



Ministerie van Klimaat en
Groene Groei

Verdiepingsdocument beoordeling waterstofdragers

Inhoud

| | |
|--|----|
| 1. Inleiding | 3 |
| 2. Onderbouwende onderzoeken: MCA en MKBV | 5 |
| 3. Structuur van de beoordeling | 9 |
| 4. Combinatie variabelen in matrixstructuur | 14 |
| 5. Toelichting op de beoordeling (matrixstructuur) | 18 |
| 6. Toelichting per waterstofdrager | 21 |
| 7. Betekenis per type gebruiksfunctie en locatie | 35 |

1. Inleiding

Dit verdiepingsdocument vormt een bijlage bij de Kamerbrief *Kabinetsvisie omgaan met waterstofdragers* en maakt integraal onderdeel uit van die visie. Hieronder wordt de essentie van de Kamerbrief omschreven, die u in dezelfde vorm ook in de Kamerbrief kan vinden. Voor een goed begrip van de inhoud van de kabinetsvisie adviseren wij u om de Kamerbrief in zijn geheel te lezen voorafgaand aan dit verdiepingsdocument.

De essentie van de visie is dat het kabinet veel ruimte biedt voor de inzet van waterstofdragers bij de energie- en grondstoffentransitie én voor ondersteuning daarvan door de overheid. Dat geldt met name voor de korte termijn. Op de middellange en lange termijn heeft het kabinet de intentie nadrukkelijker keuzes te maken met betrekking tot waterstofdragers, eindgebruik en vervoersmodaliteiten.

Vanuit breed maatschappelijk perspectief ziet het kabinet een belangrijke rol voor vloeibare waterstof en vloeibare organische waterstofdragers (LOHC's¹), in het bijzonder bij conversie naar waterstofgas in de importhaven. Er is ook veel potentie voor methanol en vloeibaar synthetisch methaan (LSM²), mits gebruik wordt gemaakt van duurzame koolstof³.

Het kabinetsstandpunt over ammoniakvervoer uit 2004 is herijkt in het licht van de energie- en grondstoffentransitie. Door dit standpunt te verbreden en te nuanceren ontstaat een vollediger beeld van wat het kabinet wel en niet gewenst vindt. Het kabinet ziet voor ammoniak een duidelijke rol bij het opbouwen van een mondiale markt voor waterstof, maar ziet ook de nadelen van deze waterstofdrager, met name bij de verwachte toename van opslag en vervoer door Nederland. Het kabinet geeft daarom bij ammoniak de voorkeur aan eindgebruik of conversie in de zeehavens en zo ver als mogelijk van bewoond gebied. Doorvoer is toegestaan, mits veilig, en vindt bij voorkeur plaats in geconcentreerde stromen via een buisleiding of binnenvaart. Fijnmazige distributie van ammoniak door Nederland en uitbreiding van doorvoer per spoor of weg is ongewenst, maar niet geheel te vermijden. Zeker zolang een alternatief ontbreekt, laat de visie hier ruimte voor. Het kabinet is positiever over andere waterstofdragers dan over ammoniak, vooral op middellange en lange termijn als er meer waterstofdragers en vervoersmodaliteiten beschikbaar zijn. Hoewel het marktaandeel van die waterstofdragers op termijn mogelijk groter wordt dan dat van ammoniak, zal de markt voor ammoniak die de eerste jaren wordt opgebouwd in absolute zin naar verwachting blijven bestaan.

De keuzes in de Kamerbrief zijn gemaakt op basis van de huidige kennispositie ten aanzien van (markt)ontwikkelingen rondom deze waterstofdragers, en deze kennispositie is ontleend aan diverse onderzoeken die recent zijn uitgevoerd, onder andere in opdracht van de betrokken ministeries. Omdat een toelichting op deze onderbouwende studies, en dan specifiek de maatschappelijke kosten baten vergelijking (MKBV) waterstofdragers die is aangeboden in de [Kamerbrief](#) van 26 april 2024⁴ en de multi-criteria analyse (MCA) *Vergelijking waterstofdragers* die tegelijk met dit document openbaar wordt gemaakt te ver voert voor uitgebreide behandeling in de Kamerbrief zelf, maar dit tegelijkertijd wel een heel wezenlijk onderdeel vormt van het visievormende traject tot nu toe, is er voor gekozen om dit nader uit te werken in een verdiepingsdocument. Dit document schetst hoe de Rijksoverheid is gekomen tot een oordeelsvorming over het omgaan met geïmporteerde waterstofdragers in Nederland.

¹ *Liquid organic hydrogen carrier* (LOHC). Waterstof kan hieraan worden gebonden en op de plaats van bestemming weer worden onttrokken.

² *Liquid synthetic methane* (LSM), soms ook aangeduid als e-LNG of e-methaan.

