel toe; ammoniak nog helemaal niet).
  - Er worden geen grote knelpunten voorzien in de geplande waterstofbuisleidingnetwerken voor gasvormige waterstof.
  - Regionale waterstofnetten worden niet verwacht voor 2030 tot en met 2035; deze zijn afhankelijk van andere ontwikkelingen (regionale behoeften).
  - Ammoniak is (technisch) al bekend, LOHC en vloeibare waterstof zijn nog in ontwikkeling (denk aan tanks, et cetera).

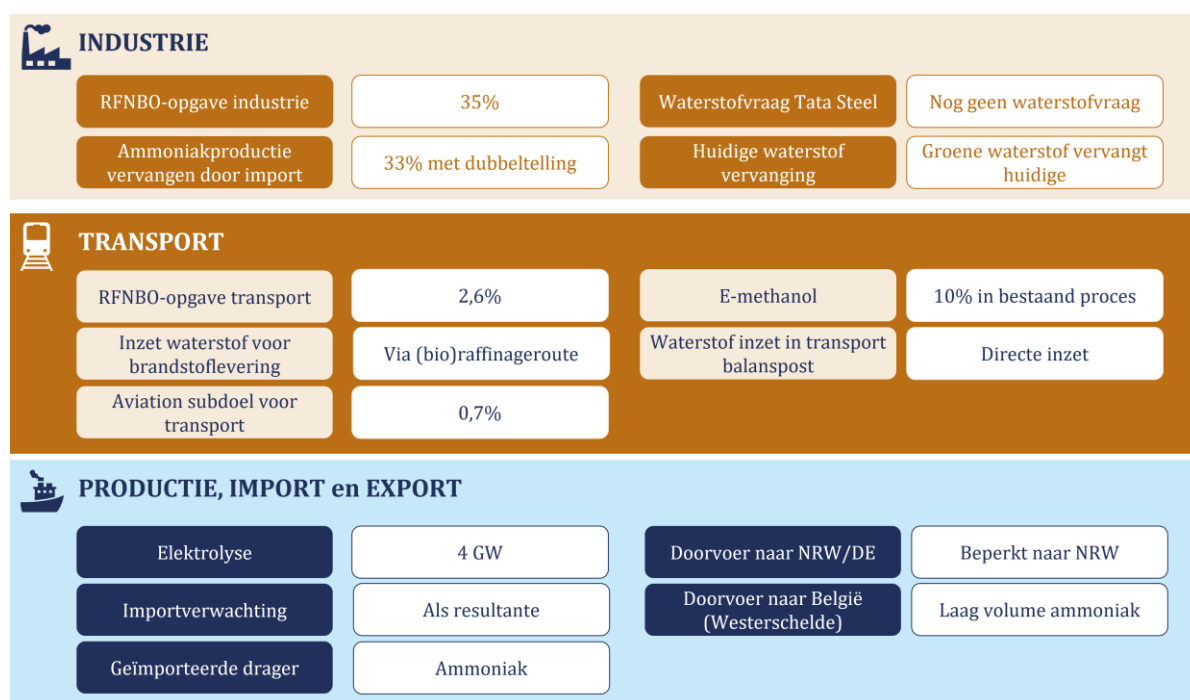
Met deze aannames als achtergrond hebben we vervolgens de verschillende varianten verder uitgewerkt. Daarbij geven we per variant een beeld van de import, productie, het gebruik in de industrie en het transport van de benodigde waterstofrijke energiedragers. Er is nog een aantal andere aannames en keuzes die verder toegelicht zijn in een uitgebreide toelichting in bijlage 3.

In de volgende paragrafen lichten we de aannames per variant op hoofdlijnen toe. Paragraaf 2.4 geeft vervolgens inzicht in de verschillen tussen de varianten.

## 2.2 Variant 1 – Lage inschatting RFNBO-behoefte

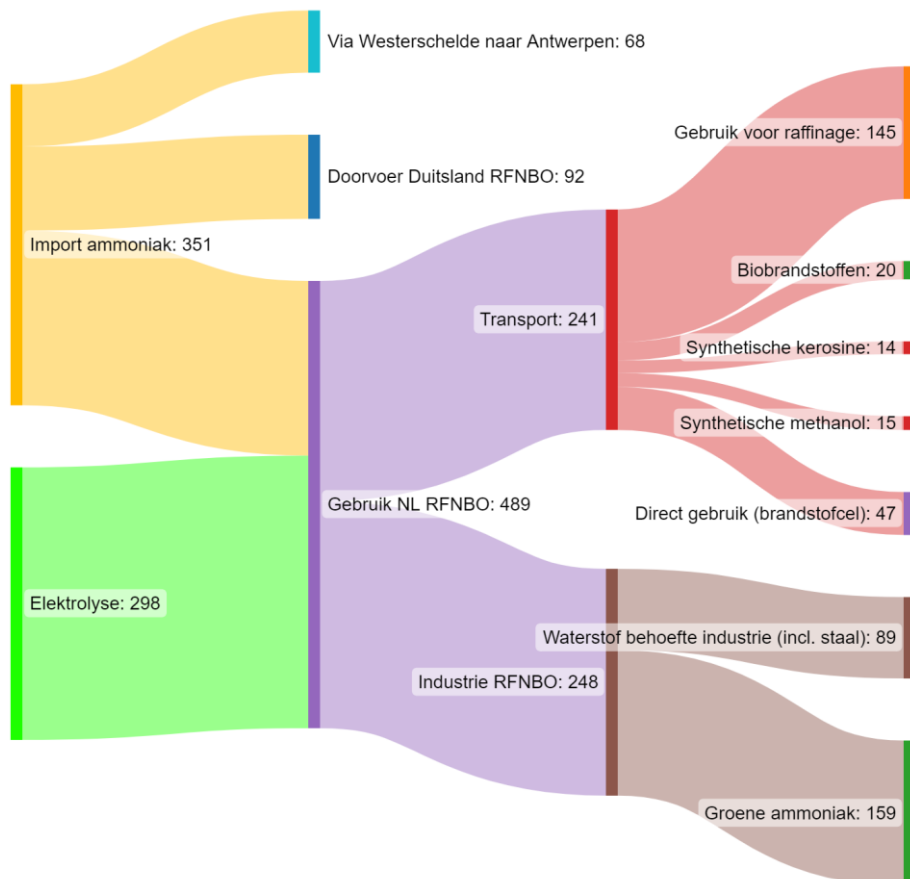
Deze variant gaat uit van de minimumdoelstellingen voor gebruik van RFNBO in de industrie en levering van RFNBO aan de sector vervoer volgens de wijzigingsvoorstellen voor de RED3. Figuur 2 geeft een samenvatting van de belangrijkste uitgangspunten, met in bijlage 3 een meer gedetailleerde uitwerking van deze variant.

Belangrijk in deze variant is dat de binnenlandse elektrolysecapaciteit is gebaseerd op de huidige kabinetsplannen van vier GW elektrolysecapaciteit in 2030. De import van waterstof(dragers) volgt als een resultante van de vraag naar waterstof en het aanbod van de binnenlandse waterstofproductie.



Figuur 2. Overzicht van de belangrijkste uitgangspunten in variant 1.

Met deze uitgangspunten is het mogelijk om inzicht te geven in het totale aanbod en vraag naar waterstofrijke energiedragers binnen deze variant. Figuur 3 geeft inzicht in deze waterstofstromen, waarbij de hoeveelheid wordt uitgedrukt in waterstofequivalenten, oftewel de hoeveelheid waterstof in bepaalde dragers.<sup>10</sup> In deze variant kan Nederland voor ongeveer 60% in de eigen behoefte aan hernieuwbare waterstof voorzien, zoals geraamd voor de periode 2030 tot en met 2035.

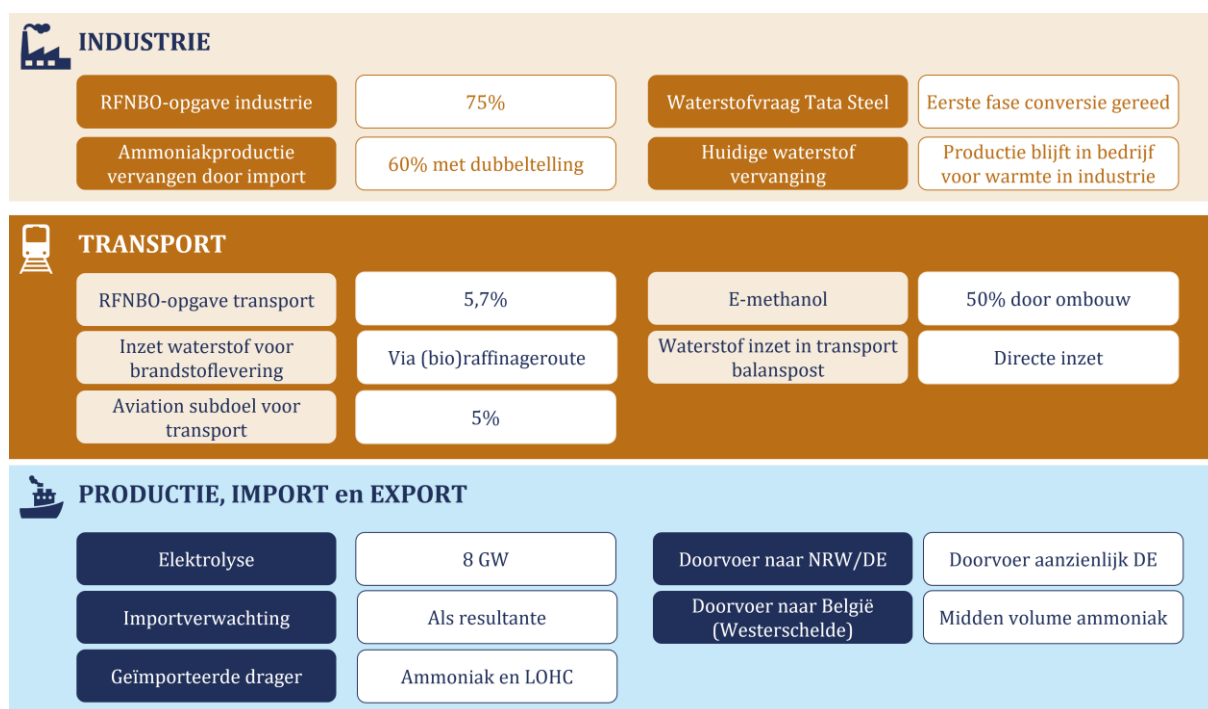


Figuur 3. Vraag en aanbod van RFNBO voor variant 1 (in kt H<sub>2,eq</sub>).

## 2.3 Variant 2 – Hoge inschatting RFNBO-behoefte

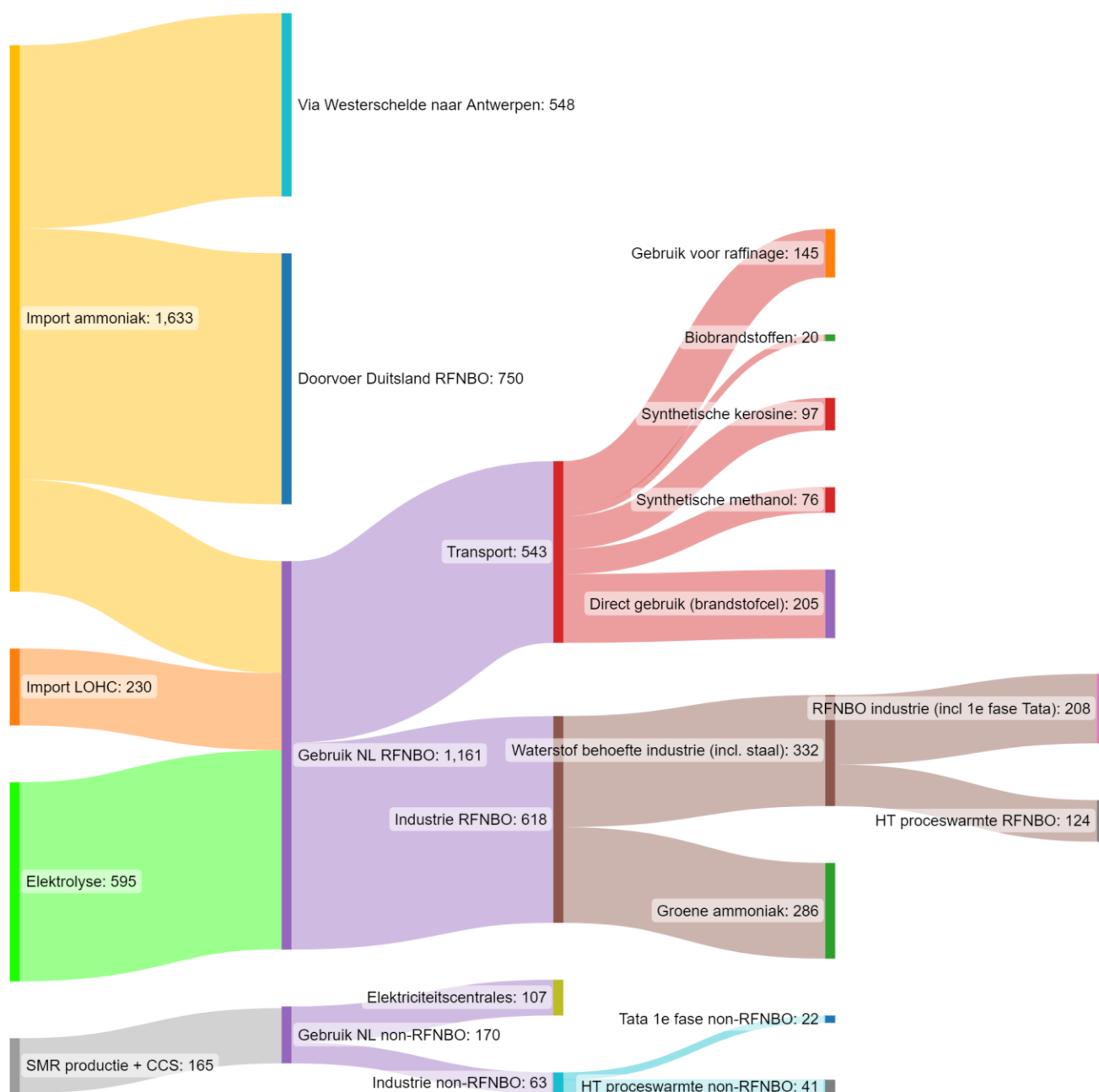
De tweede variant gaat uit van de maximale doelstellingen die in de wijzigingsvoorstellen voor de RED3 worden genoemd, inclusief de waarden waartoe het REPowerEU-plan oproept. In Figuur 4 zijn de belangrijkste uitgangspunten voor deze variant samengevat. In bijlage 3 is deze variant gedetailleerd uitgewerkt. Belangrijk in deze variant is dat de binnenlandse elektrolyse capaciteit is gebaseerd op de ambities van de sector, bevestigd in de Tweede Kamer om acht GW elektrolyse capaciteit beschikbaar te hebben in 2030. De import van waterstof(dragers) is een resultante en volgt uit het verschil tussen de binnenlandse hernieuwbare waterstofproductie enerzijds en anderzijds uit de maximale verplichtingen voor inzet van RNFBO (op basis van de RED in combinatie met een bovengrensschatting voor import van waterstof in Duitsland via Nederland in de periode 2030-2035 uit een gezamenlijke Nederlands-Duitse analyse). Ook voor deze variant is een uitgebreide beschrijving en gedetailleerde uitwerking beschikbaar in bijlage 3.

<sup>10</sup> In bijlage 2 hebben wij een tabel opgenomen die de conversie weergeeft van de dragers naar waterstofequivalenten.



Figuur 4. Overzicht van de belangrijkste uitgangspunten in variant 2.

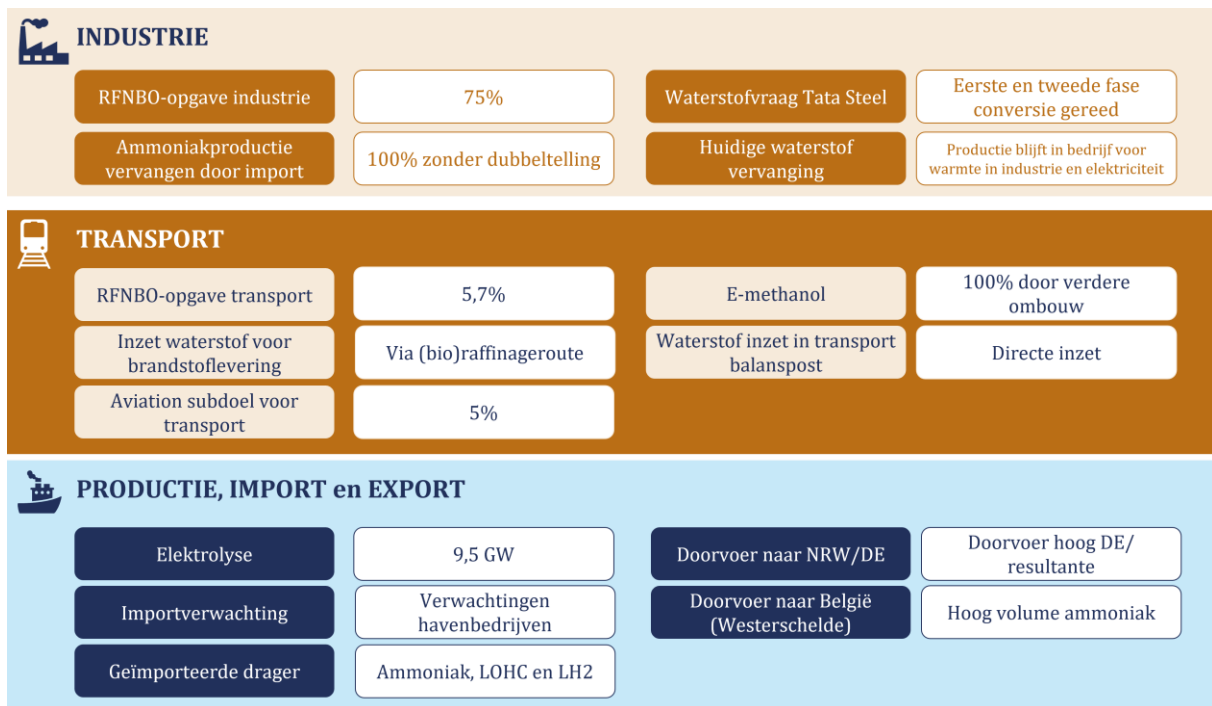
Figuur 5 geeft het overzicht van het totale aanbod en de vraag naar waterstofdragers. Alle hoeveelheden zijn uitgedrukt in kiloton waterstofequivalent. In deze variant kan Nederland voor ongeveer 50% in de eigen behoefte aan hernieuwbare waterstof voorzien, zoals geraamd voor 2030 tot en met 2035 binnen deze variant. Daarnaast is ervan uitgegaan dat de bestaande Steam Methane Reformers (SMRs) niet ver genoeg kunnen afschalen en daarom, in combinatie met een CCS-installatie voor het afvangen van CO<sub>2</sub>, voor een deel koolstofarme waterstof zullen leveren aan andere dan de huidige toepassingen. Hierbij is meegenomen dat gebruik voor vervanging van aardgas voor warmte in de industrie leidt tot extra gebruik van waterstof en daarmee tot een verhoging van de grondslag van de RFNBO-verplichting. Inzet van waterstof voor elektriciteitsproductie valt niet onder de RFNBO-verplichting.



Figuur 5. Vraag en aanbod van RFNBO en koolstofarme waterstof voor variant 2 (in kt H<sub>2,eq</sub>).

## 2.4 Variant 3

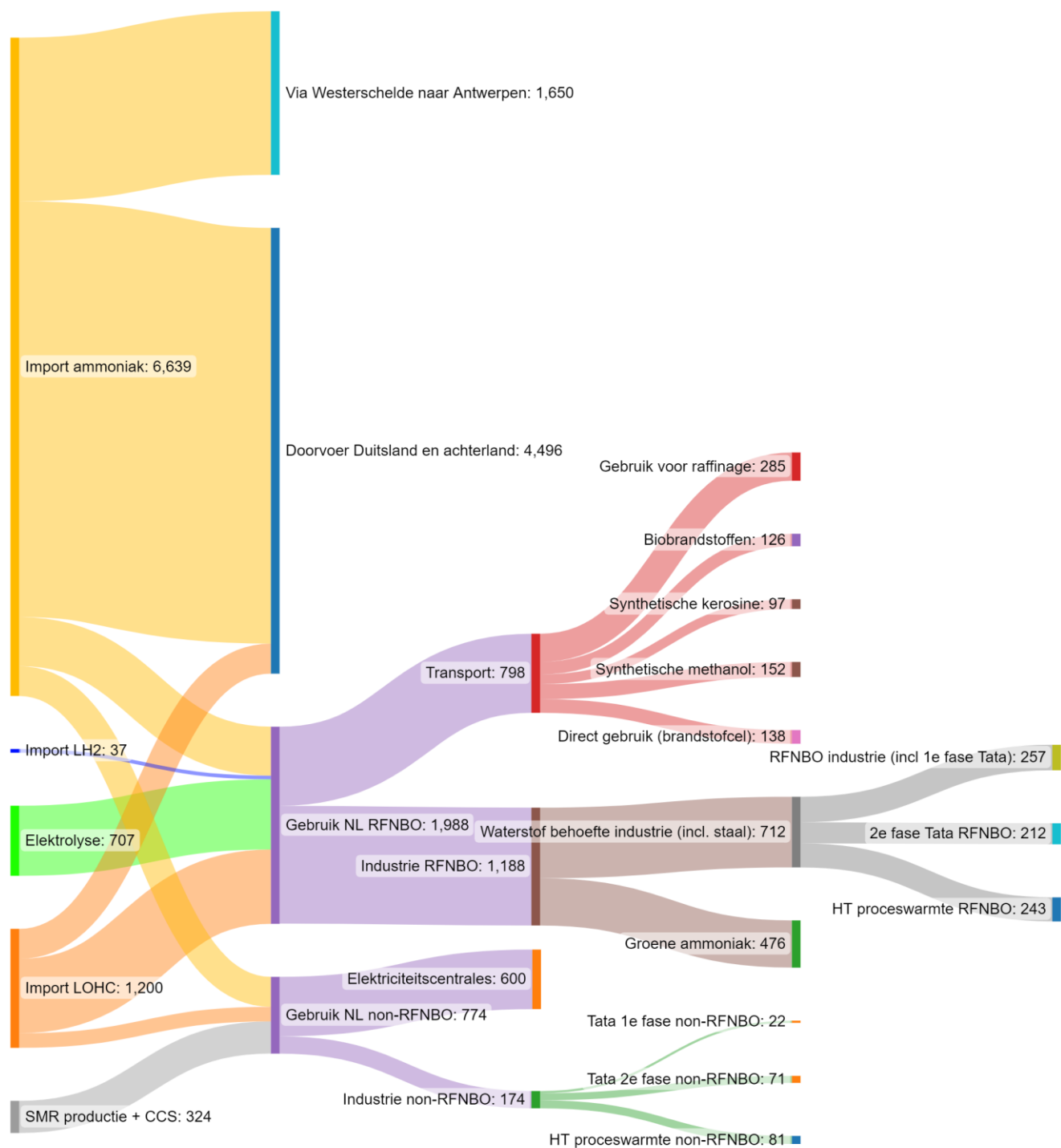
In variant 3 zijn dezelfde uitgangspunten gehanteerd als in variant 2 in relatie tot de vereisten die in het REPowerEU-plan en de wijzigingsvoorstellen voor de RED3 worden genoemd. In variant 3 zijn aanvullende aannames gedaan op basis van verwachtingen vanuit de markt. In bijlage 3 hebben we deze variant gedetailleerd uitgewerkt. De importverwachtingen van de grote zeehavens zijn sterk bepalend in deze variant. In deze variant is daarom niet de importbehoefte maar de doorvoer naar Duitsland en het achterland een resultante van vraag en aanbod. In deze variant is de elektrolysecapaciteit gebaseerd op een schatting van de initiatieven die er nu in de markt zijn.



Figuur 6. Overzicht van belangrijkste uitgangspunten in variant 3.

Figuur 7 geeft het overzicht van het totale aanbod en de vraag naar waterstofdragers. Alle hoeveelheden zijn uitgedrukt in kiloton waterstofequivalent. In deze variant is verondersteld dat alle binnenlandse productie van ammoniak wordt vervangen door import van groene ammoniak. Verder is het gebruik van waterstof in de industrie maximaal opgerekt door volledige conversie van Tata te veronderstellen naar een op waterstof gebaseerd proces voor reductie van ijzererts. Ook is aanzienlijke vervanging van aardgas door waterstof voor proceswarmte aangenomen. Ondanks de aanname van 9.5 GW binnenlandse elektrolyse kan de productie hiervan daarom slechts voor ongeveer 35% voorzien in de eigen RFNBO-behoefte.

Verder is volledige vervanging verondersteld van de huidige waterstofinzet via de raffineroute door hernieuwbare waterstof, waardoor meer koolstofarme waterstof overblijft voor andere toepassingen. Dit kan voor dekking van het niet RFNBO-deel in de nieuwe industrievraag (Tata en warmte) worden ingezet en verder voor elektriciteitsproductie in centrales. Ondanks het sterk oprekken van de vraag naar hernieuwbare waterstof is in deze variant het aanbod van waterstof via import veel groter dan de behoefte op basis van de maximale verplichtingen vanuit een herziene RED die in deze variant is verondersteld. Om de balans kloppend te maken is nog enige extra inzet van geïmporteerde waterstof aangenomen voor elektriciteitsproductie en is ingeschat dat de rest wordt doorgevoerd naar Duitsland.



Figuur 7. Vraag en aanbod van RFNBO en koolstofarme waterstof voor variant 3 (in kt H<sub>2,eq</sub>).

## 2.5 Vergelijking van varianten

Om de varianten goed te kunnen vergelijken presenteren we in tabel 1 de uitgangspunten van de drie varianten naast elkaar. Deze uitgangspunten worden zoals eerder al benoemd in detail toegelicht in bijlage 3. Daarbij gaan we ook dieper in op de uitsplitsing naar type drager en de doorvoer naar andere landen.

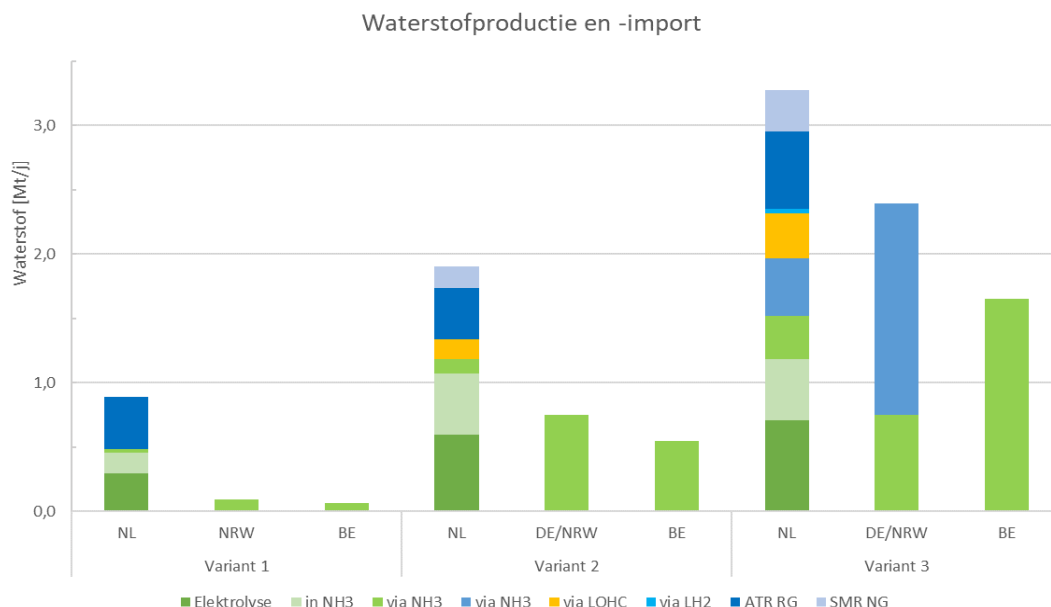
Tabel 1. Overzicht varianten (industrie, transport, productie, import en export).

|                             |                                             | Variant 1: Lage variant<br>o.b.v. RED3 | Variant 2: Hoge variant<br>o.b.v. RED3               | Variant 3: Marktverwachtingen<br>o.b.v. Fit-for-55 en REPowerEU       |
|-----------------------------|---------------------------------------------|----------------------------------------|------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| Industrie                   | RFNBO-opgave industrie                      | 35%                                    | 75%                                                  | 75%                                                                   |
|                             | Ammoniakproductie vervangen door import     | 33% met dubbeltelling                  | 60% met dubbeltelling                                | 100% zonder dubbeltelling                                             |
|                             | Waterstofvraag Tata Steel                   | Nog geen waterstofvraag                | Eerste fase conversie gereed                         | Eerste en tweede fase conversie gereed                                |
|                             | Huidige waterstof (g) vervanging            | Groene waterstof vervangt huidige      | Productie blijft in bedrijf voor warmte in industrie | Productie blijft in bedrijf voor warmte in industrie en elektriciteit |
| Transport                   | RFNBO-opgave transport                      | 2,6%                                   | 5,7%                                                 | 5,7%                                                                  |
|                             | Inzet waterstof (g) voor brandstoflevering  | Via (bio)raffinageroute                | Via (bio)raffinageroute                              | Via (bio)raffinageroute                                               |
|                             | Aviation subdoel voor transport             | 0,7%                                   | 5%                                                   | 5%                                                                    |
|                             | E-methanol                                  | 10% in bestaand proces                 | 50% door ombouw                                      | 100% door verdere ombouw                                              |
|                             | Waterstof (g) inzet in transport balanspost | Directe inzet                          | Directe inzet                                        | Directe inzet                                                         |
| Productie, import en export | Elektrolyse                                 | 4 GW                                   | 8 GW                                                 | 9,5 GW                                                                |
|                             | Importverwachting                           | Als resultante                         | Als resultante                                       | Verwachtingen HB's                                                    |
|                             | Geïmporteerde drager                        | Ammoniak                               | Ammoniak en LOHC                                     | Ammoniak, LOHC en LH2                                                 |
|                             | Doorvoer naar NRW/DE                        | Beperkt naar NRW                       | Doorvoer aanzienlijk DE                              | Doorvoer hoog DE                                                      |
|                             | Doorvoer naar België (Westerschelde)        | Laag volume ammoniak                   | Midden volume ammoniak                               | Hoog volume ammoniak                                                  |

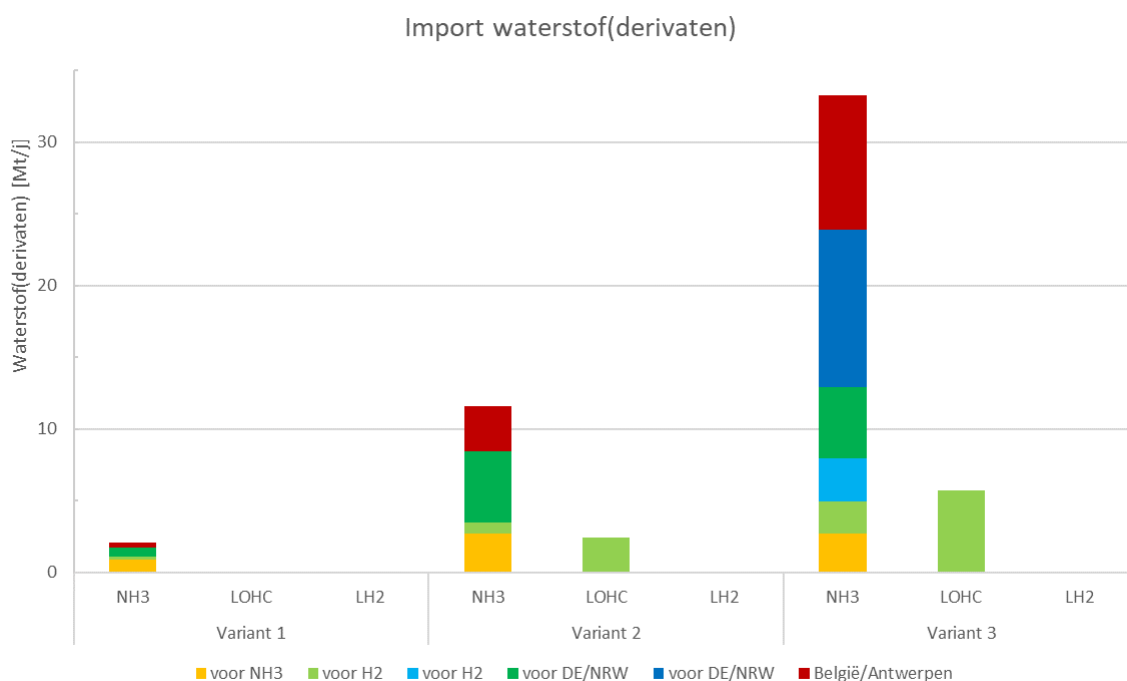
In figuur 8 geven we een totaaloverzicht van waterstofimport en -productie in Nederland, Duitsland en België. Daarbij vallen direct de grote verschillen tussen de varianten op, in zowel doorstroom als eigen verbruik van waterstof. Hierbij wordt onderscheid gemaakt naar groene ammoniak, die wordt geproduceerd op basis van hernieuwbare, groene waterstof, en blauwe ammoniak die wordt geproduceerd op basis van waterstof van fossiele bronnen waarbij de CO<sub>2</sub> die wordt gevormd bij de productie wordt afgevangen en opgeslagen. Variant 3 is de variant met verreweg de grootste volumes en daarmee ook de variant die potentieel de grootste aandachtspunten oplevert voor de omgevingsveiligheid in Nederland. Met het oog hierop is variant 3 daarom gebruikt als basis voor de uitwerking van veiligheidseffecten in de volgende twee hoofdstukken. Daarmee is *niet* gezegd dat deze variant ook de meest waarschijnlijke of realistische variant is voor de periode 2030-2035<sup>11</sup>.

<sup>11</sup> Ter illustratie: De hoeveelheid ammoniakimport in variant 3 in Nederland bedraagt ongeveer acht keer de gemiddelde totale hoeveelheid import van ammoniak in de EU in de afgelopen 10 jaar. Het vergt een uitbreiding van terminalcapaciteit met ruim een factor 80. Daarbij hoort in dezelfde periode ook minimaal dezelfde ontwikkeling aan nieuwe productie- en terminalcapaciteit aan de exportkant en de bouw van een bijbehorende vloot aan schepen voor het transport van de ammoniak. Zie voor een nadere toelichting bijlage 3.