³ Koolstof uit duurzame biograndstoffen, afgevangen CO₂ (uit de lucht of uit puntbronnen) en recyclaten. De EU Richtlijn hernieuwbare energie stelt voorwaarden aan koolstofgebruik. Duurzame koolstof is potentieel schaars. Het NPE bevat uitgangspunten voor een zo hoogwaardig mogelijke inzet. Vooral bij de inzet van hernieuwbare koolstof – uit biogene bron of afgevangen uit de lucht – zijn op ketenniveau grote CO₂-reducties te bereiken.

⁴ Kamerstuk 32 813, nr. 1385

Over de uitgangspunten in dit verdiepingsdocument

Bij het visievormende traject en de oordeelsvorming van de Rijksoverheid die in dit verdiepingsdocument is uitgewerkt, zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- Maximale transparantie over het denkproces via een gedegen afstemmingsproces met stakeholders.
- Beoordeling op de publieke belangen zoals geformuleerd in het Nationaal Plan Energiesysteem (NPE): betaalbaar, economisch krachtig, betrouwbaar, veilig, duurzaam, rechtvaardig, participatief, ruimte en milieu. Aanvullend daarop is gekeken naar de mate waarin toeleveringsketens van waterstofdragers adaptief zijn en daarmee de kans op desinvesteringen of lock-ins versterken of juist voorkomen.
- Aansluiting op de uitkomsten van meerdere onderzoeken. De belangrijkste daarvan voor de visie zijn de MKBV en de MCA.
- De inzet op gasvormige waterstof is al vastgesteld in het NPE. Aangenomen is dat een landelijk waterstoftransportnetwerk gerealiseerd zal worden en dat het waterstofgas, indien de waterstofdrager naar waterstofgas wordt geconverteerd, kan worden ingevoerd in dit landelijke waterstoftransportnetwerk.
- In deze visie wordt uitgegaan van een groene “kleur” van de waterstofdrager, waarmee bedoeld wordt dat de waterstof uit hernieuwbare energie is geproduceerd. Andere kleuren (grijs, blauw, paars) kunnen invloed hebben op de publieke belangen.⁵ Hiermee kan mogelijk ook de waardering van de waterstofdragers wijzigen.
- Alle beschouwde stoffen worden – voor de eenvoud – aangeduid met de term waterstofdrager, hoewel het in strikte zin niet altijd om ‘dragers’ van waterstof gaat, maar bijvoorbeeld ook om gekoeld vloeibare waterstof en direct inzetbare waterstofderivaten.

Het doel en de scope van de onderzoeken zijn beschreven in de betreffende rapportages, evenals een gedetailleerde onderbouwing van de resultaten. Doel en scope van de visie zijn beschreven in de eerder genoemde Kamerbrief *Kabinetsvisie omgaan met waterstofdragers*.

Leeswijzer

Dit document geeft een beeld van de wijze waarop de ministeries van Infrastructuur en Waterstaat (IenW) en Klimaat en Groene Groei (KGG):

1. de veelheid en veelzijdigheid aan informatie over waterstofdragers voor de visievorming hebben gestructureerd;
2. zijn gekomen tot een beoordeling van de verschillende waterstofdragers en de argumentatie die daar aan ten grondslag ligt.

In **Hoofdstuk 2** wordt ingegaan op de MCA (methode, belangrijkste uitkomsten, relatie met andere onderzoeken) die samen met de MKBV een belangrijke bouwsteen is voor de beoordeling van waterstofdragers.

In **Hoofdstuk 3** wordt toegelicht via welke structuur de beoordeling van waterstofdragers in combinatie met gebruiksvormen en locaties van eindgebruik tot stand is gekomen.

In **Hoofdstuk 4** wordt het resultaat getoond van de beoordeling in de vorm van een matrixstructuur.

Hoofdstuk 5 biedt een toelichting op de beoordeling in de matrixstructuur en de voorkeuren daarin.

In **Hoofdstuk 6** is te zien op basis van welke argumentatie – algemeen én specifiek per waterstofdrager – de beoordelingen tot stand zijn gekomen.

Hoofdstuk 7 schetst tot slot de betekenis van de visie per gebruiksfunctie en locatie.

⁵ Grijs: op basis van fossiele bron; blauw: fossiele bron met afvang en opslag van CO₂; paars: met kernenergie.

2. Onderbouwende onderzoeken: MCA en MKBV

Afgelopen jaar is in opdracht van het ministerie van Klimaat en Groene Groei een multi-criteria analyse (MCA) Vergelijking waterstofdragers uitgevoerd waarin ketens van diverse waterstofdragers zijn beoordeeld op de publieke belangen uit het NPE, zoals eerder genoemd in het inleidende hoofdstuk. De MCA vormt samen met onder meer de MKBV een belangrijke bouwsteen voor de kabinetsvisie. Hieronder wordt ingegaan op de methode en belangrijkste uitkomsten van de MCA. Ook worden de hoofdpunten van de MKBV zoals eerder gedeeld met de Kamer, voor de volledigheid herhaald. Daarnaast wordt ingegaan op de relatie met enkele andere relevante onderzoeken.