Figuur 8. Totaaloverzicht voor de drie varianten van waterstofimport en -productie van Nederland, België en Duitsland.



Figuur 9. Totaaloverzicht voor de drie varianten van de import van waterstof(dragers) voor Nederland, België en Duitsland in megatonnen per jaar (NB LH2 wordt ook voorzien maar in een op deze schaal niet zichtbare hoeveelheid).

In figuur 9 bedoelen we met 'voor NH<sub>3</sub>' ammoniak die wordt geïmporteerd en waar het eindgebruik ook ammoniak is, in Nederland. Bij 'voor H<sub>2</sub>' wordt ammoniak geïmporteerd, maar betreft het eindgebruik van waterstof in Nederland. Bij 'voor DE/NRW' gaat het om import van ammoniak bestemd voor een vraag naar waterstof of ammoniak in Duitsland/ Noordrijn-Westfalen. De kleur bij 'voor DE/NRW' geeft aan of dit groene ammoniak is of blauwe ammoniak kan zijn. De bijdrage voor België betreft import van waterstofdragers naar de Antwerpse haven. Dit verloopt via de Westerschelde (in Nederland), waarmee deze import ook invloed heeft op de omgevingsveiligheid in Nederland.

## 2.6 Doorkijk naar 2050

We hebben in deze analyse drie varianten geschetst voor de periode 2030 tot en met 2035 om een bandbreedte te geven van de mogelijke volumes/tonnages van waterstofrijke dragers in en door Nederland. De bandbreedtes tussen deze drie varianten zijn al groot op relatief korte termijn. Bij projecties waarin nog eens twintig jaar verder vooruit gekeken wordt, zal de bandbreedte nog groter zijn.

Om dan een goed beeld te geven van hoe de stromen van waterstofrijke dragers door Nederland zullen stromen, is zeer moeilijk en afhankelijk van belangrijke vragen als: blijven de bedrijfseconomische condities voor de energie-intensieve industrie in Nederland voldoende gunstig of verdwijnt die industrie geleidelijk onder invloed van de energietransitie? Hoe ontwikkelen verschillende technologieën voor import van waterstof zich? Wat wordt het aandeel van waterstof in de elektriciteitsmix? Hoeveel wind op zee kan er worden ontwikkeld en wat wordt de rol van offshore waterstofproductie? Op welke termijn kan import van gasvormige waterstof mogelijk worden uit Noord-Afrika en elders uit Europa via een Europese pijpleidinginfrastructuur? Welke importroutes ontstaan er voor andere landen in Europa, bijvoorbeeld via de Duitse, Belgische en Franse havens? Allemaal vragen met een grote mate van onzekerheid, met een grote impact en die moeilijk te beantwoorden zijn.

Duidelijk lijkt wel dat als grootschalige import van hernieuwbare waterstof al plaats gaat vinden in de periode 2030-2035 dit dan hoogstwaarschijnlijk vooral gebeurt in de vorm van ammoniak. De reden hiervoor is dat dit de enige optie is waarvoor de technologie al op schaal beschikbaar en bewezen is. Daarnaast is het niet alleen een bron voor waterstof maar kan het ook direct binnenlandse productie van ammoniak vervangen en als basisproduct worden ingezet voor onder andere de productie van kunstmest en kunststoffen. Mogelijk dat het zelfs direct kan worden gebruikt als brandstof.

De totale hoeveelheid ammoniak zoals geschetst in variant 3 is dermate groot dat de kans dat dit bewaarheid wordt niet groot is, zeker niet voor de periode 2030-2035. De hoeveelheid waterstof die de ammoniak in variant 3 vertegenwoordigt, behoort echter wel tot de mogelijkheden, zeker op de iets langere termijn. Voor de periode na 2030-2035 moet dan echter ook rekening worden gehouden met andere opties voor import dan ammoniak.

De verwachting is dat na die periode ook andere opties voor import van hernieuwbare waterstof per schip op schaal beschikbaar komen, waardoor er een meer gemengd beeld kan ontstaan. Ook kan tegen die tijd import van gasvormige waterstof via een Europese pijpleidinginfrastructuur tot ontwikkeling komen die de noodzaak voor import per schip beperkt. Tegelijkertijd zou offshore waterstofproductie een vlucht kunnen nemen, omdat anders verdere ontwikkeling van offshore wind op de Noordzee tot stilstand zou kunnen komen. Tot slot blijft het de vraag hoe groot de behoefte aan hernieuwbare waterstof nu precies gaat worden. Blijft het vooral beperkt tot een basisproduct voor de chemische industrie of gaat het een brede rol als energiedrager vervullen voor proceswarmte in de industrie, voor vervoerstoepassingen, voor elektriciteitsproductie en misschien zelfs wel voor ruimteverwarming in de gebouwde omgeving daar waar andere opties blijvend tekortschieten.

Enerzijds biedt ammoniak dus de mogelijkheid om binnen afzienbare termijn hernieuwbare waterstof in aanzienlijke hoeveelheden te importeren. Anderzijds zijn er vele andere mogelijkheden in ontwikkeling en zijn er nog grote onzekerheden rond de daadwerkelijke behoefte aan hernieuwbare waterstof en de termijn waarop die zich ontwikkelt. Als gevolg hiervan rijst de vraag in welke mate ammoniak robuust is en of vroegtijdig investeren in grootschalige infrastructuur niet het gevaar van een lock-in in zich heeft. Niettemin is het de verwachting dat ammoniak een rol gaat spelen die aanzienlijk groter is dan op het ogenblik en daar zal vanuit veiligheidsbeleid hoe dan ook op geanticipeerd moeten worden.

## HOOFDSTUK 3.

# Modaliteiten voor en veiligheid van waterstofdragers

In dit hoofdstuk worden de modaliteiten toegelicht die gebruikt kunnen worden om waterstofrijke energiedragers te vervoeren. Na het lezen van dit hoofdstuk zal duidelijk worden dat niet elke modaliteit in *de huidige situatie* even geschikt is om te gebruiken voor grootschalig transport vanwege technische, beleidsmatige of logistieke beperkingen en/of uitdagingen. Hierbij omschrijven wij allereerst in paragraaf 1 op hoofdlijnen de veiligheidsaspecten van de verschillende energiedragers. In de paragrafen 2 tot en met 5 bespreken wij welke vervoersmogelijkheden er zijn, dus welke modaliteiten ingezet kunnen worden (eventueel inclusief veiligheidsaspecten die bij die modaliteiten kunnen spelen). Wij bespreken dan achtereenvolgens:

- vervoer via (vaak nog aan te leggen of aan te passen) buisleidingen
- vervoer via het spoor
- vervoer over de weg
- vervoer over het water.

Dit wordt gedaan voor alle waterstofrijke energiedragers die aan bod zijn gekomen in de varianten, namelijk:

- vloeibare waterstof
- gasvormige waterstof
- ammoniak
- LOHC's.

Bovendien spelen er een aantal afhankelijkheden voor de keuze van deze modaliteiten, zoals de aanwezigheid van krakers om waterstof om te zetten of de aanwezigheid van buisleidingen. Deze afhankelijkheden lichten we toe in paragraaf 6.

## 3.1 Veiligheidsaspecten

### 3.1.1 Ten geleide

Deze paragraaf geeft een samenvatting van de verschillende waterstofrijke energiedragers. Er is veel meer over te vertellen, maar wij beperken ons hier tot de kern. Dit is nuttig voor de minder goed ingevoerde lezer, om zo een oordeel te vormen over de veiligheidsaspecten die gepaard gaan bij die stoffen. Op enkele plekken in dit rapport komen nog veiligheidsaspecten aan de orde wanneer dat nuttig en gepast is. Voor wie meer wil weten over veiligheidsaspecten in de gehele keten, verwijzen wij naar de Ketenstudie van Arcadis en Berenschot.<sup>12</sup>

---

<sup>12</sup> Zie het rapport van de Ketenstudie [hier](#).

### 3.1.2 Waterstof

Qua veiligheidsaspecten wordt er nog veel onderzocht, maar in de basis is waterstof een zeer brandbaar gas en kan bovendien explosief reageren. Hiermee heeft het aanzienlijke effectafstanden waarbij dodelijke slachtoffers kunnen vallen. Een vlam van waterstof roet niet, waardoor de warmteoverdracht minder groot is dan bij de meeste andere brandbare stoffen, aangezien die wel roeten. Waterstofvlammen zijn over het algemeen wel heter dan andere vlammen en bovendien onzichtbaar.

De veiligheidsanalyses vinden vooral nu en in het komende jaar plaats. De kwantitatieve rekenmethodiek voor waterstof in buisleidingen is ook nog niet volledig uitontwikkeld; naar verwachting zal de methodiek in de loop van 2023 worden gepubliceerd. Voor buisleidingen voor aardgas is unieke software beschikbaar en formeel voorgeschreven (het zogeheten Carola-model); voor waterstof is Safeti-NL aangewezen in de methodiek. Berekeningen van Arcadis in de praktijk met het programma Safeti-NL 8.3 voor een ondergronds deel van een nieuwe leiding in de haven van Rotterdam (Tweede Maasvlakte-Pernis) laten zien dat er geen  $10^{-6}$ -contour<sup>13</sup> aanwezig is en dat daarmee aan het Besluit Externe Veiligheid Buisleidingen (Bevb) wordt voldaan. Dit is uiteraard afhankelijk van de kenmerken zoals de druk, de buisdiameter, de diepteligging en de voorziene maatregelen. De omgevingsrisico's zijn ook afhankelijk van de (bebouwde) omgeving en hoeveel mensen daar verblijven. Waar het huidige aardgasnet risicoknelpunten of -aandachtspunten heeft, zal dat voor waterstof geografisch gaan overeenkomen, tenzij het betreffende trajectdeel niet als zodanig blijft gehandhaafd. Tevens is dit afhankelijk van hoe de decentrale overheden na de inwerkingtreding van de Omgevingswet de verantwoording en besluitvorming met betrekking tot groepsrisico zullen gaan invullen.

Voor de verschillende gebouwde of geplande tankstations met een waterstofinstallatie (voor 350 en/of 700 bar) kan men in de uitgewerkte rekenmodellen informatie vinden over scenario's en effecten. Deze bronnen achten we momenteel niet officieel en nog niet geschikt om hier te beschrijven. Bovendien is het de standaardaanpak in risicoanalyses voor externe veiligheid om de risico's vanuit de chemisch-fysische eigenschappen van de stof te beredeneren, en niet vanuit de (hier extra aanwezige) extreme druk in de vaten. Zulke hoge drukken brengen intrinsiek aanvullende risico's met zich mee op explosieve verschijnselen.

Voor berekeningen voor het wegvervoer is het tot nog toe gebruikelijk geweest om de transportvorm tankauto of tankcontainer (bulkvervoer) te verdisconteren. Deze vervoermiddelen hebben na belading een grote hoeveelheid van de stof bij zich en de rekenmethodiek gaat ervan uit dat bij aanrijdingen met grote impact die hoeveelheid zou kunnen vrijkomen. Voor groepsgewijze cilinders en tubes ligt dat iets genuanceerder, maar het voert te ver daar nu uitgebreid bij stil te staan. De rekenmethodiek is op moment van publicatie van dit rapport in stadium van ontwikkeling en de deskundigen zijn hierover in overleg. De verwachting is dat de methodiek begin 2023 beschikbaar en geldig zal zijn. Er komt nog bij dat waterstof onder druk bij de classificering voor het Basisnet Weg is ingedeeld in een categorie die volgens de regels niet wordt meegerekend bij risicomodellen. Waterstof onder druk is dan ingedeeld in een lage risicocategorie, wat inhoudt dat het gas, los van het reële risico, niet meetelt in de regelgeving en de daarbij toegepaste rekenmethodiek.

Waterstofgas onder hoge druk transporteren over water heeft weinig significante veiligheidsaandachtspunten. Voor waterstof vloeibaar – sterk gekoeld zijn er wel aandachtspunten, vanwege de cryogene eigenschappen voor zowel personen als installaties.

---

<sup>13</sup> Dit is de wettelijk bindende norm, waarbij geldt dat iemand in de nabijheid van een risicobron niet meer dan een kans van eens per miljoen jaar mag hebben om op die plek te komen overlijden als gevolg van een ongeval met gevaarlijke stoffen.

### 3.1.3 Ammoniak

De geschiedenis van ammoniaktransport in grote hoeveelheden is ouder en grootschaliger dan die voor waterstof. Ammoniak,  $\text{NH}_3$ , wordt al meer dan honderd jaar industrieel vervaardigd via het Haber-Bosch-proces. Uit de reactie tussen de grondstoffen  $\text{H}_2$  en  $\text{N}_2$  vervaardigt men  $\text{NH}_3$ , dat ofwel ter plaatse, ofwel elders verder wordt toegepast, met name voor de productie van verschillende kunstmestchemicaliën. In Nederland is een dergelijke industrie te vinden in Geleen en in Sluiskil.

De huidige situatie is dat men transporten met ammoniak, waar mogelijk, vermijdt. De stof is giftig en bijtend en wordt door de milieuvorschriften als milieuvervuילend beschouwd, en heeft in potentie een groot effectgebied met potentiële slachtoffers op meer dan 500 meter van het ongeval. De overheid heeft zich ingezet om het risico voor burgers te verkleinen, onder meer door te zoeken naar het verminderen of uitfasen van transport, met name over het spoor. Met de industrie zijn hiertoe in het verleden enkele convenanten afgesloten. Deze zijn recentelijk geëvalueerd.<sup>14</sup>

In het hart van de energietransitie is de waardevolle positie van ammoniak als een relevante en geschikte waterstofdrager internationaal steeds meer een erkende ontwikkeling aan het worden en daarom is het verkennen van de transportmogelijkheden en de veiligheidsaspecten een logische en zinvolle exercitie.

De karakteristieken voor ammoniakbuisleidingen zijn nog een nieuw onderzoeksgebied, waardoor er nog weinig rekenkundige uitkomsten in de praktijk zijn. Er is evenwel al een klein aantal toxische gassen bekend met een buisleiding binnen Nederland. Voorbeelden zijn de ethyleenoxide-leiding, de koolmonoxide-leiding en de vinylchloride-leiding. De stoffen in deze leidingen zijn naast toxisch tevens brandbaar en explosief. Deze andere toxische gasvormige stoffen worden dus in de praktijk per buis getransporteerd, hetgeen bevestigt dat de techniek en de toelating bekend en geaccepteerd zijn. Omdat ammoniak ook sterk corrosief is, blijft het een uitdaging (maar niet onmogelijk) om deze stof permanent veilig te transporteren. De rekenparameters voor ammoniak zijn al wel opgenomen in de Handleiding Risicoberekeningen Bevb van het RIVM.

### 3.1.4 LOHC's

Over de veiligheid van de groep LOHC's kunnen we enerzijds kort zijn, namelijk dat het bij deze LOHC-familie om allemaal brandbare vloeistoffen gaat, maar afgezien van de zuiverheid zijn er anderzijds onderling aanzienlijke verschillen in brandbaarheid, viscositeit, toxiciteit en bijvoorbeeld geur. Voor de omgevingsveiligheid (en het Basisnet) zijn de LOHC's weliswaar niet ongevaarlijk of verwaarloosbaar, maar wel laag ingeschaald. De lichtere stoffen, zoals toluen en methylcyclohexaan dragen bij aan de brandbare vloeistoffenstromen, maar kennen vooral 'korte afstand'-effecten (van enkele tientallen meters). De andere stoffen vloeien en ontsteken minder snel en zijn daarom niet ingedeeld in voor externe veiligheid relevante klassen. Hun toxiciteit verdient wel aandacht. Zo is benzyltolueen bijvoorbeeld ingedeeld als potentiële zeer zorgwekkende stof ((p)ZZS), wat een groot nadeel kan worden voor opschaling en een brede toepassing. Ook N-ethylcarbazol is toxisch, maar deze stof wordt in de afgelopen jaren steeds minder genoemd als LOHC-met-toekomst. Ten opzichte van waterstof en ammoniak zijn de LOHC's op het gebied van omgevingsveiligheid dus gunstiger, al kan het (p)ZZS-stempel afbreuk doen.

Omdat het hier verder gaat om relatief makkelijk hanteerbare gevaarlijke stoffen, zijn er geen beperkingen voor het transport over de weg, het water en het spoor vanuit logistiek of juridisch perspectief. Ten aanzien van LOHC's zijn twee veiligheidsrelevante aanvullingen aan de orde.

<sup>14</sup> <https://open.overheid.nl/repository/ronl-6c966937-fa77-4e51-96dd-f5195a6b6ded/1/pdf/spoorveiligheid.pdf>.

De eerste aanvulling is dat het gaat om combinaties van steeds twee stoffen, de gehydrogeneerde (een LOHC mét waterstof eraan gebonden) en de gedehydrogeneerde vorm (de LOHC waar in het kader van de energietransitie de waterstofatomen ‘van af zijn gehaald’), en daardoor twee in plaats van één transportrit per waterstofleverantie nodig zijn. De belasting qua omgevingsveiligheid, in dit geval primair het brandrisico, is er daardoor twee keer. Een ander veiligheidsaspect is de fabricage van sommige van de LOHC's, namelijk benzyl- en dibenzyltolueen. In de bestaande industriële processen is chloor ( $\text{Cl}_2$ ) één van de bouwstenen. Deze gasvormige stof is zeer toxisch en het verdient aanbeveling om na te gaan of de synthese op deze manier zal blijven gaan, of dat er intussen nieuwe fabricageprocessen zijn ontwikkeld. Dit aspect heeft een duidelijke impact op de veiligheid van de gehele keten.

## 3.2 Buisleidingen

### 3.2.1 Waterstof

Vervoer van waterstof (gasvormig, g) door buisleidingen zal naar de stellige verwachtingen op grote schaal gaan plaatsvinden als samengeperst gas in een deel van het bestaande, uitgebreide aardgasnetwerk van Gasunie. Dit netwerk zal voor het grootste deel hergebruikt worden, en voor een bescheiden deel in nieuwe trajectdelen en/of te vervangen trajectdelen plaatsvinden. Men spreekt hier over een verhouding van 85%/15%.

De verschijningsvorm cryogene waterstof, of vloeibare waterstof, bekend als LH2 (liquid hydrogen), is in het binnenlandse transport nu nog een uitzondering, maar zal waarschijnlijk in de toekomst regelmatig aangetroffen worden. Voor buisleidingen is het uitgesloten dat dit een verschijningsvorm wordt, omdat dit vanwege de fysische eigenschappen (temperatuur van  $-253$  graden Celsius) nagenoeg onmogelijk is. Daarom gaan wij in deze subparagraaf uit van waterstof in gasvormige toestand.

In deze studie nemen wij aan dat alle in Nederland (grootschalig) geproduceerde waterstof (g) ofwel direct wordt afgenomen in een industriecluster, ofwel op kleine schaal over de weg vervoerd wordt voor bevoorrading van tankstations, ofwel geïnjecteerd wordt in het buisleidingennetwerk.<sup>15</sup> Alles wat wordt geïnjecteerd moet ook ergens worden afgenomen (in technische termen heet dit balanceren). De aanname betekent dus ook dat wat in Nederland geproduceerd wordt via het buisleidingennetwerk elders *moet* worden gebruikt, of in ieder geval totdat de bufferfunctie in de zoutcavernes is gerealiseerd. Voor de eenduidigheid spreken we in het vervolg van dit rapport over het waterstofbuisleidingennet tenzij er een specifiek tracé bedoeld wordt.

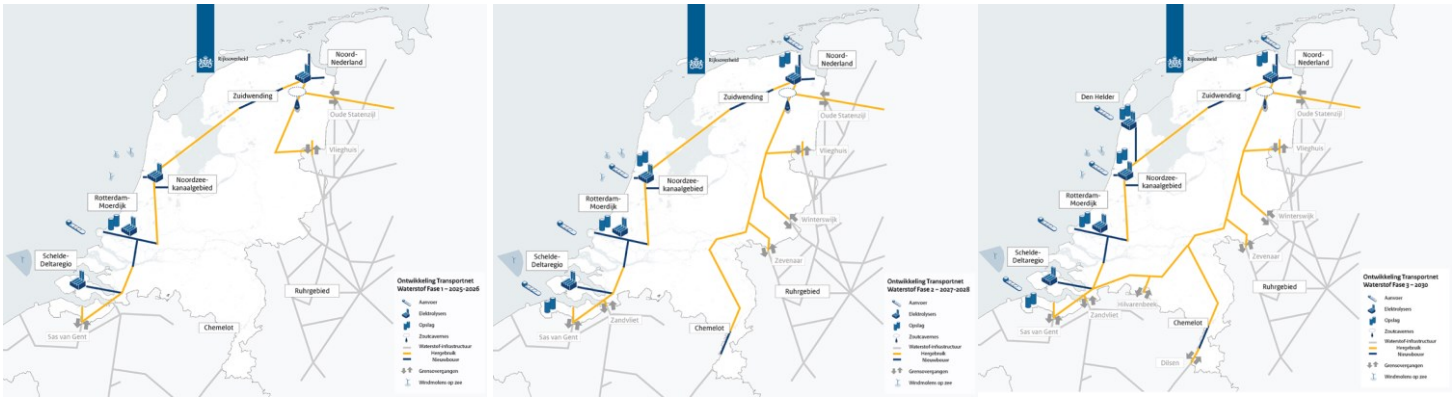
Momenteel is er in Nederland nog geen landelijk **waterstof**buisleidingennetwerk beschikbaar. Wel bestaat er een privaat leidingennetwerk van Air Liquide, dat strekt van Rotterdam tot Antwerpen en zelfs in delen van Noord-Frankrijk aanwezig is. Daarnaast liggen er buisleidingen op industrieclusters en bevindt er zich een gasbuisleiding, omgevormd tot waterstofbuisleiding tussen Yara en Dow Chemical, die wordt beheerd door Gasunie. Deze zijn overigens aanzienlijk kleiner qua diameter dan de beoogde buisleidingen in het beoogde landelijk waterstofbuisleidingennetwerk.

Hydrogen Network Services (HNS), een onderdeel van de Gasunie, heeft de taak om een deel van het Nederlandse gasnetwerk voor waterstof geschikt te maken. Het doel is om richting 2030 alle grote industrieclusters via een ringnetwerk (backbone) met elkaar verbonden te hebben. Daarnaast wordt er een opslag in de vorm van een zoutcaverne gerealiseerd bij Zuidwending (Noord-Nederland).

---

<sup>15</sup> In dit onderzoek worden enkel de beoogde hogedrukbuisleidingennetwerken beschouwd en niet de lagedrukgasleidingennetwerken van de netbeheerders.





Figuur 10. Fasering van transportnet HNS over de periode 2025-2030. Bron: Kamerbrief Ontwikkeling transportnet voor waterstof.

De ombouw van het netwerk zal stapsgewijs plaatsvinden en naast het omvormen van het bestaande netwerk moeten ook enkele honderden kilometers nieuwe buisleiding aangelegd worden. In 2025-2026 moeten de Schelderegio (North Sea Port), Rotterdam-Moerdijk, het Noordzeekanaalgebied en Noord-Nederland met elkaar verbonden zijn. Daarnaast moeten in die periode ook twee buitenlandconnecties met Duitsland beschikbaar zijn in het noorden, en een verbinding (interconnector) met België bij Gent. In 2027-2028 moet ook de verbinding naar Chemelot (Zuid-Limburg) gereed zijn en komen er meer verbindingen met het Ruhrgebied beschikbaar. In 2030 worden de laatste tracés gerealiseerd en moet de gehele ringleiding gereed zijn.

Daarnaast is er nog het initiatief van de Delta Corridor: een private bundel van buisleidingen (die inmiddels onder Rijkscoördinatie valt vanwege het nationaal belang) die de haven van Rotterdam moet verbinden met Chemelot en het Ruhrgebied (Keulen, Duisburg en Gelsenkirchen). Deze buisleidingenstraat moet op termijn CO<sub>2</sub>, waterstof (g), propaan en LPG kunnen transporteren. Vanwege de grote verwachte importstromen van ammoniak is hier recent ook de wens bijgekomen om ammoniak te kunnen transporteren door een buisleiding. De ambitieuze planning vermeldt 2026 als jaar van realisatie en de route loopt van de Rotterdamse haven via Moerdijk naar Venlo, van waaruit drie vertakkingen zijn beoogd, onder andere naar Chemelot en Duitse bestemmingen (zie figuur 11).



Figuur 11. Beoogd tracé van de Delta Corridor.

In 2030 moet dit resulteren in het volgende overzicht voor buisleidingentracés voor waterstofdragers door Nederland (zie figuur 12).



Figuur 12. Overzicht buisleidingennetwerken in Nederland in 2030. Bron: Routekaart Waterstof – Nationaal Waterstof Programma (NWP).

Naast de grote productielocaties zal er ook op kleinere schaal waterstof geproduceerd worden middels elektrolyse. Voor deze volumes is het te verwachten dat dit of op locatie gebruikt wordt, zoals bij tankstations, of over de weg getransporteerd wordt. Er zal in ieder geval een netto stroom van Nederland naar Duitsland plaatsvinden. Op basis van de Hy3-studie (Hy3, 2022) wordt aangenomen dat er tot 2030 geen bottlenecks voorzien worden in de capaciteit van het netwerk van HNS. Na 2030 kunnen er mogelijk wel bottlenecks ontstaan, wanneer de Delta Corridor niet gerealiseerd wordt.



### 3.2.2 Ammoniak

Voor ammoniak zijn er nu nog geen buisleidingen operationeel, uitgezonderd de ammoniakbuisleidingen op industriële/chemiecomplexen en een korte buisleiding voor het transport van ammoniak (gecomprimeerd) vanaf de haven van Urmond naar Chemelot. De geschiktheid van de modaliteitbuis voor transport van ammoniak over wat langere afstanden wordt echter wel een belangrijk vraagstuk, gezien de hoeveelheden ammoniak die verwacht worden. Nederland heeft geen ervaring met grootschalige en lange trajecten, maar in het buitenland zijn er wel referenties, onder andere in de VS en in Rusland.<sup>16</sup> Omdat er binnen bedrijfsterreinen diverse leidingen met ammoniak zijn, is hier in Nederland wel kennis aanwezig over de technische eisen en de eventuele probleempunten voor dergelijke voorzieningen.

Op dit moment is er concrete belangstelling voor een nieuwe, lange buisleiding voor ammoniak in de nog aan te leggen Delta Corridor. Deze was in de vroege planfase bedoeld voor waterstof, CO<sub>2</sub> en propeen, maar intussen is ook ammoniak als kandidaat in beeld. Gelet op de technische en veiligheidstechnische aspecten zal het een uitdaging zijn om binnen relatief korte termijn tot realisatie te komen, maar vanwege de mogelijke volumes die te verwachten zijn (zie hoofdstuk 2) is dit een interessante optie. Waar spoorvervoer door steden een moeilijk vraagstuk zal zijn, en waar scheepvaartvervoer wellicht niet voldoende capaciteit kan bieden, is een buisleiding goed voorstelbaar.

De voor Nederland gewenste trajecten, in samenhang met import (havens), opslag (havens, industrie) en afnemers (bestaande BRZO-bedrijven<sup>17</sup> en aanvullende industrie voor het kraken van ammoniak) zijn een overzienbaar systeem. Het zal gaan om enkele trajecten, inclusief de genoemde Delta corridor. Transport van gekoelde ammoniak, inclusief technisch bewerkstelligde koeling (tot een bepaalde temperatuur, maar in ieder geval lager dan -33 graden Celsius) ten gunste van de bedrijfsdruk, is niet aannemelijk voor buisleidingen. Dit vergt een te dure, complexe installatie en wij gaan daarom in de rest van deze studie bij buisleidingtransport van ammoniak uit van *ammoniak onder druk*.<sup>18</sup>

### 3.2.3 LOHC

Op dit moment zijn er nog geen buisleidingennetwerken beschikbaar voor LOHC's en zijn er ook nog geen plannen om deze te realiseren binnen Nederland. LOHC's kunnen door buisleidingen vervoerd worden. De mogelijkheden voor transport over weg, water en spoor zijn echter goed. Daarom wordt niet verwacht dat hiervoor buisleidingen zullen worden aangelegd. De meeste LOHC's zijn bovendien wat visceus, hetgeen de doorstroom in een buis niet ten goede komt, en er is een dubbele leiding nodig (voor de gehydrogeneerde en niet-gehydrogeneerde LOHC-partner).

## 3.3 Spoorvervoer

Het Nederlandse spoornetwerk is al jaren een veilige en effectieve modaliteit om goederen, waaronder gevaarlijke stoffen, te vervoeren. Voor zover bekend zijn er in ons land als gevolg van incidenten met gevaarlijke stoffen op het spoor nog nooit dodelijke ongevallen gebeurd. Uiteraard wil dat niet zeggen dat het nooit kan gebeuren en zijn er zeker wel incidenten geweest, inclusief lekkages van gevaarlijke stoffen.

<sup>16</sup> De buisleiding van Rusland naar de Zwarte Zee, de Togliatti-Odessa ammoniakleiding, heeft een lengte van circa 2.000 kilometer en mondt uit in de haven van Odessa in Oekraïne. Sinds de inval in Oekraïne in februari 2022 is de leiding buiten werking gesteld.

<sup>17</sup> Oftewel bedrijven die onder het Besluit Risico's Zware Ongevallen uit 2015 vallen, de Nederlandse vertaling van de Europese SEVESO III-richtlijn die risico's beoogt te beheersen op zware ongevallen met inrichtingen waar grote hoeveelheden gevaarlijke stoffen aanwezig zijn.

<sup>18</sup> Op de nadelen hiervan wordt uitgebreider ingegaan in de Ketenstudie van Berenschot en Arcadis van 2021.

Binnen het vervoer van gevaarlijke stoffen geldt dat het vervoer zich moet houden aan de regels zoals die zijn vastgelegd binnen het pan-Europees geldende RID.<sup>19</sup>

Vaak wordt echter ook het Basisnet aangehaald als factor van betekenis. Het Basisnet zullen we ook nog aanhalen bij het wegvervoer en vervoer over binnenwater, maar moet hier al even kort worden aangestipt. Het Basisnet is een landelijk aangewezen netwerk voor het vervoer van gevaarlijke stoffen. Het Basisnet heeft betrekking op de Rijksinfrastructuur: hoofdwegen (snelwegen), hoofdwaterwegen (binnenwateren) en hoofdspoorwegen (enkele uitzonderingen daargelaten). Het Basisnet heeft als doel een evenwicht voor de lange termijn te creëren tussen de belangen van het vervoer van gevaarlijke stoffen, de bebouwde omgeving en de veiligheid van mensen die wonen of verblijven dicht in de buurt van de infrastructuur waar dit vervoer plaatsvindt. Het Basisnet stelt verder regels aan het vaststellen en beheersen van de risico's voor het vervoer van gevaarlijke stoffen (vervoerskant).<sup>20</sup>

Voor het spoorvervoer en wegvervoer geldt dat er risicoplafonds zijn opgesteld. Deze risicoplafonds zijn formeel vastgelegd in risicoafstanden of -zones, uitgedrukt in meters vanaf de infrastructuur en niet in aantallen tankauto's, ketelwagens of schepen per stofcategorie.<sup>21</sup> Voor het Basisnet Spoor blijken deze risicoplafonds vaak te worden overschreden, omdat de ruimtes binnen het Basisnet zeer klein blijken te zijn (met name op de Brabantroute en op de route van grofweg Amersfoort naar Bad-Bentheim). Hierover is veel gezegd en geschreven<sup>22</sup> en er lopen op het moment van schrijven ook meerdere evaluaties. Er zijn dus grote uitdagingen om binnen de risicoplafonds van het Basisnet Spoor nieuwe vervoersstromen van gevaarlijke stoffen te accommoderen. Wij geven nu eerst aan per stofcategorie wat de huidige stand van zaken is rond het stof- en spoorvervoer.

### 3.3.1 Waterstof

Het bestaande spoorvervoer van waterstof (zowel gasvormig als cryogeen) is nihil. Er zijn geen ketelwagens voor beschikbaar, en tankcontainers komen we in Nederland ook nooit tegen. Het is niet volledig uit te sluiten dat dat wel een keer gebeurt, maar de uitdagingen hierbij zijn erg groot: voor een beetje relevante hoeveelheid waterstof heb je veel massa's aan staal nodig voor de verpakking. Voor bulktransport lijkt het spoor daarmee geen aantrekkelijk medium op dit moment. Op mondiale schaal bestaat het hiervoor geschikte spoorvervoer echter wel. In de VN-modelaanbevelingen voor de internationale regelgeving vervoer gevaarlijke stoffen zijn nu ook regels opgenomen voor met koolstofvezel versterkte plastic tanks (FRP-tanks).<sup>23</sup> Het gebruik van dergelijke verpakking kan het gewicht lichter maken en daarmee deze optie potentieel interessanter. Als er vraag naar komt, is het ook niet volledig uit te sluiten dat hier gebruik van wordt gemaakt, maar op dit moment lijkt de kans heel klein. In relatie tot het Basisnet is waterstof onder druk wel meegenomen (GEVI-23), maar daar is geen minimummaat (tonnage) over afgesproken.



Figuur 13. Voorbeeld van waterstoftransport.

<sup>19</sup> Dat staat voor: 'Règlement concernant le transport international ferroviaire des marchandises dangereuses'.

<sup>20</sup> Zie ook: [Basisnet - Kenniscentrum InfoMil](#) en [Hoofdpijnen Basisnet - Informatiepunt Leefomgeving \(iplo.nl\)](#).

<sup>21</sup> Ooit zijn die afstanden wel berekend vanuit het perspectief dat een X-aantal wagons of tankauto's van de ene stofcategorie met een Y-aantal en een Z-aantal van andere categorieën een rekenkundige uitkomst hadden in meters, wat uiteindelijk dat risicoplafond geworden is.

<sup>22</sup> Zie bijvoorbeeld de kamerbrieven en jaarverslagen, maar vooral ook het rapport Robuust Basisnet Spoor die op de Infomil site te vinden zijn: [Spoor - Kenniscentrum InfoMil](#).

<sup>23</sup> Zie de UN-Model regulations: [UN Model Regulations Rev. 22 \(2021\)](#).

### 3.3.2 Ammoniak

Het vervoer van ammoniak per spoor is lange tijd een reguliere, grootschalige activiteit geweest. Tot ongeveer 2010 reden er gemiddeld steeds 2.000 ketelwagens per jaar vanuit Geleen naar het eindpunt IJmuiden, via onder andere Eindhoven, Utrecht en Amsterdam. Sinds 2004 wordt ammoniaktransport over het spoor sterk ontmoedigd door de Rijksoverheid vanwege de risico's die hiermee gepaard gaan. Door twee convenanten tussen de overheid en de industrie, vastgesteld in 2009, is dergelijk transport sterk afgenomen.

In de huidige tijd komt spoorvervoer van ammoniak nog steeds voor, maar gaat het om een geringe hoeveelheid ten opzichte van de jaren 2000 tot 2009. Tussen Geleen en IJmuiden is er in het geheel geen sprake meer van ammoniaktransport; wel zien we momenteel nog transporten van ketelwagens met ammoniak tussen de Rotterdamse haven en onder meer Delfzijl en Krefeld.

Recent is het convenant voor de aan- en afvoer van ammoniak voor Chemelot (OCI Nitrogen) herzien, geactualiseerd en voor een periode van een jaar vastgelegd<sup>24</sup>. De strekking is dat de binnenvaart prevaleert ten opzichte van vervoer per spoor. Het Ministerie van IenW stelt in het convenant:

*'De Rijksoverheid heeft, met het oog op de veiligheid van het vervoer van gevaarlijke stoffen, de leefbaarheid van de omgeving, de bescherming van het milieu, en het maatschappelijk draagvlak van het vervoer van gevaarlijke stoffen, belang bij het voortzetten van het begrenzen van het vervoer van ammoniak over het spoor van en naar Geleen door OCI Nitrogen'.*

De huidige situatie is inderdaad dat men transporten met ammoniak, waar mogelijk, vermijdt. De stof is zeer giftig en om die reden geen type lading om zonder dringende noodzaak door het land te verplaatsen. De overheid heeft zich ingezet om het risico voor burgers te verkleinen, onder meer door te zoeken naar het verminderen of uitfasen van transport over het spoor. Met de industrie zijn hiertoe in het verleden enkele convenanten afgesloten en die recentelijk geëvalueerd zijn.<sup>25</sup>

### 3.3.3 LOHC's

Over de veiligheid en de transportvoorwaarden kunnen we enerzijds kort zijn, namelijk dat het bij deze LOHC-familie om allemaal brandbare vloeistoffen gaat, maar afgezien van de zuiverheid zijn er anderzijds onderling aanzienlijke verschillen in brandbaarheid, viscositeit, toxiciteit en bijvoorbeeld geur. Omdat het hier verder gaat om relatief makkelijk hanteerbare gevaarlijke stoffen, zijn er geen tot weinig beperkingen voor het transport over het spoor vanuit logistiek of juridisch perspectief (zie ook paragraaf 3.1.4).

Dibenzyltolueen is vaak genoemd als de voornaamste LOHC. In recente marktberichten verschuift het accent naar benzyltolueen plus perhydro-benzyltolueen, en naar tolueen plus methylcyclohexaan (MCH). Benzyltolueen is met name genoemd in de plannen van EVOS, Hydrogenious en de Port of Amsterdam, en tolueen in de grootschalige planning van het Japanse Chiyoda (SPERA Hydrogen).

## 3.4 Wegvervoer

Voor transport van grote stromen waterstof of waterstofrijke energiedragers lijkt vervoer over de weg niet de meest logische modaliteit. Als het gaat om grote stromen is het waarschijnlijker dat dit via bulktransporten via spoor, water of via buisleidingen vervoerd zal worden. De uitzondering hierop zou de bevoorrading van multifuel tankstations kunnen zijn waar waterstof getankt kan worden.

<sup>24</sup> Staatscourant Nr. 17445, 14 juli 2022

<sup>25</sup>Zie het rapport van de Ketenstudie [hier](#).

Binnen het wegvervoer geldt ook het Basisnet Weg, waar ook met risicoplafonds gewerkt wordt, net als bij het Basisnet Spoor. Vervoer van gevaarlijke stoffen over de weg ligt minder onder een vergrootglas dan dat van over het spoor, omdat er in de afgelopen jaren veel minder beleidsmatige knelpunten (zoals overschrijding van risicoplafonds) zijn geweest bij het Basisnet Weg dan bij het Basisnet Spoor. Om een goed beeld te krijgen van de gevolgen van stromen waterstofrijke energiedragers moet hier nog goed kwantitatief onderzoek naar worden uitgevoerd, zeker ten aanzien van waterstof, omdat deze stof nog niet correct gemodelleerd wordt. Op die manier kan een reëel beeld volgen van de risico's.

### 3.4.1 Waterstof

Er bestaan geen bulktankwagens voor het transport van waterstof onder hoge druk. Deze wagens zouden qua tankmateriaal erg zwaar zijn ten opzichte van de te vervoeren hoeveelheid waterstof. Wel is er een bestaande praktijk voor het transport over de weg van waterstof in twee andere typen van omhullingen. Dit zijn lange, horizontale tubes dan wel (horizontale of) verticale cilinderpakketten (meestal MEGC's genoemd). Waterstof onder hoge druk zal qua transportstroom toenemen, onder meer vanwege de bevoorrading van het groeiende aantal tankstations. Sommige tankstations zullen echter een andere vorm van bevoorrading toepassen (productie van  $H_2$  ter plaatse, of aanvoer per buisleiding).



Figuren 14-18. Voorbeelden van waterstoftransport over de weg.



Het beeld nu is dat waterstofvervoer over de weg met name ingezet zal worden voor de bevoorrading van tankstations. Dit lijkt in de toekomst (2030 tot en met 2035) zo te blijven. Wel kan deze bevoorrading toenemen als er meer tankstations bevoorraad moeten worden. Deze tankstations zullen niet allemaal vanuit de havens bevoorraad worden. Het is voor te stellen dat deze bevoorraad worden vanaf lokale punten, die op het buisleidingennetwerk aangesloten zijn.

Voor cryogeen transport is waterstof gekenmerkt als UN 1966. Naarmate meer en grotere tankstations bevoorraad dienen te worden, is het aannemelijk dat er vloeibare waterstof over de weg getransporteerd zal worden. Er zijn al tankauto's gebouwd voor dit doel, maar nog niet in grote getalen in gebruik genomen. Gegeven het vooruitzicht, dat er, ook op termijn, geen grote stromen van binnenlands bulkvervoer van LH2 wordt voorzien, laten we deze voor nu buiten beschouwing, althans voor wat betreft het Basisnet en het adviseren over veiligheidsmaatregelen in die context.



Figuur 19. Voorbeeld van cryogeen waterstoftransport in Leuna, Duitsland (juli, 2020).

### 3.4.2 Ammoniak

Transport van ammoniak over de weg komt weinig voor. In 2020 werden enkele honderden transporten geteld en gerapporteerd in de rapportage van het Basisnet Weg (Infomil, 2021). Het is op zich wel een mogelijkheid om in de toekomst te overwegen, wanneer andere modaliteiten niet aanwezig of geschikt blijken. Daarentegen gaat het om een relatief klein opslagmedium voor een verder grote stroom.



Figuur 20. Voorbeeld van ammoniaktransport in het buitenland (locatie niet bekend).

### 3.4.3 LOHC's

Over de veiligheid en de transportvoorwaarden van LOHC's kunnen we enerzijds kort zijn, namelijk dat het bij deze LOHC-familie om allemaal brandbare vloeistoffen gaat, maar afgezien van de zuiverheid zijn er anderzijds onderling aanzienlijke verschillen in brandbaarheid, viscositeit, toxiciteit en bijvoorbeeld geur. Omdat het hier verder gaat om relatief makkelijk hanteerbare gevaarlijke stoffen, zijn er geen tot weinig beperkingen voor het transport over de weg vanuit logistiek of juridisch perspectief (zie ook paragraaf 3.1.4).

## 3.5 Watervervoer

### 3.5.1 Waterstof

Met vervoer over water wordt hier het vervoer via de binnenvaart bedoeld. Met name vanuit de havens wordt hier (na overslag op binnenvaartschepen) gebruik van gemaakt. Ook wordt op deze manier vervoer naar het achterland geregeld. Het vervoer van **waterstof, zowel cryogeen als gasvorming**, met binnenschepen is *op dit moment* niet mogelijk gezien de praktische, technische en juridische beperkingen. Voor de binnenvaart is het transporteren van waterstof onder druk in tankschepen verboden. Slechts colli (kleinere verpakkingseenheden, in andere scheepstypen) zijn toegelaten, waaronder intermodale tankcontainers zoals die ook over weg of spoor kunnen worden vervoerd. Dit verbod is vastgelegd in randnummer 3.2.1 van het ADN<sup>26</sup>, in combinatie met Kolom 8 van de hoofdtabel voor gecompriëerde waterstof, UN 1049. Er zijn geen aanwijzingen dat dit gaat veranderen. Er is *op dit moment* geen aanleiding rekening te houden met deze transportstroom in het kader van het Basisnet, of überhaupt ergens in Nederland. Er is, kortom, geen (omgevings)veiligheidsvraagstuk.

Dit hoeft niet te gelden voor zeevaart. Het vertrouwen in waterstof als één van de belangrijkste toekomstige energiedragers heeft geresulteerd in een concrete innovatie; het eerste zeeschip (met de naam Suiso Frontier) dat specifiek is gebouwd en in exploitatie is genomen vanwege de energietransitie heeft intussen al gevaren tussen Australië (Hastings) en Japan (Kobe). De capaciteit van dit schip is aanzienlijk. Het 116 meter lange schip kan maximaal 87,5 ton waterstof vervoeren, in de tanks met een inhoud van 1.250 m<sup>3</sup>.

Begin 2022 voer de eerste tanker met vloeibare waterstof tussen Japan en Australië. Het eerste project voor import van vloeibare waterstof is al aangekondigd: Het doel van het H2Sines-project is om vloeibare waterstof te verschepen vanuit Portugal naar de Rotterdamse haven.

### 3.5.2 Ammoniak

De verwachting is dat als de ammoniakketen voor het transport van waterstof op gang komt, dit grootscheeps geïmporteerd wordt van buiten de landsgrenzen en na aankomst in de zeehavens verder getransporteerd zal worden naar industriële locaties. Omdat transport over weg en spoor ook ontmoedigd wordt, is vervoer over het water (in de huidige situatie bij ongewijzigd beleid en lage volumes) naar industriële locaties of buurlanden de meest logische optie. Wanneer ammoniak vervoerd wordt via de binnenvaart past hier (afhankelijk van het type schip) ongeveer 2.500 m<sup>3</sup> gas in, wat overeenkomt met ongeveer 1.540 ton<sup>27</sup> (gecompriëerd). Routes die met deze schepen gevaren worden zijn doorgaans van de havens naar locaties zoals kunstmestfabrieken of chemische bedrijven. Vermeldenswaardig is de aanwezigheid bij Chemelot van een specifiek op ammoniak ingerichte verladingssteiger in de haven van Stein (aan het Julianakanaal).

<sup>26</sup> Dit is de afkorting voor voor het verdrag voor vervoer van gevaarlijke stoffen over de binnenwateren: *Accord européen relatif au transport des marchandises dangereuses par voies de navigation intérieures*

<sup>27</sup> In het recente ammoniakconvenant tussen OCI Nitrogen en de overheid gaat men uit van 1.200 ton.

De voorziene ammoniaktransporten over de Westerschelde (en nog enkele andere vaarwegen) vallen in een aparte categorie. Op de Westerschelde varen zowel zeeschepen als binnenvaartschepen met ammoniak als lading. Zeeschepen zijn in het algemeen groter en hebben andere nautische en constructieve kenmerken. Ze worden daarom separaat geteld van binnenvaart voor externe veiligheid.

In de afgelopen vier jaar gaf de monitoringsrapportage van het Basisnet Water de volgende waarden voor GT3-transporten. De aanname is dat dit bijna allemaal ammoniak betreft, en niet een ander toxisch gas uit de categorie GT3. We laten daarnaast tevens de ijkwaarden ('plafondwaarden') uit de Regeling Basisnet zien, ter vergelijking.

Tabel 2. Overzicht aantallen transporten GT3 van 2018-2021 afgezet tegen de regeling Basisnet.

| Transporten<br>westerschelde GT3 | Regeling<br>Basisnet | 2018 | 2019 | 2020               | 2021               |
|----------------------------------|----------------------|------|------|--------------------|--------------------|
|                                  |                      |      |      | Corona-<br>periode | Corona-<br>periode |
| Zeeschepen                       | 90                   | 22   | 26   | 12                 | 24                 |
| Binnenvaartschepen               | 62                   | 50   | 52   | 1                  | 0                  |

Zo is te zien dat bij de transporten van deze categorie van stoffen steeds het risicoplafond is aangehouden en dat het binnenvaarttransport geheel is weggevallen sinds 2020. Of dit komt een door de coronapandemie, dan wel logistieke, commerciële redenen heeft, is niet uitgezocht.

Bij het berekenen van de huidige en toekomstige risico's vanuit het oogpunt van omgevingsveiligheid wijzen wij erop dat de zeevaart buiten het rekenprogramma RBM II valt en dat er over het verslagjaar 2021 het volgende is te lezen:

*'Behoudens voor de Westerschelde, is er voor de overige Basisnet-zeevaartroutes nog geen gevalideerde rekenmethodiek beschikbaar. (...) De Gemeenschappelijke Nautische Autoriteit - Scheldegebied (GNA-SG) heeft voor de Westerschelde risicoberekeningen uitgevoerd volgens het 'Protocol Zeevaart'; zij het echter met behulp van het rekenprogramma Safeti in plaats van het voorgeschreven rekenprogramma RBM II. Desalniettemin geeft deze risicoberekening al een goede kwantificering van de externe veiligheidsrisico's van de Westerschelde. Deze risicoberekeningen laten zien dat nergens op de Westerschelde de risicoplafonds worden overschreden.'*<sup>28</sup>

De verwachte grote groei van ammoniaktransporten over de Westerschelde vergroot de behoefte aan een toegesneden, formele rekenmethodiek voor (combinaties van binnenvaart en) zeevaart, in relatie tot het Basisnet.

Voor de binnenvaart bestaat er een afzonderlijke mogelijkheid om sterk gekoelde ammoniak met een atmosferische druk te transporteren. Het ADN heeft daarvoor het UN-nummer 9000 geïntroduceerd. Er zijn daarbij verscheidene vereisten voorgeschreven. In Nederland varen momenteel geen tankschepen met deze technologie en stof aan boord. Interviews met vertegenwoordigers van de sector geven geen aanleiding om in de nabije toekomst deze toepassing als reëel te beschouwen. Daarom voorzien wij *op dit moment* géén transportstromen van sterk gekoelde ammoniak over het water in de nabije toekomst. *Onder druk* vloeibaar gemaakte ammoniak wordt overigens wel per binnenvaartschip vervoerd (UN-nummer 1005).

<sup>28</sup> Aldus de monitoringsrapportage [Basisnet Water](#).



### 3.5.3 LOHC's

Over de veiligheid en de transportvoorwaarden van LOHC's kunnen we enerzijds kort zijn, namelijk dat het bij deze LOHC-familie om allemaal brandbare vloeistoffen gaat, maar afgezien van de zuiverheid zijn er anderzijds onderling aanzienlijke verschillen in brandbaarheid, viscositeit, toxiciteit en bijvoorbeeld geur. Omdat het hier verder gaat om relatief makkelijk hanteerbare gevaarlijke stoffen, zijn er geen tot weinig beperkingen voor het transport over water vanuit logistiek of juridisch perspectief (zie ook paragraaf 3.1.4).

## 3.6 Overige afhankelijkheden

### 3.6.1 De keuze voor dragers door het achterland

De stromen van waterstofrijke energiedragers door Nederland in de toekomst zijn deels afhankelijk van de vraag van het achterland. Dit heeft niet alleen invloed op de volumes (zoals beschreven in het vorige hoofdstuk), maar ook op de dragers waarvoor wordt gekozen. Dit laatste heeft weer invloed op de gekozen modaliteiten (het verschilt per drager welke modaliteitsopties beschikbaar en gewenst zijn) en op de externe veiligheidseffecten van de stromen per modaliteit. Dit betreft met name de stroom van ammoniak. Waarschijnlijk komt er veel ammoniak aan in onze havens (met name in de haven van Rotterdam en bij Nort Sea Port) in de toekomst. Vervolgens zijn er twee keuzes, namelijk:

- het kraken van de ammoniak in zogenoemde ammoniakkrakers, om er waterstof (g) van te maken, of
- ammoniak doorvoeren naar het achterland.

De keuze hiervoor hangt af van de vraag van het achterland (en dus ook of het zelf krakers heeft om ammoniak om te zetten in waterstof, als het uiteindelijk waterstof nodig heeft).

### 3.6.2 Kraker(s) om ammoniak om te zetten in waterstof (g)

Mochten de vragende partijen geen interesse hebben in het ontvangen van ammoniak (omdat zij waterstof nodig hebben, maar geen ammoniakkrakers hebben), dan is de eerste optie het kraken van ammoniak in de havens. Dit betekent dat de havens die ammoniak importeren, ammoniakkrakers moeten plaatsen. Deze zijn nu nog niet aanwezig, terwijl dit wel een aanzienlijke financiële investering is en redelijk wat ruimte inneemt.

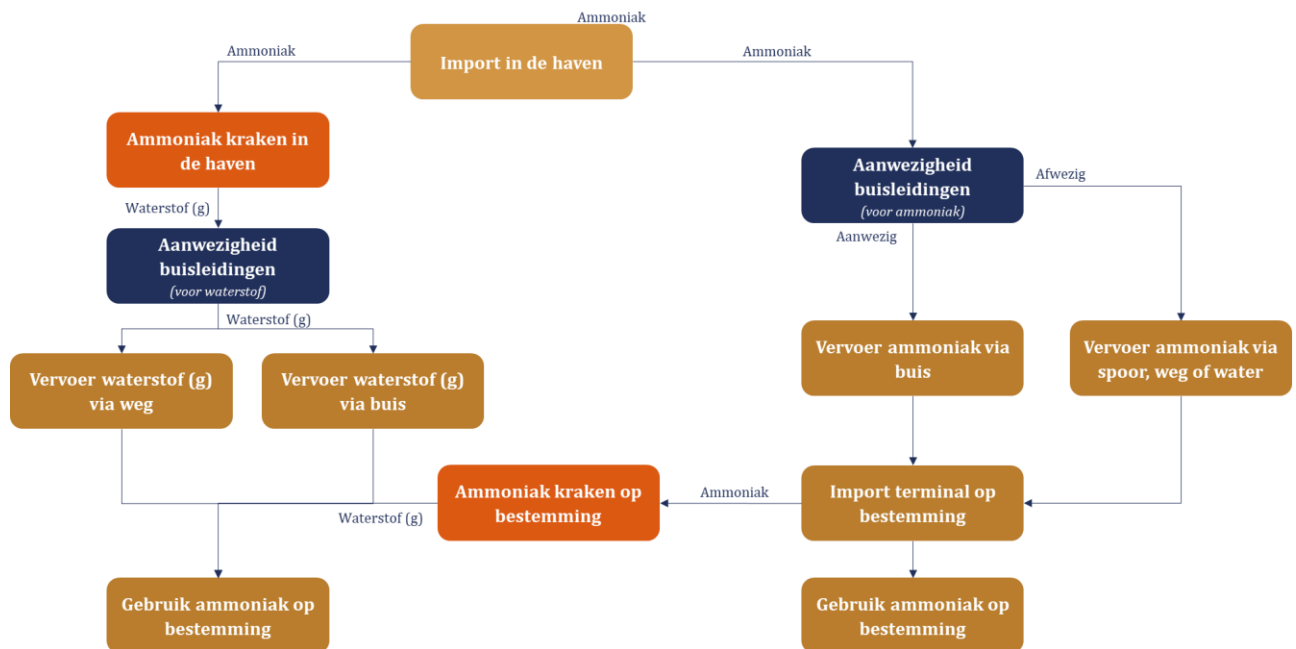
Ook moet de techniek van dit proces nog worden doorontwikkeld, opgeschaald en verbeterd. Daar is de nodige tijd en inspanning mee gemoeid. Kraken kost ook veel energie. Bovendien zijn er aanzienlijke hoeveelheden krakers nodig om de hoeveelheden ammoniak te kraken (zie bijlage 3). Dit is kortom nog een onzekerheid binnen het systeem die aandacht nodig heeft.

### 3.6.3 Mogelijkheid om ammoniak te vervoeren via de Delta Corridor

Een andere mogelijkheid om ammoniak naar het achterland te krijgen, is het vervoer via de nog aan te leggen Delta Corridor. Of hier in de toekomst inderdaad een leiding voor ammoniak komt te liggen, is nog niet zeker, omdat deze in de oorspronkelijke scope voor de Delta Corridor geen onderdeel uitmaakte (maar ook niet is uitgesloten), maar nu wel lijkt te worden meegenomen in een maatschappelijke kosten-batenanalyse.

### 3.7 Samenvattend: een overzicht van mogelijkheden

Wanneer we naar de huidige mogelijkheden kijken vanuit de voorgaande paragrafen, komen we tot de volgende samenvatting qua opties, die we hebben samengevat in de volgende keuzeboom:



Figuur 21. Afhankelijkheden stromen ammoniak en waterstof.

Deze keuzes zijn gebaseerd op de in de *huidige situatie* geldende omstandigheden die beleidsmatig, technisch of logistiek gelden. De achterliggende redenen voor de keuzes zijn samengevat in de volgende tabel:

Tabel 3. kansen en uitdagingen voor de verschillende waterstofdragers afgezet tegen de modaliteiten.

|                             | Buis                                                               | Spoor                                                                          | Weg                                             | Water                                                                          |
|-----------------------------|--------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Waterstof (g)</b>        | Mogelijk (infrastructuur nog in ontwikkeling)                      | Alleen kleine hoeveelheden                                                     | Alleen kleine hoeveelheden                      | Op dit moment niet toegestaan                                                  |
| <b>Waterstof (cryogeen)</b> | Technisch niet haalbaar voor grote afstanden                       | Komt nog niet voor in Nederland                                                | Op dit moment nog beperkt, maar niet onmogelijk | Komt nog niet voor in de binnenvaart                                           |
| <b>Ammoniak (g)</b>         | Mogelijk, maar moet wel ontwikkeld/aangelegd worden                | Wordt vanuit het beleid zo veel mogelijk geminimaliseerd, maar is wel mogelijk | Komt weinig voor                                | Er zijn enkele schepen die dit kunnen doen, maar dit gebeurt niet grootschalig |
| <b>LOHC</b>                 | Komt niet voor en het is onwaarschijnlijk dat dit ontwikkeld wordt | Technisch en praktisch goed mogelijk                                           | Technisch en praktisch goed mogelijk            | Technisch en praktisch goed mogelijk                                           |

## HOOFDSTUK 4.

# Volumes en stromen waterstofrijke energiedragers

In dit hoofdstuk gaan wij in op de te verwachten stromen en volumes van waterstofrijke energiedragers door Nederland. Hierbij gaan wij uit van de stromen die de meeste impact zullen hebben op de omgevingsveiligheid. Dit hebben we niet gedaan om hiermee eventuele extreme scenario's te schetsen die als 'doemscenario' gezien moeten worden, maar wel om aan te geven hoe groot die ontwikkelingen kunnen worden. Daarom hebben wij de verwachte stromen gebaseerd op de variant op basis van marktverwachtingen, dus op variant 3, omdat deze variant waarschijnlijk de meeste implicaties heeft voor de omgevingsveiligheid. Vanuit deze variant is het bovendien mogelijk om terug te redeneren wat de implicaties zijn voor de andere varianten als de ontwikkelingen lager uitvallen.

Daarom werken wij uit hoe groot de stromen zijn die vervoerd moeten worden volgens variant 3. Voor het inzicht in de stromen waterstof(dragers) die door Nederland gaan lopen, hebben we gekozen om in kaart brengen wat de stromen zijn tussen de clusters en van en naar België en Duitsland, omdat dit verreweg de grootste herkomst en bestemmingslocaties zullen zijn. Hierbij richten wij ons in de paragrafen 1 tot en met 6 op stromen naar Duitsland vanuit de volgende clusters:

- De haven van Rotterdam (inclusief de Maasvlakte)
- De haven van Amsterdam (Noordzeekanaalgebied)
- North Sea Port (het Nederlandse gedeelte, namelijk Vlissingen en Terneuzen)
- Groningen Seaports (Delfzijl en Eemshaven)
- Chemelot
- Vervoer van en naar België.

Per cluster wordt een kwalitatieve inschatting gegeven per type waterstofdrager van de volgende zaken:

- import
- het verbruik en de doorvoer
- de verwachte inzet van modaliteiten voor transport naar het achterland.

België is hier ook beschouwd, omdat er mogelijke stromen vanuit Antwerpen via Nederland naar Duitsland gaan. De stromen vanuit Nederland zullen voornamelijk naar het buitenland getransporteerd worden. Hierbij maken wij geen onderscheid tussen bijvoorbeeld het Ruhrgebied of andere delen van Duitsland of eventueel locaties buiten Duitsland.

Deze stromen zijn vervolgens gekoppeld aan de mogelijkheden voor modaliteiten (voor meer informatie over de verschillende modaliteiten per drager, zie hoofdstuk 3). De stromen worden uitgelegd per energiedrager, aangezien dit verschillende effecten zal hebben op de omgevingsveiligheid.

## 4.1 Haven Rotterdam

### 4.1.1 Import en eigen productie

In de periode 2030 tot en met 2035 wordt in de haven van Rotterdam overwegend ammoniak geïmporteerd. Alle ter plekke geproduceerde waterstof (g) is voor eigen gebruik of wordt doorgevoerd door buisleidingen. Waterstof van LOHC wordt gebruikt in de haven en de Rijnmond omgeving. Vloeibare waterstof wordt gebruikt in de haven of omgezet in gasvormige waterstof.

### 4.1.2 Afhankelijkheden

Van de ammoniakimport wordt een relatief klein deel zelf verbruikt en het merendeel wordt geëxporteerd, met name naar Duitsland. Dit gebeurt ofwel na het kraken als waterstof of als ammoniak, of in een mix van beide. Zoals te lezen in paragraaf 3.6 over het mogelijke gebruik van krakers, bepaalt zowel de vraag van **Chemelot (zie cluster Chemelot)** en **het achterland** naar een specifieke drager (ammoniak of waterstof (g)) de eventuele noodzaak voor krakers of de optie om ammoniak door de Delta Corridor te vervoeren. Door deze afhankelijkheid is nog niet met zekerheid te zeggen of er met name ammoniak vanaf de haven van Rotterdam door Nederland en naar Duitsland zal worden vervoerd of waterstof (g). De drager heeft vervolgens weer invloed op de modaliteit die ingezet zal worden.

### 4.1.3 Stromen inclusief volumes

Op basis van huidige initiatieven is verondersteld dat er in deze variant import van rond de 350 kt **LOHC** plaatsvindt. Hiervan is in variant 3 aangenomen dat alles in de haven gebruikt wordt. Afhankelijk van de verdeling van export tussen Rotterdam en Amsterdam, kan er ook transport van (waterstof van) LOHC naar elders binnen Nederland of naar Duitsland plaatsvinden.

De bovengrens voor de import van **ammoniak** ligt rond de 24 Mt. Omgerekend in waterstofequivalent is dat 3,6 Mt  $H_{2,eq}$ . Dit worden waarschijnlijk twee stromen. De eerste zal van Rotterdam naar Chemelot lopen. Deze stroom is beschreven in het cluster Chemelot (paragraaf 4.5). Deze stroom wordt niet gekraakt omdat ammoniak gewenst is op het complex (en dus niet hoeft worden omgezet in waterstof (g)). Daarnaast voorzien wij een ammoniakstroom van de haven van Rotterdam naar Duitsland. De hoeveelheden zijn als volgt tot stand gekomen:

- Door de vraag vanuit Duitsland: op basis van de Hy3-studie wordt een vraag van 750 kt  $H_{2,eq}$  verwacht.
- Door de overige vraag: op basis van de importambities van de haven Rotterdam wordt verwacht dat er nog een vraag uit andere sectoren en andere landen van 3,5 Mt  $H_{2,eq}$  zal zijn.
- Door de levering vanuit andere havens: waarschijnlijk kan North Sea Port voor een klein deel aan deze vraag uit het achterland voldoen, namelijk 1,2 Mt  $H_{2,eq}$ .

Hieruit kan herleid worden dat er ongeveer 3 Mt  $H_{2,eq}$  vanuit Rotterdam doorgevoerd gaat worden naar Duitsland.<sup>29</sup> Dit komt overeen met ongeveer 20 Mt ammoniak. Voor vervanging van de huidige ammoniakvraag in Duitsland is ongeveer 3 Mt ammoniak nodig. Dit betekent dat er nog 17 Mt ammoniak over is die ofwel gekraakt moet worden naar waterstof, ofwel als ammoniak vervoerd wordt en in Duitsland wordt gekraakt. Om al deze ammoniak te kraken betekent dit dat er in de periode 2030-2035 een capaciteit aan ammoniakkrakers in het Rotterdamse havengebied nodig zou zijn die vergelijkbaar is met de capaciteit van de 25 grootste op aardgas gebaseerde waterstoffabrieken die op het ogenblik in Nederland in bedrijf zijn.

<sup>29</sup> Of dat via waterstof of ammoniak of in welke mix dat gaat gebeuren is nu nog niet duidelijk.

Het is niet waarschijnlijk dat het havengebied plaats heeft in de periode 2030 tot en met 2035 voor de vele ammoniakimportterminals en -krakers terwijl ook de fossiele industrie nog grotendeels aanwezig is. Het is daarom aannemelijk dat van deze 17 Mt ammoniak ook voor een groot deel als ammoniak naar Duitsland vervoerd zal worden. Deze stromen kunnen ofwel via buisleidingen, via het water of via het spoor vervoerd worden. Met name voor buisleidingen is het nog niet zeker of deze (tijdig) gerealiseerd kunnen worden. Ook is nog niet duidelijk hoeveel ammoniak er jaarlijks door de buisleiding kan stromen.

In de volgende tabel en kaart vatten wij de inzichten nog een keer samen:

Tabel 4. Import, verbruik, doorvoer en modaliteiten per waterstofdrager in de haven van Rotterdam (verwachting voor 2030 tot en met 2035; variant 3).

| Haven Rotterdam                  | Verdeling                                         | Verbruik en doorvoer                                      |                                                                                                |                                                                            | Modaliteiten                                                                                                     |                                        |                                                                                                                  |
|----------------------------------|---------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                  | Import                                            | Eigen verbruik                                            | Doorvoer                                                                                       | Buis                                                                       | Spoor                                                                                                            | Weg                                    | Water                                                                                                            |
| <b>LOHC</b>                      | Klein deel                                        | Waterstof uit LOHC wordt deels zelf verbruikt in de haven | Deel wordt doorgevoerd naar andere delen van Nederland of achterland                           | (Nog) niet mogelijk en geen concrete plannen                               | Mogelijk                                                                                                         | Mogelijk                               | Mogelijk                                                                                                         |
|                                  | 350 kt (H <sub>2,eq</sub> )                       |                                                           |                                                                                                |                                                                            |                                                                                                                  |                                        |                                                                                                                  |
| <b>Vloeibare waterstof (LH2)</b> | Klein deel                                        | Voornamelijk verbruikt in haven                           | Overige deel wordt omgezet in gas voor doorvoer                                                | Niet mogelijk over lange afstand; wellicht alleen lokaal                   | N.v.t.                                                                                                           | N.v.t.                                 | N.v.t.                                                                                                           |
|                                  | 37 kt                                             |                                                           |                                                                                                |                                                                            |                                                                                                                  |                                        |                                                                                                                  |
| <b>Waterstof (gasvormig)</b>     | Alleen eigen productie (SMR + CCS en elektrolyse) | Deel wordt voor eigen productie ingezet                   | Deel wordt doorgevoerd. Deze hoeveelheid neemt toe als ammoniak wordt omgezet in waterstof (g) | Voornaamste transport-modaliteit                                           | Onwaarschijnlijk                                                                                                 | Bevoorrading tankstations of cluster 6 | Onwaarschijnlijk                                                                                                 |
|                                  | N.v.t.                                            |                                                           |                                                                                                |                                                                            |                                                                                                                  |                                        |                                                                                                                  |
| <b>Ammoniak onder druk</b>       | Groot deel                                        | Relatief klein deel wordt zelf verbruikt                  | Grootste deel wordt doorgevoerd naar Duitsland, (in welke vorm is nog niet duidelijk)          | Mogelijk als een ammoniak-buisleiding in de Delta Corridor wordt opgenomen | Waarschijnlijk, maar de hoeveelheden zijn dermate groot dat dit onmogelijk alleen via het spoor kan plaatsvinden | Onwaarschijnlijk                       | Waarschijnlijk, maar de hoeveelheden zijn dermate groot dat dit onmogelijk alleen via het water kan plaatsvinden |
|                                  | 3,6 Mt (H <sub>2,eq</sub> )                       |                                                           |                                                                                                |                                                                            |                                                                                                                  |                                        |                                                                                                                  |



Figuur 22. Schematische weergave van stromen naar en van de haven Rotterdam.

Voor het spoor betekent dit<sup>30</sup>: wanneer je *alle* ammoniak vanuit de haven per spoor zou gaan vervoeren in ketelwagens (55 ton lading), heb je bij deze hoeveelheden (17 Mt ammoniak extra) een jaarlijkse stroom van ongeveer 309.000 ketelwagens nodig, tegenover een paar duizend in de situatie in 2020.

<sup>30</sup> Wij willen hier voor alle lezers nog als noot toevoegen dat wij er niet van uitgaan dat alles via spoor of water vervoerd zal worden, noch dat deze aantallen in de praktijk gehaald zullen worden. Het zijn varianten die een idee moeten geven over de omvang, maar die alleen in een mix van modaliteiten ook echt gehaald kunnen worden. Dit soort getallen als 309.000 ketelwagens of 9.190 tankertransporten (zie volgende pagina) bij het watertransport moeten wat ons betreft dan ook geen eigen leven gaan leiden of uit de context gehaald worden.



Er zijn meerdere redenen waarom dit niet realistisch is. Ten eerste is deze hoeveelheid fysiek energetisch niet reëel, gezien vanuit de benodigde laad- en loscapaciteit. Ten tweede zijn dergelijke aantallen ondenkbaar als je kijkt naar de dienstregeling voor het spoor, voor zover het vervoer niet over de Betuweroute gaat. Men moet dan bijna dagelijks 1.000 wagons kwijt in de treindienst. Ten derde zijn op dit moment de benodigde hoeveelheden ammoniakwagons niet beschikbaar. Het is natuurlijk niet ondenkbaar dat bij een enorme groei van dit transport deze wagons geproduceerd kunnen worden, maar het vergt wel een grote investering.

*Voor het water betekent dit:* tankschepen hebben ten opzichte van de ketelwagens een aanzienlijk groter volume. De huidige ammoniakschepen voor de binnenvaart hebben capaciteit in de ordegrootte van 1.540 ton, wellicht in de toekomst maximaal 1.850 ton (3000 m<sup>3</sup>). Wanneer alles per binnenvaart zou worden vervoerd, kom je uit op 9.190 tankertransporten. Ook hier gelden twee grote beperkingen. Allereerst zijn in de huidige situatie de binnenvaartschepen die ammoniak kunnen transporteren op twee handen te tellen. Daarnaast zijn voor de omgevingsveiligheid deze hoeveelheden een struikelblok, gezien vanuit de huidige situatie, zoals weergegeven in tabel 5.

Tabel 5. Nederlandse binnenvaartreferentiewaarden voor GT3 afgezet tegen de transporten uit 2020.

| Vaarweg                          | Basisnet Groepsrisico-plafonds voor GT3<br>(toxische gassen, waaronder ammoniak) | Actuele transporten in<br>2020 voor GT3 |
|----------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|
| Rotterdam – Moerdijk             | 196                                                                              | 64                                      |
| Noordzeekanaal                   | 0                                                                                | 0                                       |
| Westerschelde                    | 62                                                                               | 1                                       |
| Kanaal Gent – Terneuzen          | 62                                                                               | 1                                       |
| Rotterdam – Duitsland (via Waal) | 196                                                                              | 86                                      |
| Westerschelde – Rijn             | 41                                                                               | 49                                      |
| Amsterdam – Rijn                 | 0                                                                                | 0                                       |
| Amsterdam – Noord Nederland      | 30                                                                               | 0                                       |
| Rijn – Oost-Nederland            | 0                                                                                | 0                                       |
| Maas-corridor                    | 258                                                                              | 51                                      |

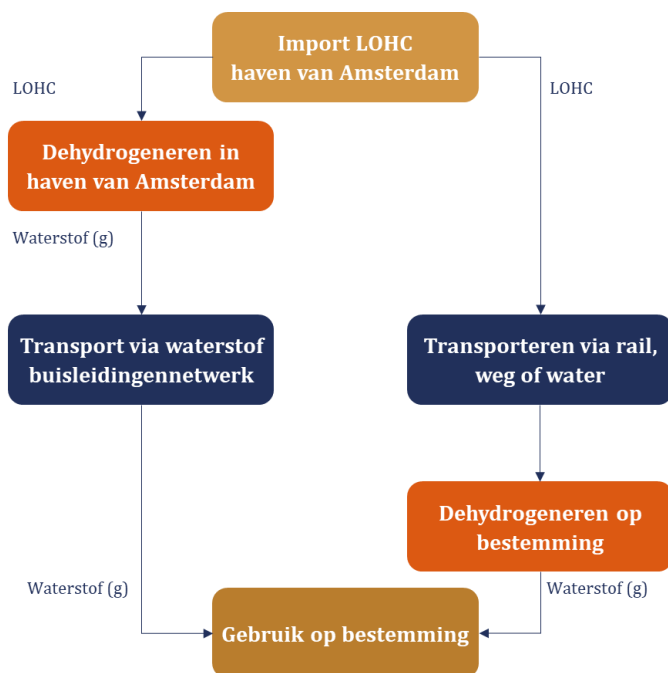
## 4.2 De haven van Amsterdam (Noordzeekanaalgebied)

In variant 3 wordt in de haven van Amsterdam overwegend **LOHC** geïmporteerd, namelijk rond de 850 kt H<sub>2,eq</sub>, wat neerkomt op ongeveer 15 Mt LOHC. De haven heeft nog geen plannen om **ammoniak** te importeren. Daarnaast wordt **waterstof (g)** geproduceerd door middel van elektrolyse, en kan waterstof via dehydrogenatie onttrokken worden aan de geïmporteerde LOHC. Verwacht wordt dat waterstof (g) via buisleidingen en mogelijk via de weg doorgevoerd wordt. LOHC's worden juist niet door buizen vervoerd, omdat er dan ook een retourleiding aangelegd zou moeten worden, wat dus een dubbele investering vergt. Ook kan de lage viscositeit (het is niet heel vloeibaar) van LOHC's een belemmering zijn voor buisleidingen. Tot slot is voor een buisleiding in principe altijd dezelfde LOHC-variant nodig, terwijl er meerdere opties zijn qua LOHC-variant. Om deze reden zijn LOHC's bij voorkeur over het spoor, de weg of het water te vervoeren. Daarbij zijn er nu ook nog geen concrete plannen voor LOHC-buisleidingen. Import van **ammoniak** zal lastig zijn vanwege strikte veiligheidscontouren in het Amsterdamse havengebied. Er zijn nog geen plannen bekend voor de import van **vloeibare waterstof**. Ook import van vloeibare waterstof zal mogelijk lastig zijn vanwege de geldende veiligheidscontouren.

Dit betekent dat naast dat waterstof eventueel in het buisleidingennetwerk geïnjecteerd wordt, er een stroom LOHC vanuit de haven verder getransporteerd wordt naar Duitsland en eventueel naar het binnenland (cluster 6). Van de 850 kt  $H_{2,eq}$  import wordt naar verwachting 400 kt in het havengebied gebruikt. Ongeveer 450 kt  $H_{2,eq}$  wordt doorgevoerd voor gebruik elders in het land en naar Duitsland. Er zijn twee paden om deze stroom naar Duitsland en de binnenlandse gebruikers te vervoeren.

1. LOHC kan in de haven gedehydrogeneerd<sup>31</sup> worden zodat waterstof (g) in het buisleidingennetwerk geïnjecteerd kan worden. Bij kleine hoeveelheden en korte afstanden kan waterstof (g) eventueel ook over de weg vervoerd worden.
2. LOHC kan getransporteerd worden via het spoor, water of de weg naar bestemming en daar gedehydrogeneerd worden. Voor kleinschalige toepassingen ligt het minder voor de hand om op locatie te dehydrogeneren omdat er bij het proces van dehydrogeneren warmte nodig is. Wanneer de dehydrogenering na transport (op bestemming) plaatsvindt, wordt waterstof via deze route naar Duitsland vervoerd. Dan ligt transport via rail of over het water het meest voor de hand vanwege de hoeveelheid en afstand.

Samenvattend kan dit betekenen dat LOHC wordt doorgevoerd verder het land in en naar het achterland in een range van 0-450 kt  $H_{2,eq}$  (ongeveer acht Mt LOHC). De stromen LOHC door het binnenland zijn maximaal 2,4 Mt LOHC. Voor één ton waterstof heb je minimaal ruim 16,2 ton perhydro-benzyltolueen nodig. Wanneer je acht Mt hiervan vervoert, heb je ruim 145.000 ketelwagenritten nodig. Hierbij is nog niet de dubbeling verdisconteerd die nodig is voor het heen en terug vervoeren van de LOHC, wat neer zou komen op een totaal van ongeveer 290.000 ketelwagenritten. Mocht men kiezen voor binnenvaartvervoer als modaliteit, dan gaat het om 3.200 jaarlijkse vaarten (gerekend met een gemiddelde capaciteit van 2.500 ton) plus evenveel retourvaarten, dus 6.400 per jaar.



Figuur 23. Schematische weergave van stromen ge(de)hydrogeneerde LOHC.

<sup>31</sup> Oftewel het waterstofdeel van de LOHC afhalen, zodat er losse waterstofmoleculen overblijven die in gasvormige vorm in de backbone geïnjecteerd kunnen worden.

Tabel 6. Import, verbruik, doorvoer en modaliteiten per waterstofdrager in de haven van Amsterdam (verwachting voor 2030 tot en met 2035; variant 3).

| Haven Amsterdam                  | Verdeling                                                                                     | Verbruik en doorvoer |                                                 |                                              | Modaliteiten     |                                        |                  |
|----------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|-------------------------------------------------|----------------------------------------------|------------------|----------------------------------------|------------------|
|                                  | Import                                                                                        | Eigen verbruik       | Doorvoer                                        | Buis                                         | Spoor            | Weg                                    | Water            |
| <b>LOHC</b>                      | Overwegend                                                                                    | Deels eigen verbruik | Deels doorvoer Nederland en achterland          | (Nog) niet mogelijk en geen concrete plannen | Mogelijk         | Mogelijk                               | Mogelijk         |
|                                  | 850 kt H <sub>2,eq</sub><br>8 Mt LOHC                                                         | Tot 400 kt           |                                                 |                                              |                  |                                        |                  |
| <b>Vloeibare waterstof (LH2)</b> | Geen grote volumes verwacht.                                                                  | N.v.t.               | N.v.t.                                          | N.v.t.                                       | N.v.t.           | N.v.t.                                 | N.v.t.           |
|                                  | 0                                                                                             |                      |                                                 |                                              |                  |                                        |                  |
| <b>Waterstof (gasvormig)</b>     | Alleen eigen productie (elektrolyse)                                                          | Verbruik in NZKG     | Vanuit omzetting LOHC naar gasvormige waterstof | Voornaamste transportmodaliteit              | Onwaarschijnlijk | Bevoorrading tankstations of cluster 6 | Onwaarschijnlijk |
|                                  | N.v.t.                                                                                        |                      |                                                 |                                              |                  |                                        |                  |
| <b>Ammoniak</b>                  | Nog geen concrete plannen en ingewikkeld vanwege het risicoprofiel en de veiligheidscontouren | N.v.t.               | N.v.t.                                          | N.v.t.                                       | N.v.t.           | N.v.t.                                 | N.v.t.           |
|                                  | 0                                                                                             |                      |                                                 |                                              |                  |                                        |                  |



Figuur 24. Schematische weergave van stromen naar en van de haven Amsterdam.

### 4.3 North Sea Port NL (Vlissingen en Terneuzen)

In North Sea Port wordt overwegend **ammoniak** geïmporteerd (tot negen Mt ammoniak). Deze importterminals worden voornamelijk voorzien in het havengebied rondom Vlissingen en Terneuzen/Sluiskil. **Waterstof (g)** wordt met name zelf geproduceerd. Over **LOHC** is nog niks bekend, maar dit blijft een mogelijkheid.

Zoals te lezen is in paragraaf 3.6 over het mogelijke gebruik van krakers, bepaalt de vraag van het achterland naar een specifieke drager (ammoniak of waterstof (g)) de stromen. Door de afhankelijkheid is nog niet met zekerheid te zeggen of er met name ammoniak vanaf North Sea Port door Nederland en Duitsland zal worden vervoerd, of waterstof (g). Wanneer alle geïmporteerde ammoniak gekraakt wordt, dan is er een capaciteit aan kraakfabrieken nodig die vergelijkbaar is met de capaciteit van de twaalf grootste op aardgas gebaseerde waterstoffabrieken die op dit ogenblik in Nederland aanwezig zijn. De drager heeft vervolgens weer invloed op de modaliteit die ingezet zal worden.

Vrijwel alle geproduceerde waterstof (g) is voor eigen gebruik omdat er niet voldoende wordt geproduceerd om aan de eigen vraag te kunnen voldoen. Daarom zijn er kraakinstallaties nodig om in die behoefte te voorzien. De doorvoer van waterstof (g) is daarom waarschijnlijk alleen omgezette waterstof (g) door het kraken van ammoniak.

Van de **ammoniak**import wordt een deel zelf verbruikt, ter vervanging van grijze ammoniak en het merendeel doorgestuurd, met name naar Chemelot en Duitsland. Zo ontstaan er vanaf de havens van North Sea Port twee stromen ammoniak:

1. De eerste stroom ammoniak loopt vanaf de havens in Vlissingen en Terneuzen naar Chemelot. Deze stroom kan waarschijnlijk via het water plaatsvinden en kan via Nederland of België lopen. Hierover meer in paragraaf 4.5 over Chemelot.
2. De tweede stroom vanaf North Sea Port loopt naar Duitsland. Naar verwachting kan North Sea Port 1,2 Mt  $H_{2,eq}$  doorvoeren naar Duitsland. Voor deze stroom gelden dezelfde voorwaarden als bij de stromen vanaf Rotterdam naar Duitsland, met het verschil dat een buisleiding met ammoniak (met de huidige plannen) geen optie is. Afhankelijk van de vraag van de afnemer wordt er ammoniak of waterstof (g) getransporteerd. Om ammoniak te kraken tot waterstof (g) is er ongeveer twaalf keer de kraakcapaciteit nodig, vergelijkbaar met de capaciteit van de grootste op aardgas gebaseerde waterstoffabrieken, zoals nu bekend in Nederland. De bandbreedte voor de ammoniakstroom varieert van nul bij volledig kraken in de haven en injecteren in het waterstof buisleidingennetwerk, tot ongeveer acht Mt ammoniak (1,2Mt  $H_{2,eq}$ ) wanneer er niets gekraakt wordt in de haven.

Wanneer de acht Mt vervoerd zou worden over spoor, zou dat een ordegrrootte van 145.000 ketelwagens per jaar opleveren. Voor het transport over water geldt bij een lading van 1.850 ton dat er ongeveer 4.324 scheepsladingen nodig zijn.

Tabel 7. Import, verbruik, doorvoer en modaliteiten per waterstofdrager in North Sea Port (verwachting voor 2030-2035; variant 3).

| North Sea Port            | Verdeling                              | Verbruik en doorvoer      |                                                                           |                                        | Modaliteiten                         |                                        |                                                                        |
|---------------------------|----------------------------------------|---------------------------|---------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|
|                           | Import                                 | Eigen verbruik            | Doorvoer                                                                  | Buis                                   | Spoor                                | Weg                                    | Water                                                                  |
| LOHC                      | Mogelijk                               | Nog niet bekend           | Nog niet bekend                                                           | Nog niet bekend                        | Nog niet bekend                      | Nog niet bekend                        | Nog niet bekend                                                        |
|                           | 0                                      |                           |                                                                           |                                        |                                      |                                        |                                                                        |
| Vloeibare waterstof (LH2) | Onwaarschijnlijk                       | N.v.t.                    | N.v.t.                                                                    | N.v.t.                                 | N.v.t.                               | N.v.t.                                 | N.v.t.                                                                 |
|                           | 0                                      |                           |                                                                           |                                        |                                      |                                        |                                                                        |
| Waterstof (gasvormig)     | Alleen eigen productie (elektrolyse)   | Groot deel eigen verbruik | Omzetting vanuit andere dragers                                           | Voornaamste transport-modaliteit       | Onwaarschijnlijk                     | Bevoorrading tankstations of cluster 6 | Onwaarschijnlijk                                                       |
|                           | N.v.t.                                 |                           |                                                                           |                                        |                                      |                                        |                                                                        |
| Ammoniak                  | Grote hoeveelheden (tot 9 Mt ammoniak) | Deels eigen verbruik      | Deels doorvoer naar Duitsland en Chemelot (de vorm is nog niet duidelijk) | Niet mogelijk en geen concrete plannen | Mogelijk, maar geen concrete plannen | Onwaarschijnlijk                       | Afhankelijk van kraakcapaciteit in de haven en vraag vanuit achterland |
|                           | 1,4 Mt (H <sub>2,eq</sub> )            |                           |                                                                           |                                        |                                      |                                        |                                                                        |





Figuur 25. Schematische weergave van stromen naar en van North Sea Port.

#### 4.4 Groningen Seaports (Delfzijl en Eemshaven)

In Groningen Seaports vindt veel elektrolyse plaats voor de productie van **waterstof (g)**. Deze waterstof wordt doorgevoerd naar tankstations, lokale industrie, cluster 6 en het achterland. De verwachting is dat het overgrote deel van de geproduceerde waterstof via het buisleidingennetwerk getransporteerd zal worden. Noord-Nederland speelt een belangrijke rol in de waterstofinfrastructuur in Nederland. Er is veel aardgasinfrastructuur die hergebruikt kan worden, wat het mogelijk maakt om vanuit het noorden grote hoeveelheden waterstof in te voeren. Daarnaast is er veel potentie voor het opslaan van waterstof in zoutcavernes, wat het noorden de waterstofbuffer van Nederland kan maken.

Door de bestaande infrastructuur in Delfzijl, bedoeld voor LNG, heeft de haven verschillende opties voor de import en doorvoer van waterstofenergiedragers. LNG is namelijk een cryogene stof (op zeer lage temperatuur bewaard). Dit geldt ook voor **gekoelde waterstof** en **gekoelde ammoniak**. Er wordt onderzocht of delen van de LNG-infrastructuur (waaronder de LNG-terminal) kunnen worden omgebouwd voor gebruik voor import van deze dragers. Beide dragers kunnen dan een optie zijn voor de haven. **LOHC** ligt als gevolg hiervan minder voor de hand. Hiervoor zou in ieder geval een hele nieuwe infrastructuur moeten worden ontwikkeld. Indien één van deze dragers geïmporteerd wordt, verwachten wij dat deze dragers omgezet worden in gasvormige waterstof om ofwel direct gebruikt te worden in processen of via het buisleidingennetwerk getransporteerd te worden. Dit omdat er geen ammoniakvraag in de buurt is en het buisleidingennetwerk in het gebied ruim voorhanden is voor waterstof (g). Naast de grote volumes waterstof die worden ingevoerd in het waterstofbuisleidingennetwerk voorzien wij geen grote stromen van andere dragers of modaliteiten.

Tabel 8. Import, verbruik, doorvoer en modaliteiten per waterstofdrager in Groningen Seaports (verwachting voor 2030 tot en met 2035; variant 3).

| Groningen Seaports               | Verdeling                                   | Verbruik en doorvoer                     |                    |                                 | Modaliteiten     |                                        |                  |
|----------------------------------|---------------------------------------------|------------------------------------------|--------------------|---------------------------------|------------------|----------------------------------------|------------------|
|                                  | Import                                      | Eigen verbruik                           | Doorvoer           | Buis                            | Spoor            | Weg                                    | Water            |
| <b>LOHC</b>                      | Mogelijk, maar nog geen initiatieven bekend | Nog niet bekend                          | Nog niet bekend    | Nog niet bekend                 | Nog niet bekend  | Nog niet bekend                        | Nog niet bekend  |
| <b>Vloeibare waterstof (LH2)</b> | Mogelijk, maar nog geen initiatieven bekend | Nog niet bekend                          | Nog niet bekend    | Nog niet bekend                 | Nog niet bekend  | Nog niet bekend                        | Nog niet bekend  |
| <b>Waterstof (gasvormig)</b>     | Veel lokale productie (elektrolyse)         | Klein deel productie voor eigen verbruik | Merendeel doorvoer | Voornaamste transportmodaliteit | Onwaarschijnlijk | Bevoorrading tankstations of cluster 6 | Onwaarschijnlijk |
| <b>Ammoniak</b>                  | Mogelijk, maar nog geen initiatieven bekend | Nog niet bekend                          | Nog niet bekend    | Nog niet bekend                 | Nog niet bekend  | Nog niet bekend                        | Nog niet bekend  |



Figuur 26. Schematische weergave van stromen naar en van Groningen Seaports.

## 4.5 Chemelot

Bij Chemelot wordt op dit moment veel **waterstof (g)** gebruikt (geproduceerd uit aardgas) om **ammoniak** (en daarmee weer kunstmest) te produceren. Daarnaast zijn er nog andere industriële processen die mogelijk van energie voorzien kunnen worden door middel van waterstof (g). Deze hoeveelheden zijn echter relatief klein ten opzichte van de andere clusters, omdat circa 75% van de fossiele grondstoffen als feedstock wordt gebruikt en maar 25% voor energie. De huidige waterstofvraag van het complex is ongeveer 190 kt  $H_{2,eq}$  per jaar.<sup>32</sup>

Grootschalige eigen productie van waterstof (g) middels elektrolyse wordt niet verwacht gezien de beperkte netcapaciteit in Limburg en de elektrificatie van andere industriële processen. Dit betekent dat waterstof (g) en/of ammoniak geïmporteerd dienen te worden. Waterstof (g) kan worden afgenomen door de buisleidingen die worden gerealiseerd. Ook ammoniak kan via een buisleiding afgenomen worden, mits deze in de Delta Corridor wordt opgenomen. Daarnaast kan ammoniak per schip aangevoerd worden zoals nu ook al gebeurt via de importhaven van OCI aan het Julianakanaal, en kan ammoniak worden aangevoerd per spoor, wat in een convenant nu nog is gemaximeerd op ongeveer 100 kt per jaar (wat overeenkomt met 2.000 ketelwagens).

In variant 3 zijn we uitgegaan van een volledige vervanging van grijze **ammoniak** door geïmporteerde groene **ammoniak**. De verwachte ammoniakvraag bedraagt ongeveer 1,1 Mt (190 kt  $H_{2,eq}$ ) per jaar. Vanwege de aard van de processen op het complex ligt import van **LOHC** minder voor de hand. Chemelot kan zowel kiezen voor de afname van waterstof (g) of ammoniak. Deze keuze is door het complex nog niet gemaakt, maar door de aanname (variant 3) dat grijze ammoniak volledig door groene ammoniak wordt vervangen, wordt er hier van uitgegaan dat het ammoniak gaat importeren. Waar Chemelot deze ammoniakstroom vandaan haalt, is afhankelijk van de verdeling van aanvoer van ammoniak tussen North Sea Port en de haven van Rotterdam. Voor de leveringszekerheid voor het complex kan het wenselijk zijn om vanuit beide havens te importeren. Tegelijkertijd heeft OCI al een ammoniakimportterminal in de haven van Rotterdam, waardoor de keuze voor deze haven het meest voor de hand ligt. Dit betekent dat er vanuit beide havens tot 1,1 Mt ammoniak getransporteerd kan worden naar Chemelot. Dit komt overeen met ongeveer 190 kt  $H_{2,eq}$ .

De modaliteit waarmee dit vervoerd wordt vanuit Rotterdam is afhankelijk van het wel of niet aanwezig zijn van een ammoniakleiding in de Delta Corridor. Mocht dit geen mogelijkheid zijn, dan is vervoer via het water en (deels) via het spoor het meest voor de hand liggend. Vanaf de importterminals in Zeeland zal ammoniak via water of het spoor vervoerd worden. Over water kan dit een route door België of door Nederland zijn.

---

<sup>32</sup> Volgens de CES 2.0 van Chemelot kan dit stijgen naar 300 kt  $H_{2,eq}$  per jaar (CES Chemelot 2.0, 2022).

Tabel 9. Import vanuit Nederland, verbruik en modaliteiten per waterstofdrager in Chemelot (verwachting voor 2030 tot en met 2035; variant 3).

| Chemelot              | Verdeling                                                                                               | Verbruik en doorvoer                                               |          |                                                   | Modaliteiten               |                                                     |                                                                                 |
|-----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|----------|---------------------------------------------------|----------------------------|-----------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
|                       | Import (vanuit Nederland)                                                                               | Eigen verbruik                                                     | Doorvoer | Buis                                              | Spoor                      | Weg                                                 | Water                                                                           |
| LOHC                  | Minder waarschijnlijk                                                                                   | N.v.t.                                                             | N.v.t.   | N.v.t.                                            | N.v.t.                     | N.v.t.                                              | N.v.t.                                                                          |
|                       | 0 Mt                                                                                                    |                                                                    |          |                                                   |                            |                                                     |                                                                                 |
| Vloeibare waterstof   | Minder waarschijnlijk                                                                                   | N.v.t.                                                             | N.v.t.   | N.v.t.                                            | N.v.t.                     | N.v.t.                                              | N.v.t.                                                                          |
|                       | 0 Mt                                                                                                    |                                                                    |          |                                                   |                            |                                                     |                                                                                 |
| Waterstof (gasvormig) | Weinig, eigen productie (elektrolyse) is lastig door beperkte netcapaciteit; wel afname uit buisleiding | Bij 1-op-1 vervanging ammoniak-productie weinig waterstof-verbruik | Geen     | Voornaamste transport-modaliteit                  | Onwaarschijnlijk           | Onwaarschijnlijk                                    | Onwaarschijnlijk                                                                |
|                       | nvt                                                                                                     |                                                                    |          |                                                   |                            |                                                     |                                                                                 |
| Ammoniak              | Grootste volumes                                                                                        | Bij aanname 1-op-1 vervanging ammoniak-productie                   | Geen     | Indien ammoniak wordt opgenomen in Delta Corridor | Mogelijk (komt nu al voor) | Onwaarschijnlijk/niet relevant gezien grote volumes | Waarschijnlijk, komt nu al voor (afhankelijk opname ammoniak in Delta Corridor) |
|                       | 190 kt H <sub>2,eq</sub>                                                                                |                                                                    |          |                                                   |                            |                                                     |                                                                                 |

## 4.6 België

De haven van Antwerpen heeft ook grote importambities en in variant 3 gaan wij uit van een stroom van bijna 9,4 Mt ammoniak (1.650 kt H<sub>2,eq</sub>). Alle import van ammoniak, en de doorvoer van ammoniak per schip zullen over de Westerschelde plaatsvinden. Deze stroom gaat niet via een Nederlandse haven, maar loopt dus wel door Nederland. Ammoniaktransport binnen North Sea Port naar Gent is onwaarschijnlijk omdat er qua omgevingsveiligheid weinig ruimte is op de route in Nederland en ammoniakverlading moeilijk vergunbaar is in de haven van Gent.

België heeft dus ook een grote importambitie. De import is, net als in Nederland, niet alleen voor eigen verbruik. Een deel wordt doorgevoerd naar andere landen in Europa, waaronder Duitsland. Deze stroom kan deels door Nederland vervoerd worden via het spoor. Voor de veiligheid heeft dit grote consequenties. De onderlinge verdeling (van import, opslag, gebruik en doorvoer) van ammoniak tussen enerzijds de Zeeuwse en anderzijds de Antwerpse havens bepaalt de hoeveelheden, modaliteitskeuzes en routes, en dus de omgevingsveiligheid in met name de zuidelijke provincies. Aangezien de hoeveelheden heel groot zijn, is de veiligheidsconsequentie significant, maar ook onduidelijk om in te schatten, omdat de hoeveelheid vervoer nu nog niet in te schatten is.



## 4.7 Totaaloverzicht

Wanneer we voorgaande inzichten samenvatten in de stromen die wij verwachten en die schematisch plotten op een kaart, dan komen wij tot het volgende overzicht:



Figuur 27. Schematische weergave van alle in dit onderzoek te verwachten stromen van en naar locaties in en buiten Nederland.

## 4.8 Stromen in variant 1 en 2

Er is een aantal verschillen in het beeld voor de stromen voor varianten 1 en 2 ten opzichte van het hiervoor geschetste beeld voor variant 3. In variant 2 wordt net als in variant 3 voor Chemelot uitgegaan van volledige vervanging van grijze ammoniak door geïmporteerde groene ammoniak (1,1 Mt ammoniak per jaar). In variant 1 wordt een derde van de grijze ammoniakproductie vervangen, wat uitkomt op ongeveer 0,4 Mt ammoniak per jaar.

In beide varianten is de aangenomen doorvoer naar Duitsland kleiner. Er is in deze varianten ook *geen* doorvoer van LOHC naar Duitsland. Dit is de consequentie van het punt dat de import van ammoniak al gebruik kan maken van bestaande en bewezen technologie. Dit heeft geleid tot de aanname dat import van waterstof in de periode 2030-2035 in eerste instantie en voornamelijk zal plaatsvinden in de vorm van ammoniak, mede gezien alle initiatieven wereldwijd en in Nederland op het gebied van koolstofarme ammoniak. Wel zijn er op het ogenblik ook initiatieven op het gebied van LOHC. Vanwege de minder ver ontwikkelde status van de technologie is doorvoer alleen meegenomen in variant 3 en niet in de varianten 1 en 2. Mocht de LOHC-technologie toch snel beschikbaar komen op voldoende grote schaal dan zou de mogelijke hoeveelheid transport van ammoniak naar Duitsland in principe lager kunnen uitvallen dan nu verondersteld in variant 1 en 2. De tijd die rest voor opschaling van de technologie tot de periode 2030-2035 is echter beperkt.

In variant 1 wordt 0,6 Mt ammoniak per jaar geïmporteerd voor doorvoer naar Duitsland. In variant 2 is dit vijf Mt ammoniak per jaar. Er wordt in variant 1 dus maximaal één Mt ammoniak vanuit Rotterdam doorgevoerd naar Chemelot en Duitsland en in variant 2 maximaal 6,1 Mt vanuit Rotterdam en North Sea Port.

Wanneer ammoniak over het spoor vervoerd zou worden, zijn er respectievelijk 18.000 en 111.000 ketelwagens (55 ton lading) nodig per jaar. Met schepen met een capaciteit van 1.850 ton per schip komt het overeen met respectievelijk 540 en 3.300 scheepsladingen per jaar. In variant 1 ligt transport van ammoniak per buisleiding niet voor de hand gezien het beperkte volume aan ammoniak dat getransporteerd hoeft te worden. Voor het volume in variant 2 is transport van ammoniak per buisleiding wel een mogelijke optie.

Tabel 10: Overzicht van te transporteren ammoniakstromen per variant en het equivalent in ketelwagens en scheepsladingen.<sup>33</sup>

|                                          | Variant 1 | Variant 2 | Variant 3 |
|------------------------------------------|-----------|-----------|-----------|
| Import Chemelot (Mt)                     | 0,4       | 1,1       | 1,1       |
| Import voor doorvoer naar Duitsland (Mt) | 0,6       | 5         | 28        |
| Doorvoer naar Chemelot en Duitsland (Mt) | 1         | 6,1       | 29,1      |
| Equivalent aan ketelwagens per jaar      | 18.000    | 111.000   | 530.000   |
| Equivalent aan scheepsladingen per jaar  | 540       | 3.300     | 15.800    |

<sup>33</sup> Deze tabel is een versimpeld overzicht van wat wij in variant 1, 2 en 3 hebben beschreven. Het is geen voorspelling van de daadwerkelijke hoeveelheden, laat staan dat de equivalenten van de ketelwagens en scheepsladingen hiermee werkelijkheid worden, omdat dit uitersten zijn als alles over slechts één modaliteit zou gaan lopen.



In welke mate ammoniak over spoor, water of per buisleiding getransporteerd wordt, wordt mede bepaald door de keuze om de ammoniak voor doorvoer naar Duitsland wel of niet te kraken in de Nederlandse havens. Voor het kraken van 0,6 Mt ammoniak (variant 1) is er een kraakcapaciteit van ongeveer 400 MW nodig, vergelijkbaar met de huidige grootste waterstoffabriek in Nederland. Voor het kraken van vijf Mt ammoniak voor doorvoer naar Duitsland (variant 2) is kraakcapaciteit van ongeveer acht keer de grootste waterstoffabriek in Nederland nodig.

De aangenomen import van ammoniak naar de haven van Antwerpen, via de Westerschelde, is in varianten 1 en 2 ook lager dan in variant 3 (zie ook figuur 9 in paragraaf 2.5). Het gaat dan om respectievelijk 0,4 Mt en 3,1 Mt ammoniak per jaar, vergeleken met 9,4 Mt in variant 3.

## HOOFDSTUK 5.

# Welke keuzes komen op ons pad?

## 5.1 Leeswijzer

Dit hoofdstuk geeft een overzicht van de belangrijkste bevindingen uit dit onderzoek. In paragraaf 2 van dit hoofdstuk geven wij eerst een terugkoppeling aan de hand van de deelvragen gepresenteerd in hoofdstuk 1. Deze antwoorden/bevindingen zullen wij in paragraaf 3 voorzien van kritische reflecties en aanvullingen. Paragraaf 4 gaat vervolgens in op de beleidsopties die op zowel de korte als lange termijn een rol zouden kunnen gaan spelen. Het gaat hierbij om principiële overwegingen waarin belangen zoals het tempo van de energietransitie moeten worden afgewogen tegenover de bijkomende veiligheidseffecten van verschillende (waterstofvrije) energiedragers. Hierin wordt geen voorkeur aangegeven. Het is aan de Rijksoverheid en andere actoren om daar een antwoord op te formuleren. In paragraaf 5 geven we ten slotte nog enkele slotoverwegingen mee, naast een aantal aanvullende vragen waarvan wij denken dat deze in de toekomst beantwoord moeten worden.

## 5.2 Beantwoording van de deelvragen

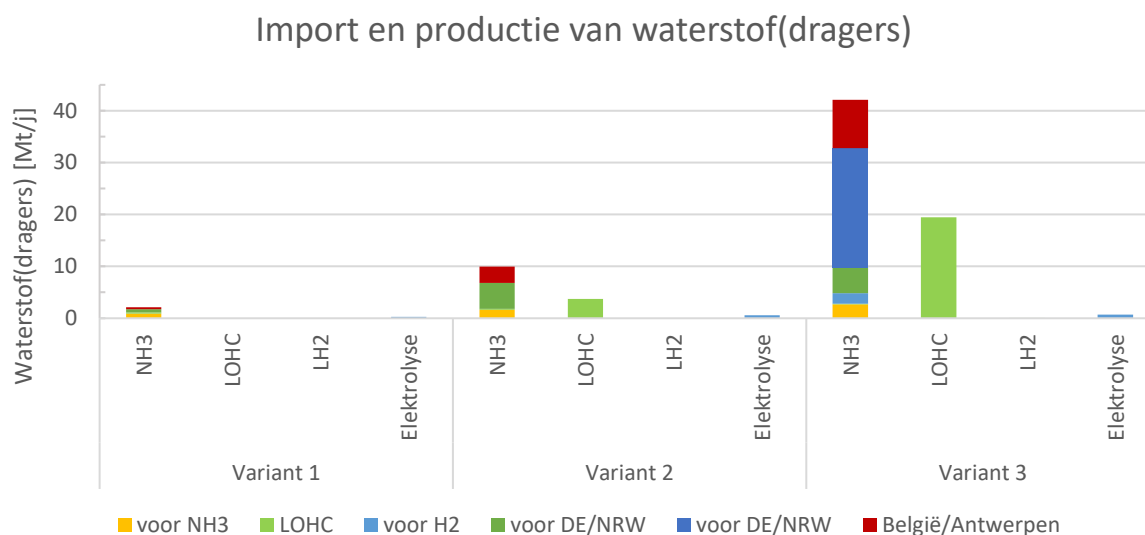
**Deelvraag 1. Wat zijn de te verwachten volumes aan te transporteren gasvormige en vloeibare duurzame energiedragers en welke transport- en opslagmodaliteiten kunnen hierbij worden ingezet?**

In dit onderzoek hebben we drie varianten uitgewerkt om een bandbreedte van mogelijke ontwikkelingen te schetsen. De varianten zijn hier nog een keer weergegeven.

Tabel 11. Overzicht varianten (industrie, transport, productie, import en export).

|                             |                                             | Variant 1: Lage variant<br>o.b.v. RED3 | Variant 2: Hoge variant<br>o.b.v. RED3               | Variant 3: Marktverwachtingen<br>o.b.v. Fit-for-55 en REPowerEU       |
|-----------------------------|---------------------------------------------|----------------------------------------|------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| Industrie                   | RFNBO-opgave industrie                      | 35%                                    | 75%                                                  | 75%                                                                   |
|                             | Ammoniakproductie vervangen door import     | 33% met dubbeltelling                  | 60% met dubbeltelling                                | 100% zonder dubbeltelling                                             |
|                             | Waterstofvraag Tata Steel                   | Nog geen waterstofvraag                | Eerste fase conversie gereed                         | Eerste en tweede fase conversie gereed                                |
|                             | Huidige waterstof (g) vervanging            | Groene waterstof vervangt huidige      | Productie blijft in bedrijf voor warmte in industrie | Productie blijft in bedrijf voor warmte in industrie en elektriciteit |
| Transport                   | RFNBO-opgave transport                      | 2,6%                                   | 5,7%                                                 | 5,7%                                                                  |
|                             | Inzet waterstof (g) voor brandstoflevering  | Via (bio)raffineroute                  | Via (bio)raffineroute                                | Via (bio)raffineroute                                                 |
|                             | Aviation subdoel voor transport             | 0,7%                                   | 5%                                                   | 5%                                                                    |
|                             | E-methanol                                  | 10% in bestaand proces                 | 50% door ombouw                                      | 100% door verdere ombouw                                              |
|                             | Waterstof (g) inzet in transport balanspost | Directe inzet                          | Directe inzet                                        | Directe inzet                                                         |
| Productie, import en export | Elektrolyse                                 | 4 GW                                   | 8 GW                                                 | 9,5 GW                                                                |
|                             | Importverwachting                           | Als resultante                         | Als resultante                                       | Verwachtingen HB's                                                    |
|                             | Geïmporteerde drager                        | Ammoniak                               | Ammoniak en LOHC                                     | Ammoniak, LOHC en LH2                                                 |
|                             | Doorvoer naar NRW/DE                        | Beperkt naar NRW                       | Doorvoer aanzienlijk DE                              | Doorvoer hoog DE                                                      |
|                             | Doorvoer naar België (Westerschelde)        | Laag volume ammoniak                   | Midden volume ammoniak                               | Hoog volume ammoniak                                                  |

Het is onzeker hoe de volumes aan duurzame energiedragers zich de komende jaren exact gaan ontwikkelen. Deze varianten laten grote verschillen zien in de mogelijke volumes (en stromen) van waterstofrijke energiedragers in Nederland. De eerste variant geldt als ondergrens van de bandbreedte en de derde variant is een bovengrens gebaseerd op marktverwachtingen. Figuur 28 geeft een overzicht van de uitkomsten van deze drie varianten, met een brede variatie aan waterstofdragers in megatonnen. In variant 3 is ook een stroom LH2 voorzien, maar die is minder dan één megaton waterstofequivalenten.



Figuur 28. Overzicht van de verschillende varianten qua import en productie van waterstof(dragers) in megatonnen per jaar.

Bovenstaande figuur geeft een overzicht van de verschillen in jaarlijkse stoffstromen tussen de drie varianten. Met 'voor NH3' wordt bedoeld op ammoniak die wordt geïmporteerd en waar het eindgebruik ook ammoniak is, in Nederland. Bij 'voor H2' wordt ammoniak geïmporteerd, maar betreft het eindgebruik van waterstof in Nederland. Bij 'voor DE/NRW' en 'België/Antwerpen' gaat het om doorvoer naar Duitsland/Nordrhein-Westfalen en België als ammoniak, waarbij de vorm van het eindgebruik niet bekend is.

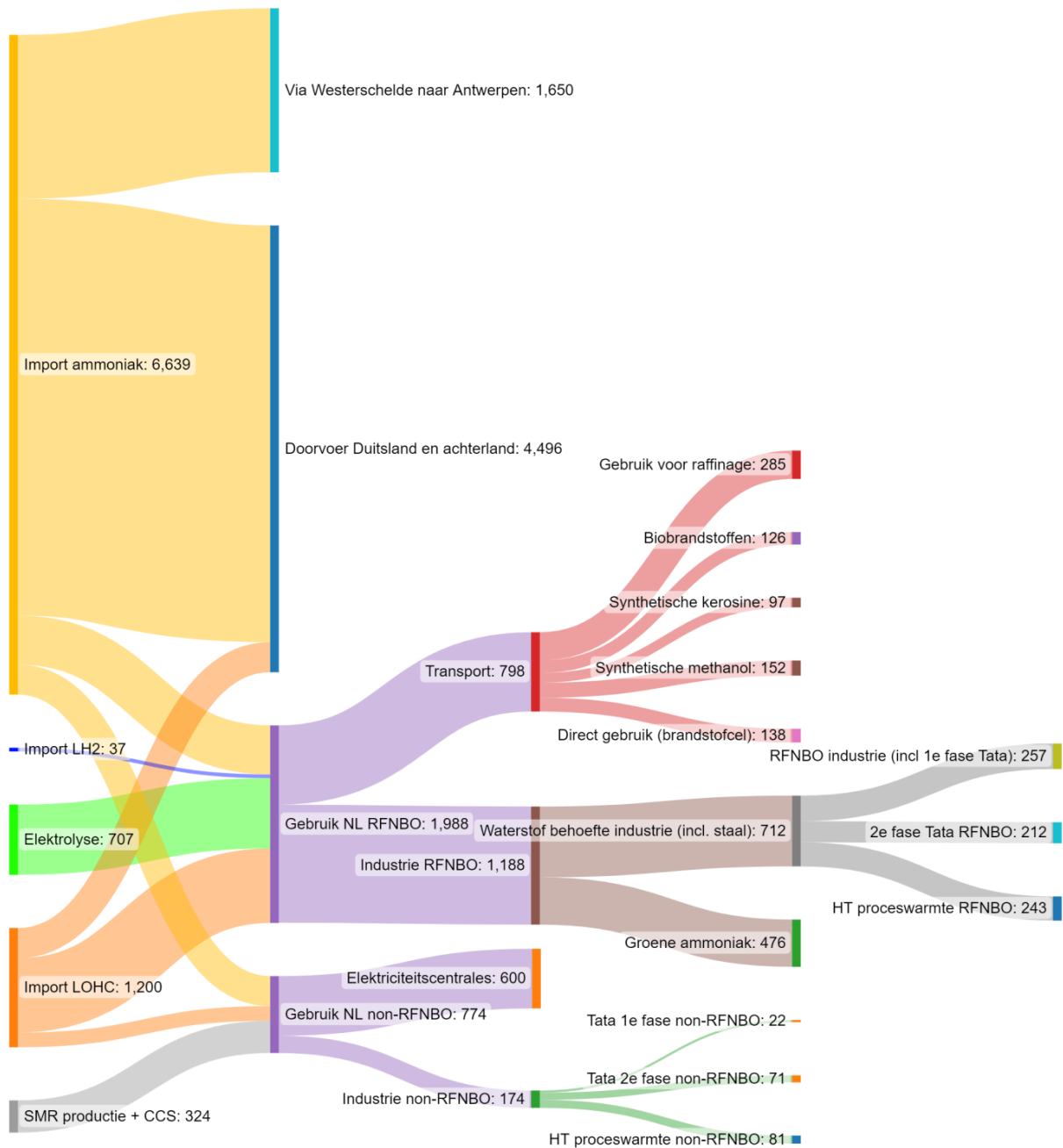
Om de stromen van waterstofrijke energiedragers door Nederland inzichtelijk te maken, hebben wij de stromen tussen de belangrijkste importlocaties (havenbedrijven) en bestemmingslocaties (chemische clusters, België en Duitsland) in beeld gebracht. De verwachting is namelijk dat tussen deze locaties de grootste volumes van waterstofrijke energiedragers vervoerd zullen gaan worden. De importlocaties zijn:

- de haven van Rotterdam (inclusief de Maasvlakte)
- de haven van Amsterdam (Noordzeekanaalgebied)
- North Sea Port (het Nederlandse gedeelte, namelijk Vlissingen en Terneuzen)
- Groningen Seaports (Delfzijl en Eemshaven).

De voornaamste bestemmingslocaties, voor transport door Nederland, zijn naast de havens ook:

- Chemelot
- Duitsland (en verder).

Daarnaast vervult België nog een speciale rol. De import van de Antwerpse haven verloopt namelijk via de Westerschelde (in Nederland), waarmee deze import ook invloed heeft op de veiligheid in Nederland. Daarnaast worden mogelijk ook de transporten van waterstofrijke energiedragers van België naar Duitsland vervoerd over Nederlands grondgebied. Gekoppeld aan deze clusters verwachten wij voor variant 3 (de bovengrens) dat de stromen er als volgt uit zullen gaan zien (in kilotonnen waterstofequivalenten):



Figuur 29. Vraag en aanbod van RFNBO en koolstofarme waterstof voor variant 3 (in kt  $H_{2,eq}$ ).

De gevolgen hiervan voor de modaliteiten zijn zeer groot: wanneer je dergelijke hoeveelheden zou willen vervoeren via een modaliteit als het **spoor**, dan moet je vanuit Rotterdam denken aan 309.000 ketelwagens op jaarbasis óf meer dan 9.100 vervoersbewegingen over **water** voor alleen ammoniak. Vanuit North Sea Port zou het aantal vervoersbewegingen neerkomen op 145.000 ketelwagens of meer dan 4.300 scheepsladingen.

## **Deelvraag 2. Wat is de betekenis van de ontwikkelingen (kwalitatief) voor de belasting van het Basisnet en voor de veiligheid in de omgeving van de overige transportinfrastructuur en in hoeverre speelt een afname van transport van fossiele brandstoffen hierbij een rol?**

De belasting van het Basisnet met deze ontwikkelingen is zeer groot in variant 2 en 3. Om het in perspectief te plaatsen ten opzichte van de huidige situatie: ammoniaktransport per spoor wordt ontmoedigd door de Nederlandse overheid sinds 2004, juist vanwege de grote impact op omgevingsveiligheid en de effecten van een groot incident. Jaarlijks gaan er daarom in de huidige situatie ongeveer 2.000 ketelwagenritten over het spoor met ammoniak.<sup>34</sup> Dat is ongeveer 0,4% ten opzichte van de benodigde vervoersbewegingen in variant 3. Transport over de **weg** is mogelijk voor ammoniak, waarbij in het Basisnet aan referentieaantallen met enkele honderden op jaarbasis rekening wordt gehouden. Bij transport over het **water** is voor de Maascorridor bij het vaststellen van het risicoplafond uitgegaan van 258 scheepsladingen. Dat is minder dan 2% van de in variant 3 te verwachten hoeveelheid. Uitgaande van variant 3 betekent dit een zeer grote stijging van het aantal vervoersbewegingen met ammoniak ten opzichte van de huidige situatie, met ook daarbij een stijging van het risiconiveau. Maar ook in variant 2 is er sprake van een grote stijging in het aantal vervoersbewegingen met ammoniak, met ook al effecten of het risiconiveau. Om dit veilig te doen is het daarom van belang dat er een visie wordt gevormd en besluiten worden genomen over hoe ammoniak veilig door Nederland vervoerd kan worden.

Voor LOHC's geldt een ander uitgangspunt, namelijk dat de stof veel minder impact heeft op de omgevingsveiligheid en dat over het water nog veel ruimte is om deze stofcategorie te faciliteren. Tegelijkertijd geldt hier ook dat als een groot deel over het spoor vervoerd zou worden, er aanzienlijke uitdagingen liggen rond de risicoplafonds rond het Basisnet, bijvoorbeeld omdat op de corridor Amsterdam – Utrecht de ruimte in het Basisnet Spoor te laag zijn voor de hoeveelheden die vanuit het Amsterdams havengebied vervoerd zouden kunnen gaan worden.

De volumestromen van waterstofrijke energiedragers die hiervoor worden genoemd zijn groot<sup>35</sup>, maar bij deze getallen wordt ervan uitgegaan dat alles wordt vervoerd via één modaliteit. In dit onderzoek beargumenteren wij echter ook dat dergelijke hoeveelheden voor een enkele modaliteit niet reëel zijn vanuit omgevingsveiligheidsperspectief noch vanuit logistiek oogpunt. Deze getallen moeten daarom ook geen eigen leven gaan leiden buiten deze context en buiten het feit dat er een mix van modaliteiten moet komen om dergelijke hoeveelheden te faciliteren. Het ligt immers wel in de verwachting dat dergelijke hoeveelheden via meerdere stoffen en modaliteiten moeten worden gezien: er zal in de praktijk nooit alleen voor het één of het ander gekozen worden. Dit betekent echter niet dat er eenvoudig tussen modaliteit gewisseld kan worden. Wel is duidelijk dat het beschikbaar hebben van buisleidingen en waterstofkrakers nodig is om heel grote hoeveelheden vervoerd te krijgen. De buisleidingen zijn dan vooral nodig voor doorvoer van grote stromen ammoniak naar Duitsland (en verder). Daarnaast kunnen andere modaliteiten, zoals transport per spoor en water, ook een rol van betekenis blijven spelen, zeker in de periode die nodig is om die krakers en buisleidingen gereed te maken.

Vooralspoor en water verwachten wij in dat geval complicaties ten aanzien van de belasting van het Basisnet: voor spoortransport is het evident dat het op korte termijn al zal voorkomen dat de huidige risicoplafonds onhoudbaar worden. Dat inzicht houdt vooral verband met de bestaande problemen in de huidige situatie van het Basisnet Spoor.

<sup>34</sup> In de realisatiecijfers van het spoortransport in 2020 geldt dit voor de categorie B2 waarvan ammoniak de referentiestof is. Dit betreft echter ook andere stoffen als zwaveldioxide en waterstofchloride.

<sup>35</sup> Ten overvloede: wij doen hier geen voorspelling over welke variant het meest waarschijnlijk is.

Voor transport over de weg is het niet de verwachting dat er grote transportstromen zullen komen, omdat bulktransport aantrekkelijker is voor producenten en afnemers en dit is zeer lastig via de weg te realiseren. Ondanks dat er in een trein ruime hoeveelheden vervoerd kunnen worden, zijn de behoeften dermate groot dat vervoer over water of door buisleidingen aantrekkelijker zullen zijn voor de meeste afnemers. Voor vervoer over het spoor zijn er ook minder mogelijkheden als gevolg van risicoplafonds in het Basisnet die snel overschreden kunnen worden. Ondanks dat hiervoor bulkvervoer via water en buisleidingen aantrekkelijker lijkt, kan zeker niet uitgesloten worden dat er ook grote hoeveelheden transport over het spoor en zelfs over de weg zullen komen, waardoor de kans groot is dat ook hier risicoplafonds overschreden worden. Zeker in de periode waarin nog geen buisleidingen of krakers aanwezig zijn, is dit een zeer reële optie.

Stel bijvoorbeeld dat van de 530.000 ketelwagens ammoniak (het gecombineerde totale transport in variant 3) 5% via spoor vervoerd wordt en dat andere modaliteiten (binnenvaart, buisleiding en gekraakt tot waterstof in de backbone) de overige 95% vervoeren. Dan betekent dit nog steeds dat er 26.500 ketelwagens vervoerd moeten worden over het spoor. Dit is ruim dertien keer meer dan in de huidige situatie (gebaseerd op realisatiecijfers uit 2020). Maar ook als de helft van dat scenario gehaald zou worden, kun je nog steeds bijna zeven keer meer transport over het spoor verwachten dan in de situatie in 2020. Dus zelfs als het uiterste scenario met een combinatie van modaliteiten gedaan wordt, dan heb je ook bij relatief kleine percentages transportvolumes een Basisnet dat stevig onder druk kan komen te staan.

Transport over water is tot op heden altijd redelijk buiten schot gebleven qua discussies rond overschrijding van risiconormen. Toch verwachten wij met de grote volumes uit de uiterste variant met grote zekerheid dat de plafonds uit het Basisnet overschreden zullen worden, wanneer er voldoende schepen beschikbaar zijn om ammoniak te transporteren.

De kans dat (fossiele brand)stoffen compleet verdwijnen op de 'korte' termijn (tot 2035) is niet heel groot als gevolg van de stromen waterstofrijke energiedragers. Wel zal bijvoorbeeld de inzet van aardgas afnemen. Veel van de getransporteerde fossiele brandstoffen (brandbare vloeistoffen en LPG) over spoor en weg zijn niet bedoeld voor de grote industriële doeleinden waarvoor waterstof en ammoniak worden ingezet, maar worden bijvoorbeeld ingezet als brandstof voor wegverkeer. Deze fossiele brandstoffen vormen ongeveer 10% van het totale gebruik aan fossiele brandstoffen. De toename van elektrificatie van het wagenpark zal eerder van invloed op deze transporten dan de transportstromen van waterstof of waterstofdragers voor de industrie. Waterstof zal naar verwachting wel een rol gaan spelen als brandstof voor voertuigen, hoewel waarschijnlijk minder dan elektriciteit en zeker niet zo omvangrijk als de fossiele brandstoffen nu. Er zal dus ook wel waterstof over de weg vervoerd worden voor de bevoorrading van multi-fuel tankstations. De stromen fossiele brandstoffen en waterstof zullen voorlopig naast elkaar bestaan, alvorens op de langere termijn de vraag naar fossiele brandstoffen zal afnemen. De stromen van gevaarlijke stoffen zijn daarmee dermate groot dat de vraag niet zozeer is óf het Basisnet onder druk komt te staan, maar wanneer en voor welke modaliteit als eerst.

Een element dat we hierbij ook moeten benoemen, is de wissel die dit gaat trekken op stedelijke ontwikkeling in de buurt van zowel spoor, weg als water, omdat de potentiële effecten van een incident met ammoniak heel ver kunnen reiken. In het kader van goede ruimtelijke (met name stedelijke) ontwikkelingen, is het belangrijk om mee te wegen bij toekomstige keuzes dat grote stromen van waterstofrijke energiedragers tot beperkingen en extra uitdagingen zullen gaan leiden. In het huidige tijdsgewricht is er een grote maatschappelijke opgave om woningen te realiseren waarbij ook in (binnen)stedelijk gebied naarstig gezocht wordt naar grootschalige gebiedsontwikkeling, bijvoorbeeld in stedelijk gebied in het kader van NOVEX.



Natuurlijk is het binnen het Besluit Kwaliteit Leefomgeving en de nieuwe Omgevingswet mogelijk om op basis van aandachtsgebieden maatregelen te treffen die incidenten met toxische scenario's kunnen beheersen. Maar tegelijkertijd zal het zeer moeilijk uitlegbaar zijn om in dichtbebouwd stedelijk gebied stromen van duizenden wagons of tientallen schepen met ammoniak te faciliteren. Wanneer de grote stromen bewaarheid worden die in deze studie als mogelijke opties bij variant 2 en vooral variant 3 geschetst worden, dan betekent dat grote spanningen en uitdagingen om die stedelijke ontwikkeling gerealiseerd te krijgen, omdat dat in de huidige situatie bij lagere vervoersaantallen al geen sinecure is.

Wij willen hier wel als kritisch perspectief tegenover zetten dat veiligheid niet alleen gestimuleerd wordt door het Basisnet. We hebben immers in pan-Europees verband afspraken gemaakt over waar veilig transport aan moet voldoen (RID-, ADN- en ADR-richtlijnen) en zijn als een van de weinige EU-landen<sup>36</sup> altijd bezig geweest met het opleggen van nationaal beleid (het Basisnet). Dit beleid blijkt in de praktijk niet tot nauwelijks houdbaar en leidt vooral tot discussie over de overschrijding van risicoplafonds in plaats van het daadwerkelijk veiliger maken van de omgeving en het transport.<sup>37</sup> Wij denken daarom niet dat het Basisnet ontworpen is om deze ontwikkelingen te faciliteren en mogelijk te maken, noch dat het zo ontworpen kan worden om dat wel te zijn. Eerder zien wij de Basisnetregelgeving als hindermacht die voorbijgaat aan de werkelijk belangrijke vraag: hoe gaan we zorgen dat op een intrinsieke of zo veilig mogelijke wijze transport gefaciliteerd kan worden voor deze voor de energietransitie essentiële stoffen? Hiervoor zijn niet alleen de bestaande transportmodaliteiten nodig, maar zal ook verder gekeken moeten worden naar buisleidingen.

### **Deelvraag 3. Is er (kwalitatief) zicht op de noodzaak en rol van (meer) buisleidingen in het energiesysteem en op de eventuele behoefte aan nieuwe tracés en corridors, voor transport van waterstof, ammoniak, of mogelijke andere energiedragers?**

Ja, dit is wat ons betreft essentieel voor het aandeel ammoniak als variant 3 de praktijk wordt. Uit dit onderzoek komt naar voren dat de waterstofrijke energiedragers die vervoerd moeten worden zeer groot kunnen worden. Natuurlijk wordt er in variant 3 een scenario geschetst met zeer omvangrijke transporten, waarvan het op voorhand onzeker is of dit realiteit gaat worden, maar zelfs in een gematigder scenario (variant 2) zijn de te transporteren hoeveelheden enorm. De omgevingsrisico's, de potentieel negatieve perceptie en de uitdagingen voor de ruimtelijke ontwikkelingen die daarbij komen kijken, laten wat ons betreft weinig ruimte voor een discussie over het nut en de noodzaak van buisleidingen.

Als kritische noot hierbij geldt wel dat de noodzaak voor buisleidingen in een gematigder scenario als variant 2 minder groot kan zijn. De te verwachten hoeveelheden zijn dan wellicht beter te faciliteren door middel van vervoer over het water in combinatie met het kraken van ammoniak tot waterstof. Wanneer het uiteindelijk bij variant 1 blijft zal naar onze inschatting een buisleiding voor ammoniak waarschijnlijk minder noodzakelijk zijn op korte termijn, maar op de lange termijn (tot 2050) is dat moeilijk aan te geven.

<sup>36</sup> Ook Zwitserland heeft bijvoorbeeld aanvullend nationaal beleid, waarbij risico's van het vervoer van gevaarlijke stoffen gemonitord worden en waar eventuele aanvullende maatregelen worden geëist.

<sup>37</sup> Het moet opgemerkt worden dat op dit moment sowieso al trajecten lopen om het Basisnet te herzien en dat daarnaast ook een evaluatie loopt, omdat deze constatering niet nieuw zijn. Zie bijvoorbeeld ook het rapport Robuust Basisnet Spoor: [Spoor - Kenniscentrum InfoMil](#).

Voor het slagen van het transport van waterstof an sich is de backbone een randvoorwaarde.<sup>38</sup> Veel van de respondenten die wij gesproken hebben, gingen er al van uit dat het injecteren in buisleidingen een gegeven was, waardoor zij vele kilotonnen direct kwijt kunnen. Hier is echter nog wel een factor van betekenis die tot op heden (voor zover wij weten) vrij weinig aandacht heeft gekregen, namelijk dat als de import van waterstofrijke energiedragers voornamelijk uit ammoniak bestaat, de geïmporteerde ammoniak eerst gekraakt moet worden (dus van  $\text{NH}_3$  wordt dan stikstof ( $\text{N}_2$ ) en waterstof ( $\text{H}_2$ ) gemaakt), voordat het als gasvormige waterstof in de buisleidingen geïnjecteerd kan worden. Uit onze analyse blijkt dat, uitgaande van variant 3, wanneer alle ammoniak wordt gekraakt, hiervoor een capaciteit aan ammoniakkrakers nodig is die ongeveer zestig keer zo groot is als de capaciteit van de grootste op aardgas gebaseerde waterstoffabrieken, die op dit ogenblik in Nederland aanwezig zijn. Kortom, om het transport van waterstof mogelijk te maken in buisleidingen zijn nog extra stappen nodig, namelijk verdere technologische ontwikkeling van de kraakinstallaties en het ruimte maken voor het faciliteren en bouwen van kraakinstallaties in de havengebieden (en dan vooral in Rotterdam en North Sea Port).

Voor het slagen van het transport van ammoniak is nog een lange weg te gaan, die begint bij het maken van een principiële keuze voor een buisleiding in de Delta Corridor die enkel bedoeld is voor het transport van ammoniak van de haven van Rotterdam richting Duitsland. De kans is echter ook aanwezig dat vanuit North Sea Port een aansluiting hierop interessant kan worden om het transport vanuit Zeeland mogelijk te maken via de Delta Corridor. Maar zelfs een aansluiting vanuit Antwerpen kan niet onbesproken blijven hierin. Deze keuze moet op de korte termijn gemaakt worden, omdat wij vermoeden dat de aanleg en de planning (inclusief de inspraak) vele jaren in beslag zal nemen. Dit leidt natuurlijk wel tot vervolgvragen en aandachtspunten waar wij op dit moment geen uitspraken over kunnen doen, zoals: welke tracés zijn de meest logische? Hoe kunnen buisleidingen veilig worden aangelegd en volgens welke specificaties? Welke diameter, druk en debiet moeten deze leidingen hebben? Op welke afnemers moet(en) deze buisleiding(en) aangesloten worden? Hoe kun je nu keuzes maken die duidelijkheid geven, maar geen lock-in-effect als gevolg hebben, waardoor toekomstige ontwikkelingen in gedrang komen? Et cetera. Er zijn kortom nog genoeg vragen te beantwoorden en keuzes te maken.

Een buisleiding voor LOHC is niet direct een logische optie. Ten eerste omdat elke heenleiding ook om een retourleiding vraagt. Daarnaast zijn er meerdere LOHC's die gebruikt kunnen worden binnen de energietransitie en is het niet een gegeven dat er één voorkeursalternatief is. Ook zijn er LOHC-varianten die beperkt viscoos zijn en daarmee minder vloeibaar, waardoor de aansluiting op een buisleiding minder de voorkeur heeft. Hiervoor verwachten wij dan ook een voorkeur vooral voor vervoer over water en deels ook over het spoor.

---

<sup>38</sup> Daarnaast kan de aanleg van de Delta Corridor ook essentieel blijken. Uit de Hy3-studie blijkt namelijk dat bij Rotterdam knelpunten kunnen ontstaan wanneer de Delta Corridor niet wordt gerealiseerd.

## 5.3 Reflectie op de bevindingen

Het is bij deze uitkomsten van belang om nog een kritische reflectie te geven op de mogelijke ontwikkeling van waterstofrijke energiedragers binnen Nederland.

### Langetermijnontwikkelingen

Op de korte termijn kijken diverse partijen naar de mogelijkheid om de huidige (fossiele) productie van ammoniak direct te vervangen door de import van ammoniak, mede als gevolg van de huidige hoge gasprijzen. Voordeel hierbij is dat de technologie om ammoniak te transporteren bekend en bewezen is (*'off the shelf technology'* zoals een respondent dat noemde) en dat er bijvoorbeeld al vervoersmiddelen beschikbaar zijn. Kortom, in de nabije toekomst lijkt ammoniak qua grootschaligheid een logische optie, maar op de (middel)lange termijn kunnen verschillende waterstofrijke energiedragers een rol gaan spelen.

In deze studie wordt een beeld geschetst waarin ammoniak een zeer grote rol gaat spelen, mede vanwege de eerder vermelde redenen. Hoe de ingroei hiervan (en die van de andere dragers) gaat verlopen is zeer moeilijk te voorspellen. Wij verwachten geen omslag van de ene op de andere dag, maar kunnen ook niet aangeven hoe het precies verlopen zal. De bandbreedte van de varianten geeft wat ons betreft al aan hoe groot de onzekerheden op de lange termijn zijn.

Zo is het ook mogelijk dat tussen 2030 en 2035 er meer mogelijkheden zijn voor vloeibare (cryogene) of gasvormige waterstof. Vloeibare waterstof heeft in dit stuk minder nadruk gekregen, omdat deze technologie, anders dan ammoniak, nog verder ontwikkeld moet worden en daarom niet voor 2035 grootschalig kan worden ingezet. Het is echter goed mogelijk dat deze technologieën na 2035 voldragen en *ready to use* zijn en dat dan de benodigde ammoniakstromen, zoals geschetst in variant 3, kunnen afnemen. Dit heeft dan weer gevolgen voor de noodzaak van de eerder genoemde buisleidingen voor het transport van ammoniak. Wanneer deze buisleidingen tegen die tijd echter aangelegd zijn tegen grote investeringen, bestaat ook het risico dat er een lock-in-effect optreedt, omdat de investeringen ook moeten renderen. Dit kan een beperking zijn van de gewenste innovaties en zal daarom een punt van aandacht moeten zijn op de langere termijn.

### Stimuleren van innovatie

Ook al verwachten wij dat er meerdere stoffen en verschijningsvormen naast elkaar kunnen en zullen bestaan, is het belangrijk om een lock-in (zoals eerder is omschreven) met één drager te voorkomen. Het is daarom van belang om ook innovaties op het gebied van andere dragers te stimuleren. Een drager die op termijn een rol kan spelen is vloeibare waterstof. Op dit moment is deze technologie volop in ontwikkeling en het is de vraag welke rol vloeibare waterstof in de periode 2030 tot en met 2035 al kan spelen, maar het is van groot belang om de mogelijkheden in ieder geval snel te verkennen. Mogelijk dat door stimulering van deze en andere innovaties de keuzemogelijkheden op de middellange termijn groter worden en daarbij mogelijk ook de impact van de energietransitie op de externe veiligheid.

Overigens zijn er naast deze ontwikkelingen natuurlijk ook andere innovaties denkbaar, waar wij in dit stuk verder niet op in zijn gegaan. Denk hierbij aan inherent veiligere transportmiddelen in het algemeen, innovatieve decentrale productie voor waterstof, het bij elkaar brengen van waterstofproductie en het gebruik en het stimuleren van *safe by design*-principes.

## Publiek-private samenwerkingen

In dit onderzoek wordt regelmatig aangehaald dat de backbone en de Delta Corridor voor buisleidingen aangelegd moeten worden of nodig zijn. De Rijksoverheid heeft voor de Delta Corridor aangegeven de coördinatie op zich te nemen, omdat het een project van nationaal belang is. Desalniettemin blijven deze projecten gebaseerd op een mate van publiek-private samenwerking die uitdagingen met zich mee kan brengen over financiering, planning en verantwoordelijkheidsverdeling. Dit zijn zaken om rekening mee te houden, omdat dit de snelheid van de realisatie van keuzes mede bepaalt.

Alle marktpartijen die wij gesproken hebben, zijn bereid om mee te denken en te werken aan het veilig laten verlopen van de energietransitie, maar het is op dit moment nog te prematuur om hier definitieve uitspraken over te doen, ook omdat de ontwikkelingen nog volstrekt onduidelijk zijn. Onze verwachting is wel, gezien de marktkansen die er zijn, dat de marktpartijen er veel aan gelegen is zoveel mogelijk na te denken over hoe deze hoeveelheden te faciliteren.

## Publiek-publieke samenwerking bij buisleidingen

Buisleidingen zijn niet alleen een publiek-privaat vraagstuk, maar vragen ook afstemming tussen overheidslagen. Zo zal de nationale overheid met decentrale overheden moeten bepalen wat het tracé wordt van een buisleidingcorridor. In deze gesprekken zullen ook afwegingen plaatsvinden tussen de belangen van decentrale overheden en het belang van de aanleg van een buisleiding. Dit kan in de praktijk tot grote obstakels leiden, wanneer het lokale belang niet in lijn is met het nationale belang.

Een specifieke uitdaging zit ook in de uitwerking en samenwerking met Duitsland en België. De Delta Corridor houdt niet op bij de grens met Duitsland, maar zal daar een vervolg moeten krijgen. In het verleden is dat rond de Betuweroute niet goed verlopen en daarom willen wij onder de aandacht brengen dat er nu al met Duitsland moet worden samengewerkt om de overgang van Nederland naar Duitsland goed te laten slagen. Mogelijkerwijs is dat ook het geval met België als blijkt dat een buisleidingverbinding van en naar België ook een goede optie blijkt te zijn.

## Veiligheid

Vanzelfsprekend kunnen buisleidingen kapot gaan door slijtage, bij onderhoud en werkzaamheden, of sabotage. Een groot voordeel van buisleidingen is dat zij meer zekerheid bieden ten aanzien van veiligheidsaspecten, omdat de buisleidingen geen fluctuaties kennen in te verwachten vervoersstromen, zoals wel geldt voor vervoer over spoor en water. Anders dan de andere modaliteiten nemen ze ook niet actief aan het verkeer deel, waardoor botsingen of ontsporingen niet kunnen gebeuren. Het nieuw plannen van een buisleiding zal voor de bebouwde omgeving, mits met inachtneming van de normen voor buisleidingen en goede risicoanalyses, veel duidelijkheid bieden voor de bebouwde omgeving en ook veilig uitgevoerd kunnen worden. Wij gaan er daarom van uit dat het een medium is dat intrinsiek veilig uitgevoerd kan worden en daarmee een grote bijdrage levert aan een veilige energietransitie.

## Perceptie

Momenteel heeft het vervoer van gevaarlijke stoffen over het spoor te kampen met een negatieve perceptie die er niet beter op zal worden als meer stoffen vervoerd zullen worden in de enorme hoeveelheden die in deze studie aangehaald worden. Dit kan op grote weerstand stuiten van omwonenden en is iets om veel rekening mee te houden. Hetzelfde geldt ook voor het plannen van een buisleiding. In het verleden is bijvoorbeeld in de gemeente Helmond gebleken dat de aanleg van buisleidingen tot grote weerstand kan leiden.

### Aspecten die niet aan bod zijn gekomen in dit onderzoek

In de voorliggende studie zoomen we in op de impact van de ontwikkelingen rond stromen van waterstofrijke energiedragers op de veiligheid rond transportmodaliteiten spoor, weg, water en buisleidingen, op basis van de verwachtingen op de middellange termijn (2030/2035) en de lange termijn (tot 2050). Wij richten ons primair op de veiligheid in de publieke ruimte van de verschillende waterstofrijke energiedragers en de stromen die op basis van verschillende scenariostudies door Nederland gaan lopen als we invulling geven aan de wensen in ons eigen land en die van de ons omringende landen.

Onze studie beschrijft dus slechts een klein deel van waar de introductie van de energietransitie voor geplaatst staat. Het speelveld van de energietransitie is echter zeer breed en kent vele maatschappelijke aspecten die alle op zichzelf al een volwaardige studie verantwoorden. De aspecten die wij zeker onderkennen maar die geen onderdeel van onze studie zijn geweest, zijn de volgende:

- Stikstofemissie van alle plannen die noodzakelijk zijn om ontwikkelingen mogelijk te maken.
- Hoe de financiering van plannen gedragen en bekostigd moet worden.
- Het ruimtebeslag van de genoemde initiatieven.
- Maatschappelijke acceptatie van waterstofdragers zoals ammoniak.
- Hoe lokale en centrale doelstellingen rond CES- en RES-vraagstukken afgestemd moeten worden.

Daarnaast zijn wij er ook van uitgegaan dat de beperking van de uitstoot van CO<sub>2</sub> een gegeven is vanuit de wens om een duurzamer samenleving te creëren en om aan internationale afspraken hierover te voldoen. Uiteraard zijn dergelijke aspecten niet limitatief, maar er zijn ongetwijfeld nog andere aanpalende vragen te bedenken.

## 5.4 Beleidsopties en te maken keuzes

De energietransitie brengt een grote verandering teweeg van stromen van energiedragers binnen Nederland. Waar fossiele brandstoffen hiervoor de bron waren voor veel toepassingen, wordt nu gezocht naar alternatieven en deze alternatieven hebben voor- en nadelen. De komst van stromen waterstofrijke energiedragers zorgt ervoor dat de energietransitie op gespannen voet komt te staan met de huidige regelgeving omtrent veiligheid (het Basisnet). Dit maakt het heroverwegen van beleid en (politieke) keuzes noodzakelijk, zodanig dat zowel het maatschappelijke belang van de energietransitie als het maatschappelijke belang van de (omgevings)veiligheid de juiste aandacht en plek krijgen in beleid, wet- en regelgeving en uiteindelijk in risicobeperkende maatregelen. Ervan uitgaande dat de energietransitie zich gaat voltrekken (immers, de uitstoot van CO<sub>2</sub> zal teruggebracht moeten worden), moet bepaald worden welke risico's wij als land bereid zijn te accepteren en onder welke voorwaarden wij deze risico's acceptabel vinden. Hierover moeten keuzes gemaakt worden, zodat het transport van deze stromen van waterstofrijke energiedragers intrinsiek veilig gemaakt kan worden.

Om deze keuzes te begeleiden en te vergemakkelijken hebben wij enkele van deze keuzes onder elkaar gezet met daarbij potentiële invullingsmogelijkheden. Deze keuzes volgen niet per definitie een lineaire of chronologische volgorde, maar het zijn keuzes die in de toekomst gemaakt zullen moeten worden. Dit zijn nadrukkelijk geen opties die wij zullen beantwoorden, omdat deze in de politieke arena beantwoord moeten worden. Wij denken wel dat het voorgaande stuk handvatten biedt voor hulp bij de beantwoording.

### **Keuze 1. Bepaal als Rijksoverheid welke visie je hebt ten aanzien van veiligheid en de energietransitie en neem de regie op het realiseren daarvan.**

Om de doelstellingen voor het reduceren van broeikasgassen te halen, is het van groot belang om snel stappen te zetten. De Rijksoverheid heeft daarom ambitieuze doelstellingen geformuleerd en zet in de breedte in op deze verduurzaming via onder andere routekaarten, het Nationaal Waterstof Programma en het Nationaal Programma Energiesysteem (NPE), maar een visie op de verschillende dragers en de veiligheidsaspecten ontbreekt nog. Met het ambiëren van een hoog tempo, is het mogelijk dat andere factoren minder nauwgezet meegenomen kunnen worden. Bepaal daarom als Rijksoverheid wat de visie op de lange termijn is rond de energietransitie en veiligheid. Welke stip zet je op de horizon voor beide thema's en welke stappen en overwegingen horen daar op de korte en lange termijn bij?

Het betreft hier visievorming die inherent bij de systeemkeuzen van de energietransitie hoort. Hiermee voorkom je dat als er *geen* keuze gemaakt wordt, de energietransitie en de stromen van waterstofrijke energiedragers je 'overkomen'. In dat geval ben je overgeleverd aan de marktontwikkelingen en kan er geen sturing plaatsvinden op essentiële criteria als veiligheid, ruimtelijke ontwikkeling en afstemming met publieke en private partners.

Vragen die daarbij een rol kunnen gaan spelen zijn de volgende: welke rol wil je als Nederland innemen binnen de energietransitie voor het doorvoeren van waterstofdragers, zowel nationaal als binnen Europa? In hoeverre moet Nederland de doorvoerhub van (Noord-West) Europa worden? Hoe kun je de regie het beste nemen over deze opgave en met zoveel betrokken partijen?

### **Keuze 2. Maak een keuze over de wenselijkheid van ammoniaktransport over land en water.**

Deze keuze is niet nieuw en staat ook in ons vorige rapport (de Ketenstudie<sup>39</sup>). Hierin gaven wij aan: *'Mocht ammoniak in de energietransitie een grote vlucht nemen, dan zal de Rijksoverheid een uitspraak moeten doen over de wenselijkheid van ammoniak en hier, indien nodig, nieuw beleid rond formuleren'*. Wij zien veel transport van ammoniak in variant 2, maar zeker in variant 3. Een keuze over de wenselijkheid moet daarom snel gemaakt worden, omdat veel van de principiële keuzes die gemaakt moeten worden hier volledig mee samenhangen. Kortom: bepaal welke rol ammoniak gaat innemen in de visie, maar geef ook aan hoe de veiligheid van het transport geborgd zal gaan worden.

### **Keuze 3. Bepaal hoe je (waterstofrijke) energiedragers wilt faciliteren.**

In de basis kan gekozen worden tussen de modaliteiten spoor, water, weg en buisleidingen voor het faciliteren van het vervoer van waterstofrijke energiedragers. Alle modaliteiten hebben hun voor- en nadelen, waaronder de geschiktheid om bepaalde typen energiedragers te kunnen/mogen vervoeren. Voor de korte termijn lijkt transport over water het meest kansrijk, maar voor de (middel)lange termijn moeten nog keuzes worden gemaakt.

Er wordt al gewerkt aan de ontwikkeling van de waterstofbackbone (HNS), die mogelijkheden biedt om waterstof te transporteren, maar bij grootschalige import van ammoniak is wel een grote hoeveelheid ammoniakkrakers nodig. Recent is een verkenning naar een ammoniakkraker in Rotterdam aangekondigd.<sup>40</sup>

<sup>39</sup> Zie het rapport van de Ketenstudie [hier](#).

<sup>40</sup> Zie hier: <https://www.portofrotterdam.com/nl/nieuws-en-persberichten/grootschalige-ammoniakkraker-moet-1-miljoen-ton-waterstofimport-mogelijk>.

Aan de andere kant is het ook mogelijk om ammoniak via buisleidingen te transporteren, waarbij de Delta Corridor een logische oplossing lijkt om op de (middel)lange termijn ammoniak in te passen. Er is dus nog veel onzekerheid op de (middel)lange termijn en het is van belang snel keuzes te maken over de typen (waterstofrijke) energiedragers die we als Nederland willen faciliteren.

Vragen die bij deze keuze een rol kunnen gaan spelen zijn de volgende: welke (combinatie van) modaliteiten past het beste binnen de visie die je hebt als land voor het doorvoeren van waterstofrijke energiedragers? Kies je voor meer kraken (en daarmee transport door een buisleidingennetwerk) of voor meer transport van ammoniak? (en daarmee voor specifieke ammoniakbuisleidingen, zie keuze 4). Zijn er mogelijkheden om import en afname elders dichterbij elkaar te brengen?

#### **Keuze 4. Bepaal of je alleen streeft naar een waterstofbuisleidingennetwerk of ook naar een ammoniakbuisleiding in de Delta Corridor.**

Wanneer er alleen ingezet wordt op de waterstofbackbone dan is het van groot belang om nu al te starten met het plannen van ammoniakkrakers. Er zijn dan immers tientallen ammoniakkrakers nodig om de geïmporteerde ammoniak om te zetten naar waterstof dat in de backbone geïnjecteerd kan worden. Maar als er ook ingezet wordt op een ammoniakbuisleiding in de Delta Corridor, dan zal ook bepaald moeten worden wat de specificaties zijn van een buisleiding voor ammoniak en welke partijen daarop aangesloten moeten worden.

Hieruit volgt ook een onvermijdelijke afstemming met nationale (of decentrale) medeoverheden, private partijen en zeker ook buurlanden en marktpartijen over de grens. Dat is een proces dat jaren kan duren, dus is het belangrijk dat deze keuze spoedig wordt gemaakt. Niet in de laatste plaats omdat vertraging van de aanleg zal leiden tot transportbewegingen over het land of het water.

Vragen die wat ons betreft met deze keuze samenhangen zijn: welke aanbieders moeten ontsloten worden (denk aan de Rotterdamse haven, North Sea Port, maar ook de haven van Antwerpen)? Wie zijn de afnemers van de ammoniak? Welke specificaties (omvang, druk, et cetera) zal de buisleiding moeten hebben? Hoe kan de tracékeuze zo veilig mogelijk worden gemaakt?

#### **Keuze 5. Keuze tussen duidelijkheid en flexibiliteit**

In deze transitie blijft het een balans tussen duidelijkheid willen geven en ook ruimte houden voor nieuwe technologieën en opties. In het bedrijfsleven is duidelijkheid nodig omdat het grote meerjarige investeringen moet doen. Het hoge tempo van de energietransitie maakt dat er snel keuzes op ons afkomen. In deze keuzes is er een constante balans tussen het geven van duidelijkheid en het zetten van stappen en aan de andere kant ook het beschikbaar houden van ruimte voor nieuwe technologieën en mogelijke aanpassingen in de route richting een klimaatneutrale energievoorziening.

Dat betekent deels ook dat een keuze voor duidelijkheid nu (bijvoorbeeld ‘we gaan de Delta Corridor aanleggen met een ammoniakbuisleiding’) tot een lock-in-effect kan leiden. De Delta Corridor is immers een duidelijke, veilige keuze, die veel investeringen vergt, maar die ook kan verhinderen dat over twaalf tot vijftien jaar voor LH2 wordt gekozen als dominante stof in de havens. Het is tegelijkertijd natuurlijk ook niet uit te sluiten dat op de langere termijn, juist *omdat* er een ammoniakbuisleiding aangelegd zou zijn, vervoer via de binnenvaart verminderd kan worden, omdat dit via die buisleiding kan.

Doordat het nog te vroeg is om te zeggen hoe dit alles over twaalf tot vijftien jaar uit zal pakken, is het des te belangrijker om te kijken welke mix van maatregelen op termijn nodig is, zodat dit zowel duidelijkheid nu, als flexibiliteit voor in de toekomst biedt.



## 5.5 Slotoverweging

Dit onderzoek beoogt bij te dragen aan structurele keuzes die gemaakt moeten worden met betrekking tot externe veiligheidseffecten, in relatie tot de transitie naar het gebruik van nieuwe waterstofrijke energiedragers. De grote volumes en stromen die kunnen ontstaan, zullen veel uitdagingen met zich meebrengen. Vroegtijdige aandacht hiervoor is van groot belang om pro-actief duidelijke kaders te ontwikkelen die zowel een voorspoedige ontwikkeling van de inzet van die nieuwe waterstofrijke energiedragers mogelijk maakt als de veiligheid voor de omgeving bij de mogelijke volumes en stromen waarborgt. Pro-actief handelen nu kan voorkomen dat er later alsnog maatregelen moeten worden genomen met mogelijk relatief hoge kosten om de veiligheid te borgen.

# Bijlage 1. Eenheden

In de praktijk worden verschillende eenheden gebruikt die in dit rapport af en toe ook genoemd worden, In het volgende overzicht hebben wij deze opgenomen:

| Hoeveelheid | Eenheid           |                       | Hoeveelheid | Eenheid                                   |
|-------------|-------------------|-----------------------|-------------|-------------------------------------------|
| 1           | kt (kiloton)      | =                     | 1.000.000   | kg                                        |
| 1           | TWh               | =                     | 3,6         | PJ                                        |
| 5,63        | kt NH3            | bevat                 | 1           | kt H2 (zuiver)                            |
| 6,62        | kt NH3            | levert na omzetting   | 1           | kt H2 (op basis van 15% conversieverlies) |
| 18,05       | kt LOHC (DBT)     | bevat                 | 1           | kt H2                                     |
| 1           | GW elektrolyse    | levert                | 74          | kt H2/jaar                                |
| 1           | kt H2             | =                     | 0,120       | PJ                                        |
| 1           | kt H2             | =                     | 0,033       | MWh                                       |
| 1           | kt NH3            | =                     | 0,0186      | PJ                                        |
| 1           | kt NH3            | =                     | 0,0213      | PJ H2 (zuiver)                            |
| 1           | kt NH3            | levert na omzetting   | 0,0181      | PJ H2 (met 15% verlies)                   |
| 1           | kt H2             | vervangt ongeveer     | 3.000.000   | m3 aardgas                                |
| 1           | kg H2             | =                     | 11,126      | Nm3 H2                                    |
| 1           | kg H2             | productie heeft       | 57,8        | kWh elektriciteit nodig                   |
| 1           | ketelwagen        | heeft capaciteit voor | 55          | ton Ammoniak                              |
| 1           | binnenvaarttanker | heeft capaciteit voor | 1850        | ton Ammoniak                              |
| 1           | zeeschip          | heeft capaciteit voor | 50          | kt Ammoniak                               |

# Bijlage 2. Lijst van betrokken actoren

In dit overzicht geven wij in willekeurige volgorde aan welke partijen betrokken zijn geweest in verschillende overleggen en onderzoeksmethoden binnen dit onderzoek. Buiten deze vertegenwoordigers waren alle drie partijen van ons team betrokken (Arcadis, TNO en Berenschot).

**Projectteamoverleg:** vertegenwoordigers van de ministeries IenW (drie personen) en EZK (drie personen)

**Klankbordgroep:** vertegenwoordigers van de ministeries IenW en EZK. Daarnaast waren het Havenbedrijf Rotterdam, Koninklijke Binnenvaart Nederland, Commissie Transport Gevaarlijke Goederen, VNCI, Deutsche Bahn, KIWA, Railgood, VELIN en Gasunie betrokken. Niet iedereen was elk overleg ook daadwerkelijk aanwezig, maar kon als agendalid input leveren.

Er zijn **interviews** geweest met vertegenwoordigers van:

- Het Ministerie van IenW (afdelingen Buisleidingen, Energietransitie en Ondergrond, NOVI en Basisnet)
- Havenbedrijven Rotterdam, Amsterdam, North Sea Port en Groningen Sea Ports
- Gasunie
- Commissie Transport Gevaarlijke Goederen
- Velin
- DB Cargo
- ProRail
- Koninklijke Binnenvaart Nederland
- VOTOB
- Vopak
- Shell
- Chemelot
- Yara
- Air Products
- Air Liquide
- OCI
- Belgische Import Coalitie.

In de groepssessie zijn vertegenwoordigers aanwezig geweest van de volgende partijen: Ministerie van IenW, Ministerie van EZK, Rijkswaterstaat, Havenbedrijf Rotterdam, Commissie Transport Gevaarlijke Goederen, Gasunie, Velin, VNCI, Air Liquide, Air Products, DCMR, Omgevingsdienst Noordzeekanaalgebied, North Sea Port, OCI, Havenbedrijf Amsterdam, ProRail, VOTOB, Yara, VNO-NCW, Vereniging voor Milieuprofessionals.

Tot slot is het RIVM betrokken geweest als extern toetser van het conceptrapport.

# Bijlage 3. Technische uitleg van de drie varianten

## Inleiding

In hoofdstuk 2 schetsen we de hoofdlijnen van de drie varianten die worden gehanteerd binnen dit onderzoek. In deze bijlage verstrekken we een meer gedetailleerde beschrijving van de onderbouwing van de uitgangspunten binnen de verschillende varianten. Hierbij geven we eerst een korte toelichting op de voorstellen vanuit de Europese Commissie die een rol spelen binnen alle varianten. Vervolgens geven we per variant een toelichting op:

- de binnenlandse behoefte aan RFNBO's voor vervoer en industrie
- de overige vraag naar waterstof in Nederland
- de buitenlandse behoefte aan RFNBO's in Duitsland en België
- de productie van groene waterstof in Nederland
- de import van RFNBO's voor Nederland
- de import en doorvoer van RFNBO's naar het achterland.

Dit is ook de structuur die wordt aangehouden per paragraaf.

## Voorstellen van de Europese Commissie

Voorstellen van de Europese Commissie (EC) hebben grote impact op de vraag naar duurzame waterstofrijke energiedragers. In het oorspronkelijke voorstel voor herziening van de RED door de Europese Commissie (EC) is een bepaling voor de industrie opgenomen die lidstaten opdraagt ervoor te zorgen dat *'the contribution of renewable fuels of non-biological origin (RFNBO) used for final energy and non-energy purposes shall be 50% of the hydrogen used for final energy and non-energy purposes in industry by 2030'* (Europese Commissie, 2021a). Deze RFNBO zijn *'liquid and gaseous fuels the energy content of which is derived from renewable sources other than biomass'*. Dit omvat *electricity-based renewable hydrogen*, dat wil zeggen waterstof die wordt geproduceerd door de elektrolyse van water waarbij de elektriciteit afkomstig is van hernieuwbare bronnen, zoals wind en zon. In het vervolg van dit rapport wordt deze vorm van waterstof aangeduid als groene waterstof. RFNBO is echter breder en omvat ook synthetische brandstoffen die zijn geproduceerd op basis van groene waterstof en koolstofdioxide (CO<sub>2</sub>), en ammoniak geproduceerd met groene waterstof. Synthetische brandstoffen worden ook wel aangeduid met de term e-fuels. Meestal wordt hierbij gedacht aan e-kerosine en e-diesel, maar e-methanol en synthetisch methaan vallen hier ook onder.

Naast een RFNBO-verplichting voor de industrie bevat het voorstel voor herziening van de RED ook een RFNBO-verplichting voor de vervoerssector. In dit geval is het voorstel dat lidstaten ervoor dienen te zorgen dat *'... in the energy supplied to the transport sector ... the share of renewable fuels of non-biological origin is at least 2,6 % in 2030'*.

Naar aanleiding van het voorstel van de EC heeft het comité van permanente vertegenwoordigers van de lidstaten in een advies aan de Europese Raad voorgesteld om het industriedoel terug te brengen naar 35% voor 2030, en het doel van 50% te verschuiven naar 2035 (Europese Raad, 2022). Ondertussen had de EC in reactie op de inval van Rusland in Oekraïne het REPowerEU-plan gepubliceerd met als doel om de afhankelijkheid van Russische olie en Russisch gas drastisch te kunnen beperken (Europese Commissie, 2022). In dat plan wordt voorgesteld om het RFNBO-doel voor de industrie op te hogen naar 75% in 2030 en het RFNBO-doel voor de vervoerssector te verdubbelen naar 5,2%. Het Europees Parlement (EP) heeft tot slot ook voorstellen gedaan voor wijzigingen van het oorspronkelijke voorstel van de EC (Europees Parlement, 2022). In zijn voorstel handhaaft het EP het 50%-doel voor de industrie in 2030, maar stelt tevens een extra doel voor van 70% in 2035. Voor de vervoerssector stelt het EP voor om het 2,6%-doel naar voren te halen naar 2028 en het doel voor 2030 te verhogen naar 5,7%.

## Uitleg variant 1. Minimale variant RED3

### Binnenlandse behoefte aan RFNBO in variant 1

Deze variant gaat uit van de minimumvereisten die in wijzigingsvoorstellen voor de RED3 worden genoemd. Het betreft RFNBO-doelen voor de industrie en de vervoerssector in 2030 van respectievelijk 35% en 2,6%.

#### Industrie

De grondslag voor toepassing van het industriepercentage is 98 Petajoule (PJ), zoals gehanteerd door CE Delft en TNO in een studie voor de VNCI (CE Delft, 2022). Het RFNBO-doel voor de industrie in 2030 komt daarmee op 34 PJ. Omgerekend naar waterstof is dit 286 kiloton (kt) waterstofequivalenten ( $H_{2,eq}$ ). Verder is voor deze minimale variant verondersteld dat er in de periode tot en met 2035 geen extra gebruik van waterstof in de industrie bijkomt die bijdraagt aan de grondslag voor het industriedoel van de RED3. De verwachting is dat de huidige waterstoffabrieken op basis van aardgas zodanig flexibel zijn dat ze bij vervanging van bestaande productie door een variabel aanbod van groene waterstof kunnen worden afgeregeld. Zelfs bij uitbreiding van de fabrieken met installaties voor afvang van  $CO_2$  leidt dit niet tot een waterstofstroom die elders een toepassing moet vinden, in de industrie of in een andere sector.

#### Vervoerssector

De grondslag voor toepassing van het percentage voor de vervoerssector is 1.094 PJ (CBS, 2022). Dit is de brandstofafzet in Nederland in 2019, inclusief bunkerbrandstoffen. Het RFNBO-doel voor de vervoerssector komt daarmee op 28 PJ (2,6%), conform eerdere studies (TNO, 2022a; CE Delft, 2022; TNO, 2022b). In laatstgenoemde studie is een uitsplitsing gemaakt naar mogelijkheden voor invulling van de opgave. Deze uitsplitsing, die is beschreven in de volgende Tabel B1, is ook in deze variant gehanteerd:

Tabel B1. Invulling van de RFNBO-opgave voor de vervoerssector in variant 1.

| Inzet waterstof              | Kwantificatie                                                                                                                                                                                                                                             | Opmerkingen                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Raffinage                    | Inzet groene waterstof in Nederlandse raffinaderijen o.b.v. specifiek gebruik van fossiele waterstof geproduceerd via SMR (captive en merchant) en finaal verbruik van conventionele brandstoffen in NL. (17,4 PJ; 145 kt H <sub>2</sub> )                | Gedeeltelijke vervanging van waterstofproductie via SMR voor raffinage. Productie en/of import en gebruik van groene waterstof in industrieclusters aan de kust, m.n. haven van Rotterdam en Vlissingen.                                                                                                       |
| Biobrandstoffen              | Inzet van groene waterstof gerelateerd aan maximale inzet van HVO-biobrandstoffen (o.b.v. REDIII, Annex IX, lijst B grondstoffen) in de NL markt. (2,4 PJ; 20 kt H <sub>2</sub> )                                                                         | Beperkte bijdrage. Maximaal aandeel HVO-biobrandstoffen is slechts 1,7% van de hoeveelheid energie geleverd aan de vervoerssector. Productie en/of import en gebruik van groene waterstof in industrieclusters aan de kust, m.n. haven van Rotterdam.                                                          |
| Synthetic aviation fuels     | Verplichting voor inzet van 0,7% synthetische kerosine in 2030 uit de ReFuelEU Aviation regulation. (1,4 PJ; 14 kt H <sub>2</sub> voor 1,2 PJ brandstof)                                                                                                  | Productie synthetische kerosine o.b.v. CO <sub>2</sub> en groene waterstof. Productie en/of import en gebruik van groene waterstof in een industriecluster aan de kust. Import e-kerosine is op termijn ook een alternatief.                                                                                   |
| E-methanol                   | Indicatie voor maximale bijmenging groene waterstof in bestaande methanolproductie voor productie van groene methanol. Bijmenging mogelijk tot circa 10% van de huidige methanolproductiecapaciteit (1,6 PJ; 15 kt H <sub>2</sub> voor 1,6 PJ e-methanol) | BioMCN in Delfzijl is de enige methanolfabriek in Nederland. De e-methanol kan worden bijgemengd bij benzine (tot 3 vol%). Productie en/of gebruik van groene waterstof in een industriecluster aan de kust, in dit geval Delfzijl. Import van e-methanol op termijn ook mogelijk.                             |
| Directe inzet H <sub>2</sub> | Balanspost om te voldoen aan totale RFNBO-verplichting; 5,6 PJ; 47 kt H <sub>2</sub> . Dit verbruik vergt ter indicatie een vloot van:<br><br>30.000 auto's<br><br>5.000 bussen en trucks<br><br>25 binnenvaartschepen                                    | Waterstof voor vnl. wegverkeer en mogelijk regionale treinen, schepen en boten. Levering via aparte en bestaande tankstations verspreid door het land. Bevoorrading via trucks (als gas op druk of vloeibare waterstof) of (aftakkingen van) de waterstofbackbone, of door kleinschalige productie ter plekke. |

## Overige vraag naar waterstof in Nederland in variant 1

In deze variant wordt geen extra gebruik van waterstof in de industrie verondersteld voor bijvoorbeeld de productie van ruwijzer in de staalindustrie of de productie van hoge temperatuur proceswarmte in de industrie.<sup>41</sup> Impliciet wordt er hiermee van uitgegaan dat uitvoering van de plannen van Tata Steel langer duren dan nu voorzien. Ook wordt nog geen waterstof gebruikt in andere sectoren dan de industrie en het vervoer zoals voor de productie van CO<sub>2</sub>-vrije elektriciteit in gascentrales, of de inzet van waterstof als brandstof voor verwarming van woningen en gebouwen.

## Buitenlandse behoefte aan RFNBO in variant 1

De Fuel Cell and Hydrogen Observatory (FCHO, 2022) presenteert cijfers over waterstofgebruik en -productie in alle EU-landen. De cijfers voor Nederland in deze studie komen zowel in absolute zin als qua verdeling over toepassingen (gebruik) en type productie redelijk overeen met de cijfers die door TNO zijn gebruikt in eerdere analyses (TNO, 2022a; CE Delft, 2022). Om deze reden wordt ervan uitgegaan dat de cijfers voor Duitsland en België uit de FCHO-studie een redelijke basis vormen voor een indicatie van de RFNBO-opgave voor de industrie in die landen. Voor de vervoerssector zijn vergelijkbare cijfers voor die landen te vinden in de Eursotat database (Eurostat, 2022). Tabel B2 geeft de indicaties weer voor de RFNBO-opgaven voor variant 1 in vergelijking met Nederland. Cijfers voor het waterstofgebruik in de industrie in Noordrijn-Westfalen (NRW) zijn ontleend aan een recente Nederlands-Duitse studie over de behoefte aan grensoverschrijdend waterstoftransport (TNO, Jülich en Dena, 2022).

Tabel B2. Indicatie van de RFNBO-opgave voor Duitsland (DE) als geheel, de deelstaat Noordrijn-Westfalen (NRW) en België (BE) in vergelijking met Nederland (NL) in variant 1.

|                                         | NL<br>[PJ] | DE/wv. NRW<br>[PJ] | BE<br>[PJ] |
|-----------------------------------------|------------|--------------------|------------|
| Grondslag RFNBO-opgave industrie        | 98         | 136/47             | 49         |
| Grondslag RFNBO-opgave vervoerssector   | 1094       | 2802/588           | 780        |
| RFNBO-opgave industrie o.b.v. 35%       | 34         | 47/16              | 17         |
| RFNBO-opgave vervoerssector o.b.v. 2,6% | 28         | 73/15              | 20         |
| Totaal RFNBO-opgave                     | 63         | 120/32             | 37         |

<sup>41</sup> Het H-Vision project en een vergelijkbaar project bij Dow beogen methaanrijke restgassen te decarboniseren door er waterstof mee te produceren. De gevormde CO<sub>2</sub> wordt afgevangen en opgeslagen. Deze restgassen komen vrij bij de verwerking van aardolie en aardolieproducten en worden nu ingezet als brandstof. De bedoeling is om de restgassen te vervangen door de waterstof als brandstof. Dit leidt weliswaar tot extra gebruik van waterstof in de industrie, maar naar verwachting kan deze waterstof buiten de grondslag van de RFNBO-opgave voor de industrie worden gehouden. Productie en gebruik van de waterstof vindt plaats binnen industrieclusters en in het geval van Dow zelfs geheel binnen het hek van de fabriek. De gevolgen voor omgevingsveiligheid zullen daarmee beperkt zijn. Hoewel de hoeveelheid waterstof kan oplopen tot 72 PJ (600 kt) is om deze redenen de waterstof van deze projecten verder buiten beschouwing gelaten in deze studie.



## Duitsland/NRW

In een recente Nederlands-Duitse studie is voor Nederland en Noord-Rijn Westfalen (NRW) een gezamenlijke importbehoefte aan waterstof geschat voor de periode 2030 tot en met 2035 die varieert van 22 PJ (183 kt) tot 180 PJ (1,5 Mt) (TNO, Jülich en Dena, 2022). In deze minimumvariant is de ondergrens aangehouden. Omdat de studie geen duidelijke onderverdeling geeft, is uitgegaan van een gelijke verdeling, en dus 11 PJ waterstof voor NRW (92 kt). Dit is ongeveer een derde van de geschatte RFNBO-opgave voor NRW.

## België

De oorspronkelijke waterstofstrategie van de federale overheid in België (Belgische Federale Overheid, 2021) ging tot voor kort uit van een importbehoefte van 3 tot 6 TWh aan waterstof en waterstofdragers in 2030. In een recente update van de strategie (Belgische Federale Overheid, 2022) is dit cijfer aanzienlijk verhoogd naar 20 TWh (72 PJ; 600 kt  $H_{2,eq}$ ). Voor variant 1 is het gemiddelde van de inschatting in de oorspronkelijke strategie genomen, te weten 4,5 TWh  $H_{2,eq}$  (16 PJ; 135 kt  $H_{2,eq}$ ). Gerelateerd aan de schatting van de totale RFNBO-behoefte voor België betekent dit dat 40 à 45% wordt gedekt via import. In het geval van de herziene strategie is de verwachte import ongeveer twee maal zo groot als de RFNBO-opgave in deze minimumvariant.

## Productie van groene waterstof in Nederland in variant 1

In deze variant wordt uitgegaan van een opgesteld vermogen van 4 gigawatt (GW) elektrolyse, gekoppeld aan wind op zee voor de productie van groene waterstof. De projecten voor groene waterstof concentreren zich rond de industrieclusters in de havengebieden.<sup>42</sup> Enerzijds omdat hier veel hernieuwbare elektriciteit aan land komt, en anderzijds omdat er in de clusters ook veel gebruik wordt gemaakt van waterstof.

Bij 4.300 vollasturen en een specifiek elektriciteitsverbruik van 57,8 kilowattuur (kWh) per kilogram (kg) waterstof levert dit een productie op van 36 PJ waterstof (298 kt waterstof).<sup>43</sup> Bij een hoger aantal vollasturen en lager elektriciteitsverbruik zal de binnenlandse productie hoger uitvallen, maar het verschil van 27 PJ met de RFNBO-opgave van 63 PJ kan met dit opgesteld vermogen niet worden overbrugd.

<sup>42</sup> De eerste groene waterstofprojecten lijken vooral gerealiseerd te gaan worden in Rotterdam en Zeeland. De grootste initiatieven richten zich voor 2030 tot en met 2035 echter op het noorden van het land rond de Eemshaven. Shell en partners denken aan een hoeveelheid van 4 GW in het NorthH2-project. ENGIE wil starten met 100 MW in het NyNetherlands-project met doorgroei naar 850 MW richting 2030. Verder wil RWE starten met 50 MW in het Eemshydrogen-project om daarna door te groeien naar 600 MW, die gekoppeld moet worden aan de onlangs gewonnen offshore wind-tender voor kavel VII van het gebied Hollandse Kust West. Bij realisatie van deze plannen (zie ook variant 2 en 3) zal het leeuwendeel van de groene waterstofproductie in Nederland plaatsvinden rond de Eemshaven. Omdat de vraag naar waterstof in het noorden relatief beperkt is, zal een groot deel via het Nederlandse waterstofnetwerk zijn weg naar de eindgebruikers moeten vinden.

<sup>43</sup> Er zijn vele getallen voor zowel vollasturen als elektriciteitsverbruik (of efficiency) te vinden in de diverse rapporten. De gebruikte cijfers sluiten aan bij de studie van CE Delft en TNO voor de VNCI over de RFNBO-verplichting voor de industrie (CE Delft, 2022). De oorsprong van de vollasturen is de routekaart 'wind op zee 2030' (49 TWh van 11,5 GW wind op zee). Het elektriciteitsverbruik komt overeen met het gebruik zoals gehanteerd in de SDE++ in 2021 en 2022 en is gebaseerd op de resultaten van een marktconsultatie.

Er is import van RFNBO nodig. In dit geval zelfs meer dan de gezamenlijke import, bestemd voor Nederland en NRW, waar er bij deze variant uit is gegaan van de ondergrens uit eerder onderzoek, namelijk: TNO, Jülich en Dena, 2022.<sup>44</sup>

### Import van RFNBO voor Nederland in variant 1

Wereldwijd zijn er vele initiatieven voor de productie van hernieuwbare waterstof via elektrolyse (IEA, 2022). Het overgrote deel van de initiatieven beoogt export van die waterstof in de vorm van ammoniak (Hydrogen Council en McKinsey and Company, 2022). Dit is op het ogenblik de meest volwassen optie voor transport van waterstof over grote afstanden per schip. Transport van waterstof gekoppeld aan een liquid organic hydrogen carrier (LOHC), en vooral als vloeibare waterstof, vraagt nog om stappen in de ontwikkeling voordat transport hiervan op grote schaal mogelijk is. Verder heeft ammoniak als voordeel dat het ook direct en op grote schaal in de chemische industrie kan worden ingezet voor de productie van kunstmest en kunststoffen, en al wereldwijd verhandeld wordt. Bij deze variant is er daarom van uitgegaan dat import van groene waterstof in significante hoeveelheden voorlopig alleen plaatsvindt in de vorm van ammoniak.

In Nederland is er een grote productiecapaciteit van ammoniak. Om die reden lijkt het niet logisch om waterstof te winnen uit geïmporteerde ammoniak, terwijl er veel waterstof nodig is voor de productie van ammoniak. Het is daarom de verwachting dat in ieder geval een deel van de binnenlandse ammoniakproductie wordt vervangen door geïmporteerde groene ammoniak. Volgens het huidige voorstel voor de RED3, inclusief wijzigingsvoorstellen, lijkt dit ook een efficiënte invulling van de RFNBO-opgave te zijn. Door vervanging daalt het binnenlands gebruik van waterstof voor productie van ammoniak, waardoor de grondslag voor de industrieopgave kleiner is. Tegelijk draagt (gecertificeerde) groene ammoniak wel bij aan de invulling van de opgave. Het mes snijdt dus aan twee kanten. In deze variant is rekening gehouden met dit dubbele effect.

### Import van groene ammoniak voor vervanging van grijze ammoniak

Er is aangenomen dat 900 kt ammoniak wordt vervangen door import van groene ammoniak.<sup>45</sup> Dit is een derde van de jaarlijkse ammoniakproductie op basis van een capaciteit van drie miljoen ton (Mt) per jaar bij een gemiddelde capaciteitsfactor van 90%. Het dubbele effect levert een afname van de RFNBO-opgave voor de industrie van zeven PJ (ruim 50 kt waterstofequivalenten).

<sup>44</sup> In deze studie volgt uit de analyse een import van 27 PJ voor alleen Nederland, terwijl ook 22 PJ is verondersteld voor de gezamenlijke import voor Nederland en NRW op basis van (TNO, Jülich en Dena, 2022), met gelijke verdeling tussen Nederland en NRW. Voor een sluitende redenering zou bij een gelijke verdeling de gezamenlijke import op basis van de analyse voor Nederland niet 22 PJ maar 54 PJ moeten zijn; twee maal 27 PJ. Dit zou ook prima binnen de bandbreedte van de Hy3-studie passen. Omdat het hier een minimumvariant betreft, is de doorvoer naar NRW op 11 PJ gehouden.

<sup>45</sup> De aannames over vervanging van ammoniakproductie door import in deze en de overige varianten in de studie zijn in principe mogelijk maar zijn geen weergave van de verwachtingen van de bedrijven die het betreft. Hoe het pad naar verduurzaming er voor de bedrijven uit ziet, staat nog niet vast. Er zijn verschillende opties en combinaties daarvan mogelijk, zoals: zelf ammoniak produceren met groene waterstof of waterstof geproduceerd met aardgas in combinatie met afvang en opslag van CO<sub>2</sub>, of import van conventionele, koolstofarme of groene ammoniak. Belangrijke factoren voor deze keuze zijn de kosten van waterstof en ammoniak, de beschikbaarheid van benodigde infrastructuur, de risicoruimte rond transport van ammoniak, en de leveringszekerheid van de verschillende opties.

### Import van waterstof via ammoniak

De hoeveelheid groene ammoniak levert 17 PJ RFNBO op. Samen met 36 PJ binnenlandse productie komt dit uit op 53 PJ in totaal. Door het dubbele effect is de totale RFNBO-opgave afgenomen van 63 PJ naar 56 PJ waardoor er nog een klein deel waterstof moet worden aangevuld via import van groene ammoniak. Bij de aanname van 15% verlies aan waterstof bij de conversie, volgt een import van 216 kt ammoniak. Voor het kraken naar waterstof is een fabriek met een capaciteit van 140 MW nodig.

### Import en doorvoer van RFNBO naar het achterland in variant 1

#### Doorvoer naar Duitsland/NRW

Naast import van ammoniak, nodig voor de binnenlandse RFNBO-opgave, is ook import hiervan nodig voor de behoefte aan RFNBO of koolstofarme waterstof in NRW. De vereiste hoeveelheid import van ammoniak die daarmee samenhangt, is afhankelijk van de mogelijkheden voor vervanging van bestaande ammoniakproductie door groene ammoniak in NRW. Voorwaarde hierbij is dat de ammoniak dan ook als ammoniak kan worden getransporteerd naar NRW. Zonder vervanging van bestaande ammoniakproductie door groene ammoniak is import van 611 kt ammoniak nodig bij een behoefte van 11 PJ waterstof (92 kt) en 15% verlies bij conversie.<sup>46</sup> De ammoniak kan worden gekraakt in Nederland of in NRW. In het eerste geval is transport van 92 kt waterstof nodig naar NRW en in het tweede geval is transport van 611 kt ammoniak nodig. Voor het kraken van de hoeveelheid ammoniak is een fabriek nodig met een capaciteit van bijna 400 MW waterstofproductie. Dat is vergelijkbaar met de grootste waterstoffabrieken die er op het ogenblik in Nederland staan.

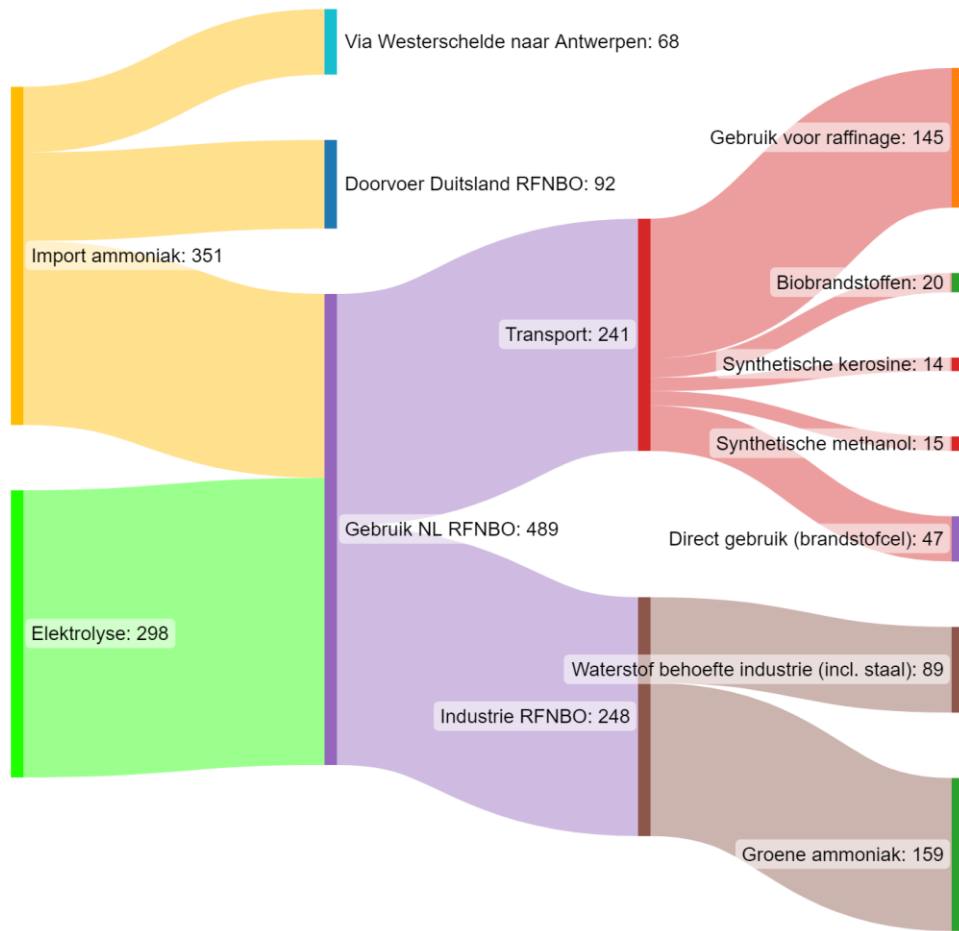
Voor Nederland en Duitsland samen komt de totale import van ammoniak voor vervanging van bestaande ammoniak en de productie van waterstof op ruim 1,7 Mt. Op het ogenblik heeft OCI een importterminal voor ammoniak in de haven van Rotterdam met een capaciteit van circa 0,4 Mt. In deze minimumvariant is dus uitbreiding van de capaciteit aan ammoniakterminals nodig met ongeveer een factor 4.

#### Doorvoer naar België

Net als Nederland heeft België de ambitie om een waterstofhub te worden. De directe import in België van waterstofrijke energiedragers ligt dan meer voor de hand dan import in Nederland met doorvoer naar België. Bij import via de haven van Antwerpen is er wel transport via de Westerschelde nodig, wat samen met de mogelijke import via Nootdorp (NSP; Vlissingen en Terneuzen) een cumulatief effect kan hebben. Dit is relevant voor de externe veiligheid in Nederland. In verband hiermee wordt de import bestemd voor België wel meegenomen qua veiligheid, hoewel het niet wordt meegenomen bij de import bestemd voor Nederland. Als ervan wordt uitgegaan dat de helft van de import voor België via de haven van Antwerpen getransporteerd wordt, heeft dit tot gevolg dat er 383 kt ammoniak via de Westerschelde wordt vervoerd. Dit is een hoeveelheid die vergelijkbaar is met de capaciteit van de huidige ammoniakterminal van OCI in de haven van Rotterdam. Figuur B1 geeft een samenvatting van variant 1, waarin zowel de behoefte aan, als het aanbod van RFNBO is uitgedrukt in kt H<sub>2,eq</sub>.

---

<sup>46</sup> Bij winning van waterstof uit ammoniak treedt 15% verlies op bij zuivering van de productstroom met behulp van PSA (IEA, 2020). Voor de conversie is 9,7 kWh/kg H<sub>2</sub> aan warmte nodig. Dat betekent een efficiency van circa 70%. Naast het gebruik van de waterstof uit de PSA-reststroom is er dus extra brandstof nodig voor de conversie. Als hier ammoniak (of waterstof) voor wordt gebruikt dan neemt de hoeveelheid import die nodig is verder toe.



Figuur B1. Vraag en aanbod van RFNBO voor variant 1 (in kt H<sub>2,eq</sub>).

## Uitleg variant 2. Maximale eisen RED3

### Binnenlandse behoefte aan RFNBO in variant 2

Deze variant gaat uit van de maximum vereisten die in het REPowerEU-plan en de wijzigingsvoorstellen voor de RED3 worden genoemd. Het betreft RFNBO-doelen voor de industrie en de vervoerssector in de periode 2030 tot en met 2035 van respectievelijk 75% en 5,7%.

#### Industrie

Naast de 98 PJ waterstofgebruik in variant 1 is in deze variant ook het waterstofgebruik voor de eerste fase van de plannen van Tata Steel voor staalproductie op basis van het Direct Reduced Iron (DRI)-proces meegenomen (Roland Berger, 2021).

Het RFNBO doel van 75% betekent dat een groot deel van de huidige waterstofproductie vervangen moet worden door groene waterstof. Verondersteld is dat de huidige waterstoffabrieken worden uitgerust met installaties voor afvang van CO<sub>2</sub> en dat de fabrieken, vanwege de investering en de grotere beperking in flexibiliteit door CO<sub>2</sub>-afvang, gewoon in productie blijven. De koolstofarme waterstof kan worden ingezet als brandstof in de industrie voor vervanging van direct gebruik van aardgas. Dit draagt zo bij aan CO<sub>2</sub>-emissiereductie wat gunstig kan zijn om te kunnen voldoen aan CO<sub>2</sub>-reductieverplichtingen of bij hoge CO<sub>2</sub>-prijzen.

Nederlandbreed leidt het wel tot een toename van het waterstofgebruik in de industrie waarvan dan weer 75% RFNBO zou moeten zijn volgens de aannahme in deze variant. Indien Hydrogen Network Services (HNS) beschikbaar is (voorheen de waterstofbackbone genaamd) kan een deel van de waterstof worden benut door bijvoorbeeld Tata Steel. Daarnaast is er nog koolstofarme waterstof beschikbaar voor toepassingen die niet onder de industrie vallen. De totale RFNBO-opgave voor de industrie komt in deze variant op 94 PJ (785 kt waterstof).

#### Vervoerssector

De grondslag voor de RFNBO-opgave voor de vervoerssector is in deze variant gelijk aan variant 1. Er wordt nu echter uitgegaan van een hoger percentage. Met het doel van 5,7% wordt de RFNBO-opgave 62 PJ (543 kt waterstof). Tabel B3 geeft een overzicht van een mogelijke invulling van de opgave. De RFNBO-inzet via raffinage en biobrandstoffen is gelijk aan variant 1. De inzet voor de productie van synthetische kerosine is aangepast aan de doelstelling voor 2035 afkomstig uit het voorstel voor de ReFuelEU Aviation regulation (Europese Commissie, 2021b). De bijdrage via e-methanol is een factor 5 hoger verondersteld als gevolg van maximale bijmenging in benzine en een veronderstelde groeiende vraag naar methanol als brandstof voor de scheepvaart. De omvang komt overeen met de hoeveelheid die kan worden geproduceerd door ombouw van een productielijn van BioMCN naar groene methanol. Directe inzet van waterstof als brandstof is weer gebruikt als 'balanspost'.

Tabel B3. Invulling van de RFNBO-opgave voor de vervoerssector in variant 2.

| Waterstof inzet              | Kwantificering                                                                                                                                                                                                                                                        | Opmerkingen                                                                                                                                                                                                                        |
|------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Raffinage                    | Idem variant 1<br>(17,4 PJ; 145 kt H <sub>2</sub> )                                                                                                                                                                                                                   | Idem variant 1. Vervanging van bestaand waterstofgebruik in industrieclusters aan de kust.                                                                                                                                         |
| Biobrandstoffen              | Idem variant 1<br>(2,4 PJ; 20 kt H <sub>2</sub> )                                                                                                                                                                                                                     | Idem variant 1. Vervanging van bestaand waterstofgebruik in industrieclusters aan de kust.                                                                                                                                         |
| Synthetic aviation fuels     | Verplichting voor inzet van 5% synthetische kerosine in 2035 uit de ReFuelEU Aviation regulation. (10 PJ; 97 kt H <sub>2</sub> voor 8,3 PJ brandstof)                                                                                                                 | Productie synthetische kerosine op basis van CO <sub>2</sub> en groene waterstof. Productie en/of import en gebruik van groene waterstof in een industriecluster aan de kust. Import e-kerosine is op termijn ook een alternatief. |
| E-methanol                   | Inzet van e-methanol in het wegverkeer (bijmengen tot 3vol% bij benzine) en scheepvaart is gelijk aan de capaciteit van één productielijn van BioMCN, omgebouwd/aangepast voor productie van e-methanol.<br><br>(9,1 PJ; 76 kt H <sub>2</sub> voor 8,0 PJ e-methanol) | Idem variant 1. Productie en/of gebruik van groene waterstof in een industriecluster aan de kust, in dit geval Delfzijl. Import van e-methanol op termijn ook mogelijk.                                                            |
| Directe inzet H <sub>2</sub> | Balanspost om te voldoen aan de RFNBO-opgave voor de vervoerssector: 24,6 PJ; 205 kt H <sub>2</sub> . Dit verbruik vergt ter indicatie een vloot van:<br><br>240.000 auto's, 20.000 bussen en trucks, 100 binnenvaartschepen                                          | Idem variant 1. Toename met grofweg een factor 5 ten opzichte van variant 1 met bijbehorende uitbreiding van transport, distributie en lokale productie van waterstof voor levering via vulpunten verspreid door het land.         |

## Overige vraag naar RFNBO of koolstofarme waterstof in Nederland in variant 2

Verondersteld is dat de huidige waterstoffabrieken worden uitgerust met CO<sub>2</sub>-afvang en in bedrijf blijven. In deze variant is een deel van de koolstofarme waterstof beschikbaar voor toepassingen die niet onder de RFNBO-verplichting voor de industrie vallen. Omdat vanwege toenemende elektrificatie er al een aanzienlijke behoefte aan stuurbare flexibele productie van CO<sub>2</sub>-vrije elektriciteit kan ontstaan in de periode 2030 tot en met 2035 (TNO, 2022c; Werkgroep extra opgave elektriciteit, 2022) is in deze variant het restant aan koolstofarme waterstof gekoppeld aan inzet in de gascentrales. In de analyse is voor deze toepassing 13 PJ waterstof beschikbaar (107kt) waarmee circa 2,1 TWh elektriciteit kan worden geproduceerd bij 60% efficiency van een gascentrales.

Dat is minder dan 2% van het huidige gebruik van elektriciteit. Een ander alternatief is om de waterstof bij te mengen in het aardgasnet voor de gebouwde omgeving wat per saldo neerkomt op decarbonisatie van het aardgasnet voor verwarmingsdoeleinden. Gezien de geringe aandacht voor deze optie in Nederland is die verder niet meegenomen in de analyse.<sup>47</sup>

<sup>47</sup> Op basis van recente projecties (PBL, 2022) voor het aardgasverbruik in woningen, gebouwen en de agrarische sector in 2030 zou bijmengen van 13 PJ neerkomen op een landelijk gemiddeld bijmengpercentage van ruim 3% op basis van energie-inhoud. Op basis van volume is dit ruim 9 vol%. Lokaal in de buurt van de bijmengpunten zouden de aandelen aanzienlijk hoger kunnen liggen. De inzichten over een veilig bijmengpercentage dat kan worden toegepast zonder dat verdere aanpassing aan infrastructuur of apparatuur bij eindgebruikers nodig is zijn niet eenduidig, maar neigen eerder naar minder dan 9 vol% dan naar meer.

## Buitenlandse behoefte aan RFNBO in variant 2

Voor een indicatie van de RFNBO-opgave voor Duitsland, Noordrijn-Westfalen en België zijn opnieuw de cijfers over waterstofgebruik van de FCHO als basis genomen. Daarnaast zijn cijfers voor de staalindustrie (H2Future, 2021; TNO, Jülich en Dena, 2022) gebruikt voor het maken van een inschatting van de extra waterstofbehoefte. Hierbij is aangenomen dat de omschakeling naar waterstof naar verhouding in hetzelfde tempo verloopt als in Nederland. Tabel B4 geeft de indicaties voor de RFNBO-opgaven voor variant 2 in vergelijking met Nederland.

Tabel B4. Indicatie van de RFNBO-opgave voor Duitsland (DE) als geheel, de deelstaat Noordrijn-Westfalen (NRW) en België (BE) in vergelijking met Nederland (NL) in variant 2.

|                                                | NL<br>[PJ] | DE/wv. NRW<br>[PJ] | BE<br>[PJ] |
|------------------------------------------------|------------|--------------------|------------|
| Grondslag RFNBO-opgave industrie <sup>48</sup> | 108        | 181/83             | 57         |
| Grondslag RFNBO-opgave vervoerssector          | 1094       | 2802/588           | 780        |
| RFNBO-opgave industrie op basis van 75%        | 81         | 136/62             | 43         |
| RFNBO-opgave vervoerssector op basis van 5,7%  | 62         | 160/34             | 44         |
| Totaal RFNBO-opgave                            | 143        | 296/96             | 88         |

### Duitsland/NRW

In de (Hy3, 2022) studie is voor Nederland en Noordrijn-Westfalen een gezamenlijke importbehoefte aan waterstof geschat voor de periode 2030 tot en met 2035 die varieert van 22 PJ (183kt) tot 180 PJ (1,5 Mt). In deze variant is voor doorvoer de helft van de bovengrens aangehouden, te weten 90 PJ waterstof (750kt). Deze hoeveelheid is vrijwel even groot als de inschatting van de RFNBO-opgave voor Noordrijn-Westfalen, en dus mogelijk aan de hoge kant voor alleen NRW. De hoeveelheid past wel ruimschoots binnen de inschatting van de RFNBO-opgave voor Duitsland als geheel.

### België

De waterstofstrategie van de federale overheid in België (Belgische Federale Overheid, 2021) ging tot voor kort uit van een importbehoefte van 3 - 6 TWh aan waterstof en waterstofdragers in 2030, en 100 tot 165 TWh in 2050. Voor variant 2 is een waarde voor 2035 geschat door interpolatie op basis van de gemiddelden voor 2030 en 2050. Dit komt uit op ruim 37 TWh of 131 PJ H<sub>2,eq</sub> (1,1 Mt H<sub>2,eq</sub>). Dit is ruimschoots hoger dan de inschatting van de RFNBO-opgave voor België. Mogelijk wordt een hogere RFNBO-inzet in industrie en vervoerssector verwacht dan vereist op basis van de RED3-voorstellen en het REPowerEU-plan. Ook de RFNBO-inzet in andere sectoren zou kunnen, alsook de doorvoer vanuit België naar het achterland zoals naar Duitsland en Zuid-Limburg. In dat laatste geval kan er sprake zijn van overlap met de cijfers voor Nederland. Dit is in het kader van deze studie echter niet verder onderzocht.

<sup>48</sup> In de grondslag voor NL is wel het extra waterstofgebruik voor de staalproductie meegenomen, maar niet de extra inzet van koolstofarme waterstof als brandstof in de industrie. De RFNBO-opgave voor de industrie in de tabel wijkt daarom af van eerdere waarden. Rekening houdend met de extra inzet van koolstofarme waterstof in de industrie komt de totale RFNBO-opgave voor NL in variant 2 op 157 PJ. Voor DE, NRW en BE is inzet van (koolstofarme) waterstof die beschikbaar kan komen bij vervanging door groene waterstof niet meegenomen in de analyse.



In een recente update van de strategie (Belgische Federale overheid, 2022) zijn de cijfers fors naar boven bijgesteld. Naast 20 TWh in 2030 wordt gedacht aan 200 tot 350 TWh import in 2050. Eenzelfde analyse als voor de oorspronkelijke strategie zou voor variant 2 dan uitkomen op 84 TWh of 302 PJ (2,5 Mt waterstof). Bij deze verwachtingen of ambities neemt de kans op overlap met Nederlandse cijfers aanzienlijk toe.

## Productie van groene waterstof in Nederland in variant 2

In deze variant is een opgesteld vermogen van 8 gigawatt (GW) elektrolyse voorzien, gekoppeld aan wind op zee. Bij verder dezelfde aannamen als in variant 1 levert dit een productie op van 71 PJ groene waterstof (595 kt). Het verschil tussen de veronderstelde RFNBO-opgave (157 PJ) en de binnenlandse productie bedraagt 86 PJ. Dit vereist import. De hoeveelheid is van vergelijkbare grootte als de helft van de geïdentificeerde bovengrens van 180 PJ aan de gezamenlijke importbehoefte voor Nederland en NRW in de periode 2030 - 2035 volgens de Hy3-studie, en sluit dus goed aan bij het beeld uit die studie.

## Import van RFNBO voor Nederland in variant 2

### Import van groene ammoniak voor vervanging van grijze ammoniak

In deze variant is verondersteld dat ongeveer een derde van de ammoniakproductie in Zeeuws-Vlaanderen (540kt) en de volledige ammoniakproductie op Chemelot in Zuid-Limburg (1080kt) wordt vervangen door import van groene ammoniak; samen 1620kt.<sup>49</sup> Hierbij wordt impliciet verondersteld dat transport van deze hoeveelheid ammoniak door het binnenland richting Zuid-Limburg praktisch mogelijk is en vanuit regelgeving is toegestaan. Net als in variant 1 is in deze variant rekening gehouden met het dubbeltellende effect van de vervanging van huidige binnenlandse ammoniakproductie door geïmporteerde groene ammoniak. Dit effect zorgt in dit geval voor een verlaging van de RFNBO-opgave voor de industrie van 26 PJ (ruim 217kt H<sub>2,eq</sub>).

### Import van waterstof via LOHC

Naast import via ammoniak is in deze variant ook rekening gehouden met de import van waterstof via LOHC. In totaal bedraagt de veronderstelde import via deze route 230kt waterstof, waarvan 80kt via de haven van Amsterdam en 150 kt via Rotterdam.<sup>50</sup> Waterstof inclusief dragermateriaal levert bij een theoretisch maximale beladingsgraad en zonder verliezen een bulkstroom van minimaal 3,7Mt. Het terugwinnen van waterstof via dehydrogenering op de importlocatie zou bij een capaciteitsfactor van 90% fabrieken met een capaciteit van respectievelijk 340 MW en 630 MW vereisen op basis van waterstofproductie. Of enkelvoudige fabrieken voor dehydrogenering van LOHC van deze capaciteit mogelijk zijn, is niet duidelijk. Mogelijk zijn er meerdere fabrieken nodig.

---

<sup>49</sup> Een hogere import voor Chemelot dan voor Zeeuws-Vlaanderen lijkt vreemd aangezien laatstgenoemde dicht aan de kust ligt. Ook de alternatieven zoals lokale groene waterstofproductie en afvoer van CO<sub>2</sub> voor ondergrondse opslag offshore zijn voor Chemelot echter lastiger te realiseren dan in Zeeuws-Vlaanderen waardoor uitbreiding van de huidige import van ammoniak richting Chemelot met import van groene ammoniak mogelijk een relatief gunstige optie zou kunnen zijn.

<sup>50</sup> Vanwege de directe nabijheid van stedelijk gebied is import van ammoniak een minder voor de hand liggende optie voor de haven van Amsterdam. Import via LOHC heeft de voorkeur, omdat Amsterdam een grote benzinehaven is met vele faciliteiten die geschikt zijn voor import, opslag en doorvoer van LOHC.

### Import van waterstof via ammoniak

Om de Nederlandse balans voor RFNBO kloppend te krijgen, is naast import van groene waterstof via LOHC en groene ammoniak voor vervanging van ammoniak ook import van een beperkte hoeveelheid groene ammoniak nodig die omgezet moet worden naar groene waterstof. Het betreft 4 PJ of 33kt waterstof. Rekening houdend met 15% verlies bij conversie is hier import van 221kt ammoniak voor nodig. Dit vereist een kraakinstallatie met een capaciteit van 140 MW waterstof. Aangenomen wordt dat het kraken van ammoniak voor waterstof in Nederland plaatsvindt bij het punt van import en dat de waterstof vervolgens wordt getransporteerd en gedistribueerd via buisleidingen en tubetrailers.

### Import en doorvoer van RFNBO naar het achterland in variant 2

#### Doorvoer naar Duitsland

De importbehoefte voor Noordrijn-Westfalen en mogelijk andere deelstaten is gesteld op 90 PJ waterstof. Dat is 750 kt. Ook in deze variant is verondersteld dat de import in Nederland, die bestemd is voor Duitsland plaatsvindt in de vorm van ammoniak. Bij een conversieverlies van 15% is voor 750 kt waterstof import van 5 Mt ammoniak nodig. Dit kan lager uitvallen indien doorvoer van ammoniak naar NRW mogelijk is voor vervanging van ammoniakproductie aldaar. De ammoniakproductie in NRW bedraagt ongeveer 1 Mt. Aan de andere kant kan de benodigde import ook hoger uitvallen als naast het verlies nog een extra deel van de ammoniak (of waterstof) wordt gebruikt als brandstof voor het kraken van ammoniak. Zo bezien lijkt er in ieder geval behoefte aan het kraken van ongeveer 4 Mt ammoniak. Dit kan in Nederland met transport van waterstof naar NRW. Het andere uiterste is transport van alle ammoniak naar NRW om dit vervolgens te kraken in Duitsland.<sup>51</sup> In beide gevallen zijn hier fabrieken voor nodig met een totale capaciteit van ongeveer 2,3 GW waterstof. De capaciteit van de grootste waterstoffabrieken in Nederland op basis van reforming van aardgas is op het ogenblik ongeveer 400 MW. In Nederland en/of Duitsland zou dan een capaciteit nodig zijn die gelijk is aan minimaal acht van die fabrieken.

De import voor Nederland samen met de import voor Duitsland komt in deze variant op ruim 6,8 Mt waarvan 540 kt via North Sea Port (NSP) en 6,3 Mt via Rotterdam. Voor Rotterdam betekent dit dat de huidige terminalcapaciteit bijna met een factor 16 moet worden uitgebreid.

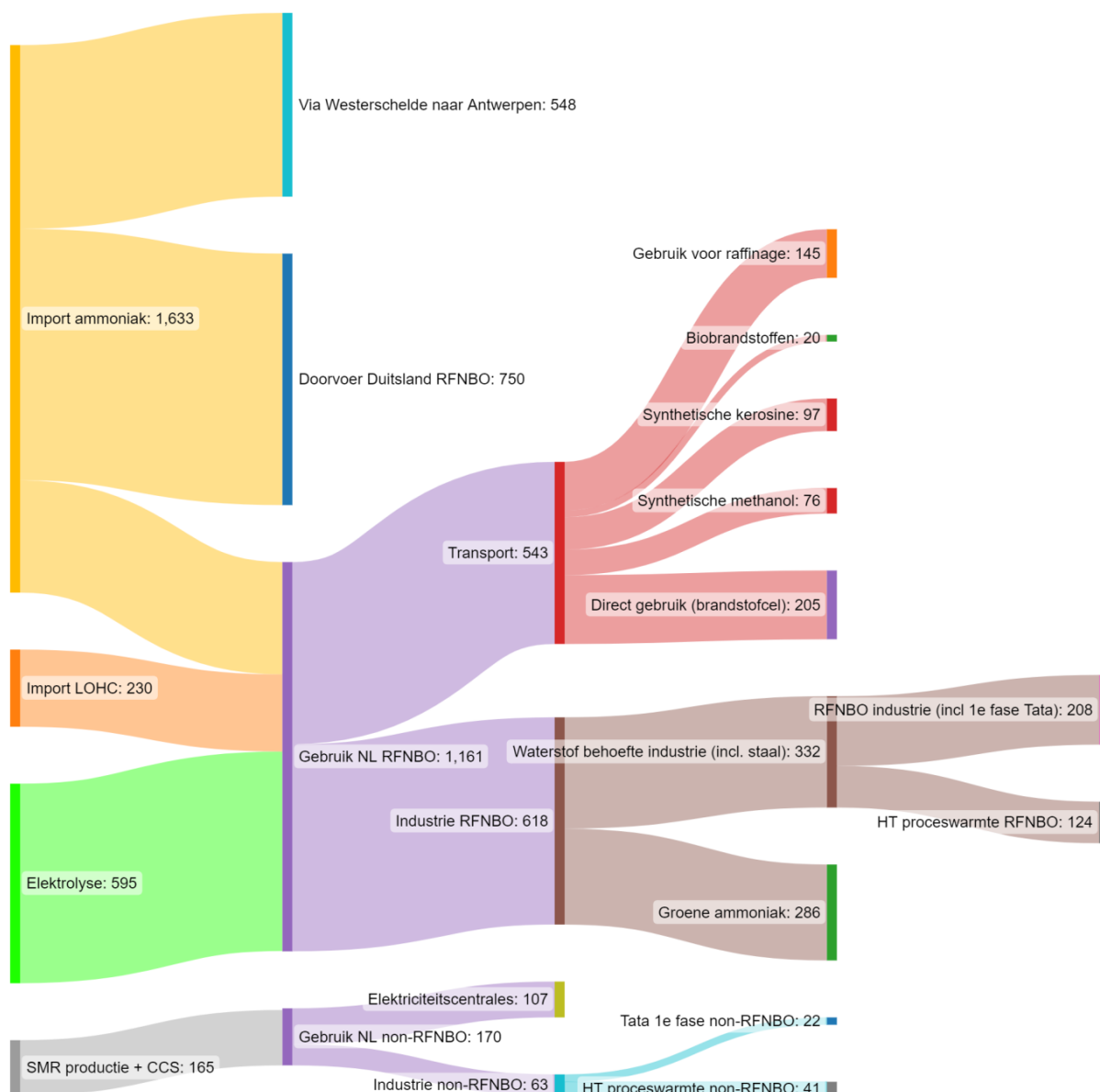
#### Doorvoer naar België

Voor België is in deze variant opnieuw de aanname dat de helft van de importverwachting voor België via de haven van Antwerpen verloopt. Op basis van de oorspronkelijke Belgische waterstofstrategie is voor deze variant import van 548 kt waterstof verondersteld. Zonder rekening te houden met verlies bij het eventuele kraken zou dit neerkomen op minimaal 3,1 Mt ammoniak. Samen met de hoeveelheid voor NSP komt dit op ruim 3,6 Mt ammoniak dat via de Westerschelde wordt geïmporteerd. Met de verwachtingen in de recente update van de waterstofstrategie zou het voor België gaan om een ruime verdubbeling naar 7,1 Mt en een totaal van ruim 7,6 Mt via de Westerschelde.

Figuur B2 geeft een samenvatting van variant 2, waarin zowel de behoefte aan, als het aanbod van RFNBO en koolstofarme waterstof is uitgedrukt in kiloton  $H_{2,eq}$ .

---

<sup>51</sup> In variant 2 is ook al import van waterstof via LOHC verondersteld via Amsterdam en Rotterdam. Omdat naar verwachting LOHC een beperkt(er) effect heeft op externe veiligheid zou in de praktijk de voorkeur kunnen worden gegeven aan doorvoer van waterstof in de vorm van LOHC in plaats van doorvoer in de vorm van ammoniak. Dit zou doorvoer van een mogelijk vereiste hoeveelheid ammoniak kunnen beperken.



Figuur B2. Vraag en aanbod van RFNBO en koolstofarme waterstof voor Variant 2 (in kt  $H_{2,eq}$ ).

## Uitleg variant 3. Marktverwachtingen op basis van Fit-for-55 en REPowerEU

### Binnenlandse behoefte aan RFNBO in variant 3

Net als in variant 2 zijn de percentages van de RFNBO-doelen voor de industrie en de vervoerssector in de periode 2030 tot en met 2035 in deze variant respectievelijk 75% en 5,7%.

#### Industrie

Naast 75% van het bestaande gebruik in de industrie is in deze variant verondersteld dat in de periode 2030 tot en met 2035 niet alleen de eerste fase maar ook de tweede fase van de plannen van Tata Steel zijn gerealiseerd. Dit levert een extra waterstofgebruik in de industrie op van 34 PJ (283 kt) ten opzichte van variant 2. Hiervan draagt 75% bij aan de RFNBO-opgave voor de industrie. Verder wordt er in deze variant een grotere hoeveelheid waterstof, die op het ogenblik wordt gebruikt voor de productie van conventionele brandstoffen en biobrandstoffen in raffinaderijen en bio-raffinaderijen, vervangen door groene waterstof.

De aanname is dat de huidige waterstoffabrieken op relatief korte termijn worden voorzien van CO<sub>2</sub>-afvang voor opslag van CO<sub>2</sub> via projecten als Porthos en Aramis en in productie blijven na vervanging door groene waterstof. In de analyse vindt deze koolstofarme waterstof deels zijn weg als vervanging van de directe inzet van aardgas als brandstof in de industrie, wat ook bijdraagt aan een toename van de RFNBO-grondslag. De RFNBO-opgave voor de industrie is in deze variant 134 PJ (1,1 Mt H<sub>2,eq</sub>)

### **Vervoerssector**

De RFNBO-opgave voor de vervoerssector in Nederland is in deze variant gelijk aan variant 2. Wel is hier aangenomen dat de methanolproductie in Nederland volledig overgaat naar productie van e-methanol. Omdat een groter deel van de RFNBO-opgave dan wordt ingevuld door e-methanol is een kleinere bijdrage nodig van de directe inzet van waterstof als brandstof dan in variant 2. Daarnaast is verondersteld dat niet alleen een hoeveelheid waterstof voor raffinage en bio-raffinage wordt vervangen die is gerelateerd aan de levering van brandstof in Nederland.

In deze variant wordt alle waterstof die met fossiele brandstoffen wordt geproduceerd via SMR-installaties vervangen door groene waterstof. Veel export van conventionele brandstoffen en biobrandstoffen gaat naar andere EU-landen en ook daar gelden de RFNBO-verplichtingen. De aanname is dus dat de RFNBO-bijdrage van de raffinageroute voor die landen er in Nederland wordt ingestopt. Daarbij is in deze variant al rekening gehouden met uitbreiding van de capaciteit aan bio-raffinage (TNO, 2022b).

De RFNBO-opgave voor Nederland in deze variant blijft 62 PJ, maar de RFNBO-behoefte neemt door deze aannames toe tot 92 PJ. Vanwege conversieverliezen van waterstof bij de productie van e-kerosine en e-methanol op basis van CO<sub>2</sub> en waterstof ligt de waterstofbehoefte nog iets hoger. Die bedraagt in deze variant 96 PJ (798kt waterstof). Tabel B5 geeft een overzicht van de aannames voor de vervoerssector.

De gezamenlijke RFNBO-opgave voor de industrie en vervoerssector in variant 3 bedraagt 196 PJ. Vanwege de aannames voor raffinage en bio-raffinage ligt de RFNBO-behoefte 30 PJ hoger op 226 PJ (1,9 Mt waterstof-equivalent).

Tabel B5. Invulling van de RFNBO-opgave voor de vervoerssector in variant 3.

| Waterstofinzet               | Kwantificering                                                                                                                                                                                                                                       | Opmerkingen                                                                                                                                                                                                                    |
|------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Raffinage                    | Vervanging van alle waterstof die wordt geproduceerd op basis van fossiele bronnen via SMR voor productie van conventionele brandstoffen in raffinaderijen<br>(34,1 PJ; 284 kt H <sub>2</sub> )                                                      | De hoeveelheid is aanzienlijk groter dan in variant 1 en 2, maar het betreft nog steeds de vervanging van bestaand waterstofgebruik in industrieclusters aan de kust. Extra productie van waterstof aan de kust of via import. |
| Biobrandstoffen              | Vervanging van waterstof die wordt geproduceerd op basis van fossiele bronnen via SMR voor productie van biobrandstoffen (HVO/HEFA) in bestaande en voorgenomen bio-raffinaderijen in Nederland<br>(15,1 PJ; 126 kt H <sub>2</sub> )                 | Vervanging van bestaand en additioneel waterstofgebruik in industrieclusters aan de kust. Productie van waterstof aan de kust of via import.                                                                                   |
| Synthetic aviation fuels     | Idem Variant 2.<br>(10 PJ RFNBO-bijdrage; 97 kt H <sub>2</sub> voor 8,3 PJ brandstof)                                                                                                                                                                | Idem variant 2.                                                                                                                                                                                                                |
| E-methanol                   | Inzet van e-methanol in het wegverkeer (bijmengen tot 3% bij benzine) en scheepvaart gelijk aan de volledige capaciteit van BioMCN die is omgebouwd/aangepast voor productie van e-methanol.<br>(18 PJ; 152 kt H <sub>2</sub> voor 16 PJ e-methanol) | Idem variant 1 en 2. BioMCN in Delfzijl is op het ogenblik de enige methanolfabriek in Nederland. Productie en gebruik van de waterstof in een industriecluster aan de kust, in dit geval Delfzijl.                            |
| Directe inzet H <sub>2</sub> | Balanspost om te voldoen aan de RFNBO-opgave voor de vervoerssector: 16,6 PJ; 138 kt H <sub>2</sub> . Dit verbruik vergt ter indicatie een vloot van:<br>100.000 auto's<br>16.500 bussen en trucks<br>50 binnenvaartschepen                          | Idem variant 1. Toename met grofweg een factor 5 ten opzichte van variant 1 met bijbehorende uitbreiding van transport, distributie en lokale productie van waterstof voor levering via vulpunten verspreid door het land.     |

## Overige vraag naar RFNBO of koolstofarme waterstof in Nederland in variant 3

Vanwege toenemende elektrificatie kan er al een aanzienlijke behoefte aan stuurbare flexibele productie van CO<sub>2</sub>-vrije elektriciteit ontstaan in de periode 2030 tot en met 2035 (TNO, 2022c; Werkgroep extra opgave elektriciteit, 2022). Naarmate de energietransitie vordert zal die behoefte daarna waarschijnlijk weer dalen, maar de behoefte aan back-upvermogen blijft.

Voor 2040 is de verwachting dat er behoefte is aan ordegrrootte 25 GW stuurbaar flexibel vermogen dat met een beperkt aantal draaiuren 12 TWh elektriciteit levert. Deze hoeveelheid is als een soort no-regretwaarde voor de periode 2030-2035 verondersteld in deze variant. Met 60% efficiency voor een gascentrale is hiervoor 20 TWh of 72 PJ waterstof nodig.<sup>52</sup> Dat is 600 kt.

De inzet van waterstof voor verwarmingsdoeleinden in de gebouwde omgeving is ook in deze variant niet meegenomen in de analyse. Mogelijk dat in de komende periode een aantal demonstratieprojecten worden gerealiseerd, maar grootschalige inzet van deze optie wordt voorlopig niet verwacht. Op het ogenblik is er weinig tot geen aandacht voor een route via het bijmengen in het aardgasnet.

## Buitenlandse behoefte aan RFNBO in variant 3

Net als in de andere varianten zijn de cijfers over waterstofgebruik van de FCHO als basis genomen voor een indicatie van de RFNBO-opgave voor Duitsland, Noordrijn-Westfalen en België. Daarnaast zijn, net zoals in variant 2, cijfers voor de staalindustrie (H2Future, 2021; TNO, Jülich en Dena, 2022) gebruikt voor het maken van een inschatting van de extra waterstofbehoefte. Daarbij is, net als voor Nederland, aangenomen dat de staalindustrie in Duitsland en België volledig is overgeschakeld op het DRI-proces met gebruik van waterstof. Tabel B6 geeft de indicaties voor de RFNBO-opgaven voor variant 3 voor Duitsland weer, in vergelijking met de indicaties hiervoor voor Nederland.

Tabel B6. Indicatie van de RFNBO-opgave voor Duitsland (DE) als geheel, de deelstaat Noordrijn-Westfalen (NRW) en België (BE) in vergelijking met de indicatie hiervoor voor Nederland (NL), in variant 3

|                                                | NL<br>[PJ] | DE/wv. NRW<br>[PJ] | BE<br>[PJ] |
|------------------------------------------------|------------|--------------------|------------|
| Grondslag RFNBO-opgave industrie <sup>53</sup> | 142        | 317/201            | 84         |
| Grondslag RFNBO-opgave vervoerssector          | 1094       | 2802/588           | 780        |
| RFNBO-opgave industrie o.b.v. 75%              | 107        | 238/151            | 63         |
| RFNBO-opgave vervoerssector o.b.v. 5,7%        | 62         | 160/34             | 44         |
| Totaal RFNBO-opgave                            | 169        | 398/185            | 107        |

<sup>52</sup> 12 TWh is ongeveer 10% van de huidige vraag naar elektriciteit. Vanwege deze aanzienlijke hoeveelheid en de variabele productie van een gascentrale (de flexibiliteitsoptie die mede zorgt voor balans op het net) is aanvoer per buisleiding met koppeling aan opslag noodzakelijk. Zonder buisleiding voor waterstof zou directe inzet van ammoniak als brandstof mogelijk een alternatief kunnen vormen, maar een koppeling tussen een opslag, in dit geval van ammoniak, en de centrale blijft nodig.

<sup>53</sup> In de grondslag voor NL is wel het extra waterstofgebruik voor staalproductie meegenomen, maar niet de extra inzet van koolstofarme waterstof als brandstof in de industrie. De RFNBO-opgave voor de industrie in de tabel wijkt daarom af van eerdere waarden. Met beschouwing van de extra inzet van koolstofarme waterstof in de industrie komt de totale RFNBO-opgave voor NL in variant 3 op 196 PJ. Voor DE, NRW en BE is de inzet van (koolstofarme) waterstof, die beschikbaar kan komen bij vervanging door groene waterstof, niet meegenomen in de analyse. De totale RFNBO-behoefte ligt nog 30 PJ hoger op 226 PJ i.v.m. de specifieke aanname voor de (bio-)raffineroute in deze variant.

## Duitsland/NRW

Net zoals in variant 2 is gebeurd, wordt in deze variant voor Duitsland in ieder geval weer rekening gehouden met een importbehoefte van 90 PJ waterstof (750 kt). Voor de analyse van deze variant wordt uitgegaan van de verwachtingen over mogelijke import van waterstof en waterstofdragers door de Nederlandse havenbedrijven. Na aftrek van het mogelijke gebruik van waterstof en waterstofdragers in Nederland en de binnenlandse productie van waterstof is doorvoer naar Duitsland in deze variant een balanspost en bedraagt 542 PJ waterstofequivalenten of ruim 4,5 Mt  $H_{2,eq}$ .

## België

In deze variant is voor België niet de oorspronkelijke waterstofstrategie van de federale overheid als basis genomen maar de inschatting van de Belgische waterstofcoalitie. Dit is een coalitie van private partijen en Fluxys, het Belgische equivalent van Gasunie. In een eerste verkenning kwam de coalitie tot de inschatting dat richting 2035 de import van waterstof en waterstofdragers voor binnenlands gebruik en doorvoer naar het achterland op zou kunnen lopen naar 110 TWh (Belgische waterstofimportcoalitie, 2021). Dit is 396 PJ waterstof (3,3 Mt). Met de recente update van de strategie als basis zou het cijfer uitkomen op 84 TWh of 302 PJ (2,5 Mt waterstof). In beide gevallen is het ruimschoots hoger dan de inschatting van de RFNBO-opgave voor België. België heeft net als Nederland de ambitie om een belangrijke waterstofhub te worden, zo niet dé waterstofhub van Europa. Het is daarom mogelijk dat er in deze hoge cijfers enige overlap zit met cijfers voor Nederland. Dit is in het kader van deze studie echter niet verder onderzocht.

## Productie groene waterstof in Nederland in variant 3

In deze variant is een opgesteld vermogen voorzien van 9,5 gigawatt (GW) elektrolyse die is gekoppeld aan wind op zee. Bij verder dezelfde aannames als in de andere varianten levert dit een productie op van 85 PJ groene waterstof (707 kt).

Om in deze variant de eigen RFNBO-behoefte van 226 PJ waterstof te dekken, zou bij de gebruikte aannames 21,8 GW aan elektrolyse nodig zijn. Zelfs bij gunstige aannames van 6.000 vollasturen en een elektriciteitsverbruik van 50 kWh/kg is nog 15,7 GW nodig. Hoewel deze hoeveelheden bij verdere uitbouw van wind op zee richting 2040 en 2050 zeker niet onmogelijk zijn, zal import voor Nederland nodig zijn, als de RFNBO-behoefte zoals geschetst in deze variant realiteit wordt.

## Import van RFNBO voor Nederland in variant 3

### Import van groene ammoniak voor vervanging van grijze ammoniak

In deze variant is verondersteld dat alle ammoniakproductie in Nederland wordt vervangen door import van groene ammoniak; samen 2,7 Mt. Net als bij variant 2 wordt hierbij impliciet verondersteld dat transport van deze hoeveelheid ammoniak door het binnenland richting Zuid-Limburg mogelijk is en is toegestaan. Verder is in deze variant geen rekening gehouden met het dubbeltellende effect van de vervanging van huidige binnenlandse ammoniakproductie door geïmporteerde groene ammoniak. De aanname is dat de mogelijkheid voor dubbeltelling een onbedoeld effect is van het RED3-voorstel en dat deze optie uiteindelijk geblokkeerd wordt in de definitieve versie.<sup>54</sup>

---

<sup>54</sup> Alle EU-documenten laten de optie voorlopig echter nog in stand waardoor is gekozen om dubbeltelling wel mee te nemen. Variant 3 is een maximumvariant. Daarom is een dubbeltelling hier niet meegenomen.



### Import van waterstof als vloeibare waterstof

Naast import van waterstof via ammoniak is in deze variant ook rekening gehouden met de import van waterstof via LOHC en met import van een kleine hoeveelheid vloeibaar waterstof. De import van vloeibaar waterstof bedraagt 100 t/d. Dat is per jaar 4 PJ aan waterstof, of 37 kt. Import vindt plaats via Rotterdam.

### Import van waterstof via LOHC

Het volume van de import van waterstof via LOHC is een stuk groter dan van vloeibare waterstof. Die bedraagt in totaal 1,2 Mt waterstof. Bij een theoretische maximale beladingsgraad van 6,2 wt% waterstof levert dit minimaal een bulkstroom op van ruim 19 Mt LOHC. Op basis van de initiatieven die worden uitgewerkt en de ambities die hierbij worden aangehouden zou 850 kt van de 1,2 Mt via Amsterdam lopen en 350 kt via Rotterdam. Aangenomen is dat 750 kt is bestemd voor lokaal gebruik van RFNBO nabij het punt van import. Hiervan heeft naar verwachting 400 kt een bestemming rond het Noordzeekanaalgebied (NZKG) en 350 kt rond de regio Rijnmond. Dehydrogenering van de LOHC voor productie van 750 kt waterstof vergt installaties met een totale capaciteit van 3,2 GW waterstof. De overige LOHC kan worden doorgevoerd voor dehydrogenering elders in Nederland of Duitsland.<sup>55</sup> Dat zou elders nog eens 1,9 GW aan capaciteit vergen. Zou alle waterstof bij het punt van import in Nederland van de LOHC worden teruggewonnen en per buisleiding verder worden getransporteerd, dan zouden daar dus installaties met een totale capaciteit van 5,1 GW waterstof voor nodig zijn. Die capaciteit is gelijk aan de capaciteit van twaalf à dertien van de grootste waterstoffabrieken die we op het ogenblik hebben in Nederland.

Naast import van groene ammoniak voor vervanging van ammoniak, import van vloeibare groene waterstof en import van groene waterstof via LOHC is in deze variant nog een kleine hoeveelheid import van groene waterstof via ammoniak nodig om de RFNBO-opgave te dekken. Daarnaast is in deze variant nog meer waterstof nodig om de waterstofbalans kloppend te krijgen. Dit kan groene waterstof zijn, maar mag ook koolstofarme waterstof zijn. Immers, 25% van het waterstofgebruik in de industrie hoeft geen RFNBO te zijn en voor het waterstofgebruik voor elektriciteitsproductie is er helemaal geen RFNBO-doel. Een deel van de koolstofarme waterstof komt van binnenlandse productie (39 PJ; 324 kt). Dat zijn conventionele waterstoffabrieken die met CO<sub>2</sub>-afvang worden uitgerust en in bedrijf blijven. Verder is er van de bovengenoemde 1,2 Mt waterstof via LOHC nog 450 kt (54 PJ) beschikbaar voor gebruik buiten de NZKG- en Rijnmondregio. Deze hoeveelheid is (arbitrair) verdeeld over Nederland en Duitsland naar rato van de RFNBO-opgaves. Dit levert 147 kt voor Nederland. De rest (303 kt) is voor Duitsland. De totale hoeveelheid waterstof via LOHC komt hiermee voor Nederland op bijna 900 kt. Hier is een capaciteit voor dehydrogenering voor nodig van 3,8 GW waterstof. Dat is de capaciteit van negen à tien van de grootste waterstoffabrieken die we op het ogenblik in Nederland hebben.

---

<sup>55</sup> Inzet van waterstof van LOHC in de NZKG-regio is afgestemd op verwachtingen rond lokale vraag. De hoeveelheid in de regio rond de Rijnmond is echter arbitrair. Omdat naar verwachting LOHC een beperkt(er) effect heeft op externe veiligheid zou in de praktijk de voorkeur uit kunnen gaan naar doorvoer van waterstof in de vorm van LOHC in plaats van doorvoer in de vorm van ammoniak. Dit zou doorvoer van een mogelijk vereiste hoeveelheid ammoniak kunnen beperken. In deze maximale variant is echter gekozen voor maximale doorvoer van ammoniak of waterstof van ammoniak naar Duitsland.

### Import van waterstof via ammoniak

Om de balans voor Nederland helemaal kloppend te krijgen is tot slot nog 36 PJ waterstof (297 kt) nodig die wordt geïmporteerd via ammoniak. Dit vergt bijna 1,3 GW capaciteit op basis van waterstofproductie om ammoniak te kraken. Dat is ongeveer de capaciteit van drie van de grootste waterstoffabrieken die we op het ogenblik in Nederland hebben. De hoeveelheid import van ammoniak voor waterstof in Nederland bedraagt in deze variant 2 Mt. Samen met de import van groene ammoniak voor vervanging van binnenlandse ammoniakproductie komt de import van ammoniak voor Nederland in totaal op 4,7 Mt.

Dat is ruim een vertienvoudiging van de capaciteit van de huidige importterminal voor ammoniak in Nederland.

### Import en doorvoer van RFNBO en koolstofarme waterstof naar het achterland in variant 3

#### Doorvoer naar Duitsland

Zoals eerder aangegeven is de doorvoer naar Duitsland in deze variant een balanspost. Hierboven is al aangegeven dat 303 kt aan waterstof via LOHC naar Duitsland gaat. In de analyse is verondersteld dat deze LOHC stroom via Amsterdam loopt. Een ander vertrekpunt is de verwachting van het havenbedrijf van Rotterdam dat in de periode 2030-2035 al 4,6 Mt waterstof via de haven moet lopen om aan de doelstelling van 55% reductie van CO<sub>2</sub> emissies te kunnen voldoen. Hiervan komt 4 Mt van import, waarmee wordt verwacht dat de haven van Rotterdam 40% van de totale import van waterstof in de EU voor zijn rekening neemt, zoals geschetst in het REPowerEU-plan. Na aftrek van import via vloeibaar waterstof (37 kt) en waterstof via LOHC (350 kt) betekent dit ruim 3,6 Mt import via ammoniak.

NSP verwacht import van 500 kt waterstof-equivalent in 2030 en 2 tot 6 Mt (gemiddeld 4 Mt) in 2050. Lineaire interpolatie levert 1.375 kt waterstofequivalent in 2035. Deze bovengrens is aangehouden in deze variant. Omdat er nog geen concrete initiatieven voor LOHC bekend zijn, is verondersteld dat import in de vorm van ammoniak plaatsvindt.<sup>56</sup>

Een deel van de import via Rotterdam en NSP is groene ammoniak, nodig voor de vervanging van de productie van ammoniak in Nederland (2,7 Mt ammoniak), en een deel van de import is waterstof bestemd voor Nederland. Indien de overige import van groene ammoniak nodig is voor waterstoftoepassingen in Duitsland, dan betekent dit dat er ruim 23,8 Mt ammoniak via Rotterdam wordt geïmporteerd en bijna 9 Mt via NSP. In totaal is dit 32,8 Mt. Deze hoeveelheid is een factor 8 groter dan de gemiddelde jaarlijks import van 4,1 Mt in alle EU28-landen tezamen in de periode 2009-2020 (IFA, 2022).

---

<sup>56</sup> Naast de havens van Rotterdam en Amsterdam en de havens van North Sea Port in Vlissingen en Terneuzen kent Nederland met Groningen Sea Ports (GSP; Eemshaven en Delfzijl) een vierde grote zeehavengebied. Op het ogenblik zijn geen initiatieven bekend voor import van waterstof via GSP en is in deze studie daarom geen rekening gehouden met import via het noorden. De focus ligt daar vooralsnog op productie van groene waterstof met grote initiatieven van Shell en partners (NorthH2), ENGIE (HyNetherlands) en RWE (Eemshydrogen). Wel wordt er nagedacht over doorontwikkeling van de LNG-infrastructuur die op het ogenblik wordt gerealiseerd naar waterstof. Dit kan zowel in de richting van ammoniak als van vloeibaar waterstof. Tot slot zou er na 2030 import van groene en koolstofarme waterstof tot ontwikkeling kunnen vanuit Scandinavië, met name Noorwegen, via een buisleiding.

Volgens de analyse voor variant 3 is 506 PJ waterstof (ruim 4,2 Mt) uit ammoniak bestemd voor Duitsland. Dat is 28,1 Mt van de 32,8 Mt ammoniak die wordt geïmporteerd in Nederland. Deze hoeveelheid ammoniak kan worden getransporteerd naar Duitsland en daar worden gekraakt. De hoeveelheid kan ook worden gekraakt in Nederland en dan als waterstof naar Duitsland worden getransporteerd. In beide gevallen is hier een capaciteit van 17,8 GW waterstof voor nodig. Dat is gelijk aan de capaciteit van bijna 45 van de grootste waterstoffabrieken die we op het ogenblik in Nederland hebben. Indien transport van grote hoeveelheden ammoniak naar Duitsland mogelijk is en ook daar binnenlandse productie van ammoniak kan worden vervangen door import van groene ammoniak dan zou dat een capaciteit gelijk aan vijf à tien fabrieken kunnen schelen.

De doorvoerstromen aan waterstof-equivalenten naar Duitsland tellen in deze variant op tot 542 PJ; 506 PJ via ammoniak en 37 PJ via LOHC. Dat is ruim meer dan de geschatte 398 PJ aan RFNBO-opgave voor Duitsland die onder andere uitgaat van volledige vervanging van de ijzerproductie voor de staalindustrie door processen op basis van waterstof.

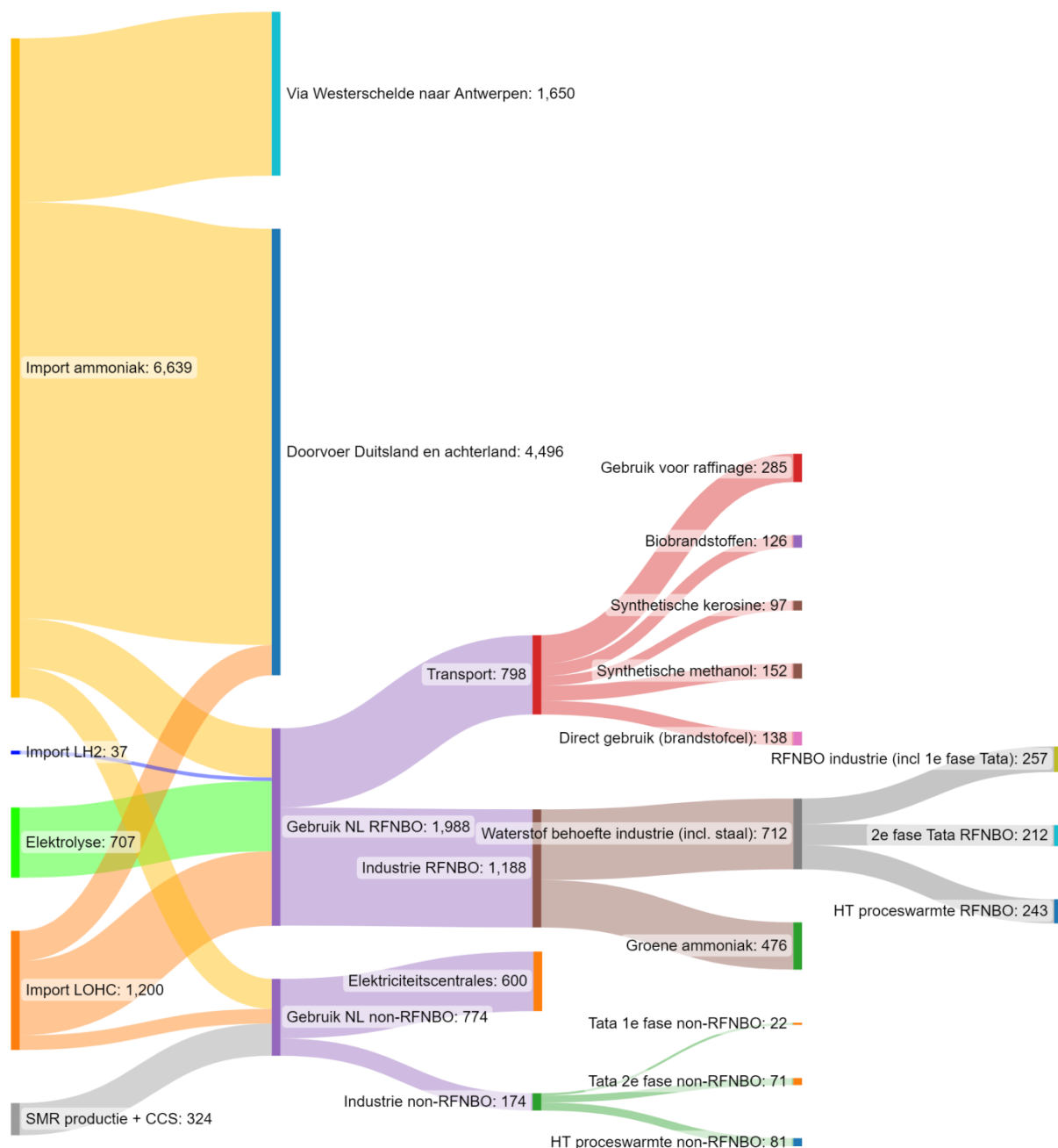
Voor alle importstromen van LOHC en ammoniak voor Nederland en Duitsland samen is in deze variant een capaciteit voor de productie van waterstof via dehydrogenering en kraken nodig van bijna 22 GW tot meer dan 24 GW. Dat is gelijk aan de capaciteit van bijna 54 tot wel 60 van de grootste waterstoffabrieken die we op het ogenblik hebben in Nederland.

### **Doorvoer naar België**

Voor België is in deze variant opnieuw de aanname dat de helft van de importambitie voor België via de haven van Antwerpen verloopt. Op basis van de inschatting van de Belgische waterstofcoalitie is voor deze variant import van 1650 kt waterstof verondersteld. Zonder rekening te houden met verlies bij eventueel kraken zou dit neerkomen op minimaal bijna 9,4 Mt ammoniak. Samen met de bijna 9 Mt voor NSP komt dit op 18,3 Mt ammoniak via de Westerschelde. Met de ambitie in de recente update van de waterstofstrategie zou de hoeveelheid via Antwerpen iets lager uitkomen op 7,1 Mt. Het totaal over de Westerschelde zou dan uitkomen op 16,1 Mt. Zoals aangegeven is er zowel in Nederland als in België ambitie om een, zo niet dé waterstofhub van Europa te worden. Omdat beide voor een groot deel hetzelfde achterland kunnen bedienen, is het mogelijk dat er overlap in de cijfers zit, waardoor ze in de praktijk straks niet volledig additioneel zijn.

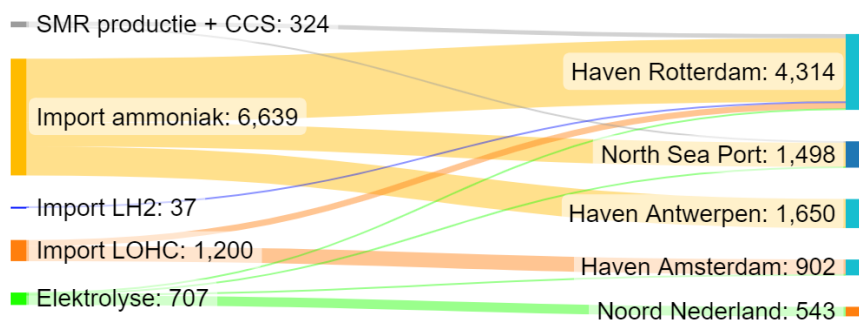
### **Totaaloverzicht van stromen van waterstofdragers door Nederland in variant 3.**

Onderstaand overzicht geeft een samenvatting van de te verwachten waterstofstromen door Nederland in variant 3. De hoeveelheden zijn uitgedrukt in kt waterstofequivalent. Oftewel de hoeveelheid waterstof die is opgeslagen in de drager. Het gebruik in Nederland is opgesplitst in een deel van het gebruik dat RFNBO-plichtig is (en waar dus groene waterstof(dragers) ingezet moet worden), en aanvullend gebruik van waterstof waar geen RFNBO-grondslag voor is.

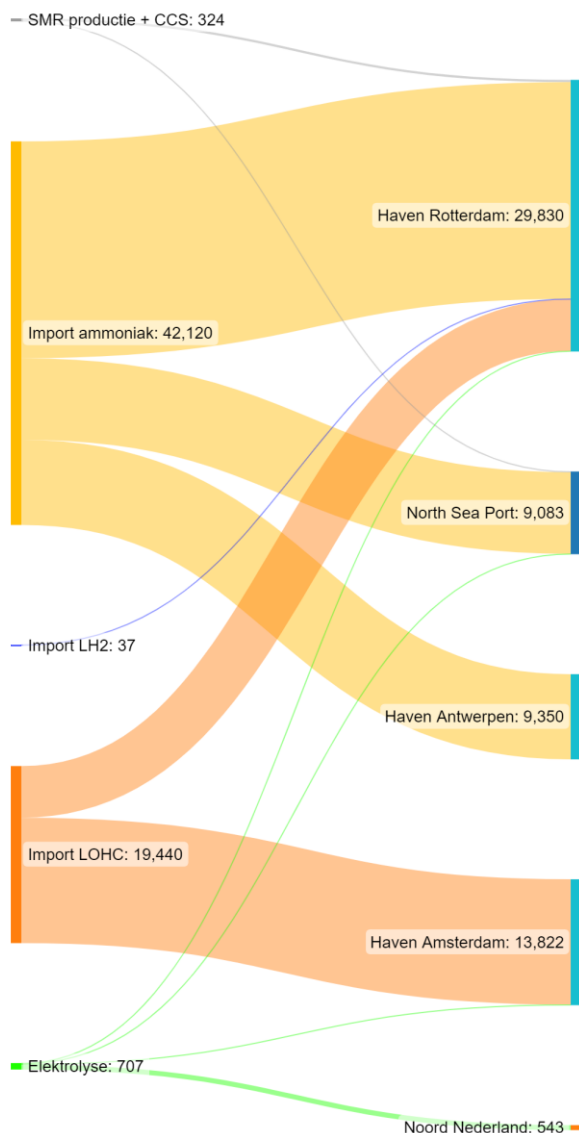


Figuur B3. Vraag en aanbod van RFNBO en koolstofarme waterstof voor variant 3 (in kt H<sub>2,eq</sub>).

Figuur B4 geeft als aanvulling op figuur B3 weer waar naar verwachting de volumes geïmporteerd of geproduceerd worden. Om het figuur herkenbaar te houden ten opzichte van het totaaloverzicht is ook deze uitgedrukt in waterstofequivalenten. In Figuur B5 zijn de totale tonnages van de stoffen weergegeven die geproduceerd of geïmporteerd worden in variant 3. In dit figuur is goed te zien dat voor import van waterstof via een drager, zoals ammoniak of LOHC's, een veelvoud van tonnages geïmporteerd moet worden.



Figuur B4. Import van waterstofdragers en productie van waterstof in variant 3 (in kt H<sub>2,eq</sub>).



Figuur B5. Import van waterstofdragers en productie van waterstof uitgedrukt in kt.

# Bijlage 4. Referenties

- Belgische Federale Overheid (2021). Visie en strategie waterstof.
- Belgische Federale Overheid (2022). Visie en strategie waterstof. Oktober 2022 update.
- Belgische waterstofimportcoalitie (2021). Shipping sun and wind to Belgium is key in climate neutral economy.
- CBS (2022). Energiebalans; aanbod, omzetting en verbruik.  
<https://opendata.cbs.nl/#/CBS/nl/dataset/83140NED/table?ts=1670584815924>.
- CE Delft (2022). 50% green hydrogen for Dutch industry; Analysis of consequences draft RED3.
- Europese Commissie (2021a). Proposal for a directive of the European Parliament and of the Council as regards the promotion of energy from renewable sources. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52021PC0557>.
- Europese Commissie (2021b). Proposal for a regulation of the European Parliament and of the Council on ensuring a level playing fiels for sustainable air transport. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52021PC0561>.
- Europese Commissie (2022). Communication from the Commission to the European Parliament, the European Council, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions: RePowerEU Plan. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM%3A2022%3A230%3AFIN&qid=1653033742483>.
- Europees Parlement (2022). Amendments adopted by the European Parliament on 14 September 2022 on the proposal for a directive of the European Parliament and of the Council as regards the promotion of energy from renewable sources. [https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/TA-9-2022-0317\\_EN.html](https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/TA-9-2022-0317_EN.html).
- Europese Raad (2022). “Persbericht Fit for 55”: Council agrees on higher targets for renewables and energy efficiency. <https://www.consilium.europa.eu/en/press/press-releases/2022/06/27/fit-for-55-council-agrees-on-higher-targets-for-renewables-and-energy-efficiency/>.
- Eurostat (2022). Use of renewables for transport. [https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-datasets/-/nrg\\_ind\\_urtd](https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-datasets/-/nrg_ind_urtd).
- FCHO (2022). Waterstofvraag in Europa in 2020.  
<https://www.fchobservatory.eu/observatory/technology-and-market/hydrogen-demand>.
- H2Future (2021). Deliverable 9.1: Report on exploitation of results for the steel industry in EU28.
- Hydrogen Council en McKinsey and Company. (2022). Hydrogen Insights 2022.
- IEA (2020). The future of hydrogen.
- IEA (2022). Global hydrogen review 2022.
- International Fertilizer Association IFA (2022). World ammonia statistics by region 2009-2020. Beschikbaar op: <https://www.ifastat.org/supply/Nitrogen%20Products/Ammonia>.
- PBL (2022). Klimaat en Energieverkenning 2022. Haalbaarheidsstudie klimaatneutrale paden TSN IJmuiden.
- TNO (2022a). Impact ‘Fit for 55’ voorstel voor herziening RED op de vraag naar groene waterstof in Nederland.
- TNO (2022b). Renewable fuels of Non-Biological Origin (RFNBO) for transport – Exploration of options to fulfil the obligation in the Netherlands.
- TNO (2022c). Extra opgave elektriciteitsvoorziening 2030.
- TNO, Jülich en Dena (2022). Hy3 – Large-Scale Hydrogen Production from Offshore Wind to Decarbonise the Dutch and German Industry.
- Werkgroep extra opgave elektriciteit (2022). Alles uit de kast. Een verkenning naar de opgaven voor het Nederlandse elektriciteitssysteem van 2030.



**Arcadis Nederland B.V**

Piet Mondriaanlaan 26  
3812 GV Amersfoort  
Postbus 220 3800 AE Amersfoort  
088 426 12 61  
[www.arcadis.com](http://www.arcadis.com)

**Berenschot Groep B.V.**

Van Deventerlaan 31-51  
3528 AG Utrecht  
Postbus 8039 3503 RA Utrecht  
030 2 916 916  
[www.berenschot.nl](http://www.berenschot.nl)

**TNO**

Motion Building  
Radarweg 60  
1043 NT Amsterdam  
088 866 23 45  
[www.tno.nl](http://www.tno.nl)