Methode MCA

In de MCA is gekeken naar waterstofdragers waarover op dit moment de meeste informatie beschikbaar is. Dit zijn: gekoeld vloeibare waterstof (liquid hydrogen, LH₂), ammoniak, vloeibare organische waterstofdragers (liquid organic hydrogen carriers, LOHC's), methanol en gekoeld vloeibaar synthetisch methaan (liquid synthetic methane, LSM⁶). Daarnaast is natriumboorhydride (NaBH₄) meegenomen in de MCA. De technologie voor deze waterstofdrager is nog in ontwikkeling.

In het onderzoek is uitgegaan van een representatief tracé van een haven in Nederland naar een eindgebruiker 200 km verderop in het achterland met een relatief grote waterstofvraag. Aangenomen is dat de waterstofdragers worden geproduceerd in Marokko en per schip naar Nederland worden gebracht. Voor binnenlands vervoer is gekeken naar de modaliteiten weg, spoor, binnenvaart en buisleiding. In varianten is ook gekeken naar eindgebruik in de haven zelf en naar doorvoer naar Duitsland. Tevens is gekeken naar verschillende vormen van eindgebruik en naar eindgebruikers met een waterstofvraag van geringere omvang. Qua tijdshorizon is uitgegaan van 2030 / 2035 en 2050.

De ketens zijn beoordeeld op de publieke belangen uit het NPE aangevuld met het belang "adaptief". Hierover meer in Hoofdstuk 3. Deze belangen zijn geoperationaliseerd in indicatoren. Voor de scores op de indicatoren is zoveel mogelijk gebruik gemaakt van data uit bestaande onderzoeken. Waar er geen of onvoldoende data voor handen waren, zijn scores bepaald via expertsessies. De scores per publiek belang zijn samengevoegd tot een eindscore per leveringsketen door deze te combineren met weegfactoren.

De weegfactoren in de MCA zijn bepaald op basis van de inbreng door een representatieve groep van belanghebbenden. Deze groep geeft de publieke belangen Veilig (29,3%), Duurzaam (23,6%), Milieu (11,3%) en Betaalbaar (9,5%) het zwaarste gewicht. Deze weging is toegepast in de MCA. Daarnaast is via gevoeligheidsanalyses bekeken hoe de totaalscores eruit zouden zien als alternatieve wegingen van de publieke belangen worden gehanteerd.

⁶ Soms ook aangeduid als e-LNG of als e-methaan (indien gasvormig).

Uitkomsten MCA

Bij eindgebruik van waterstof zijn de hoogst scorende ketens die van LH₂ en LOHC's met conversie naar waterstofgas in de haven en vervoer via het waterstofnetwerk. Bij eindgebruik van de waterstofdrager (direct gebruik, zonder conversie naar waterstofgas) hebben de ketens met methanol en LSM (vervoerd als methaangas via het aardgasnet) de hoogste scores. Hierbij dient te worden opgemerkt dat het per eindgebruiker verschilt in hoeverre direct gebruik van een bepaalde stof tot de mogelijkheden behoort. Ammoniak scoort in zijn totaliteit lager dan andere waterstofdragers door de zwaar gewogen publieke belangen Veilig en Milieu. Ammoniakketens scoren het hoogst bij direct gebruik (in de haven of met doorvoer per buis) en bij centrale conversie naar waterstofgas in de haven gecombineerd met doorvoer via het landelijke waterstofnetwerk.

Bij de ketens met eindgebruik van waterstof is er een voordeel voor centrale conversie in de haven boven decentrale conversie in het binnenland. Voor de vervoersmodaliteiten is er een licht voordeel voor het landelijke waterstofnetwerk. Behalve op de publieke belangen Veilig, Betrouwbaar en Toegankelijk heeft de vervoersmodaliteit beperkt onderscheidend vermogen tussen de verschillende waterstofdragers. De gunstige score voor locatie (haven) en modaliteit (buisleiding) is in belangrijke mate een gevolg van de geringere vervoersemissies en een lager risico bij omgevingsveiligheid. Dat laatste punt werkt vooral sterk door bij een buisleiding voor ammoniak, als gevolg van de zware weging van het publieke belang Veilig en de relatief lage score op dat vlak voor ammoniakvervoer via de modaliteiten weg en spoor.

De verschillen tussen de hoogst scorende ketens zijn klein. Bepalende factoren zijn de kenmerken van de waterstofdrager zelf en de importkosten⁷. Ook bepalend is of er conversie in de keten nodig is. Als direct eindgebruik van de waterstofdrager mogelijk is, dan is dat in algemene zin gunstiger omdat kosten en energiegebruik van een conversiestap worden voorkomen.

Uitkomsten gevoeligheidsanalyses

In het onderzoek zijn verschillende gevoeligheidsanalyses gedaan. De toegepaste weging van de publieke belangen blijkt sterk bepalend voor de uitkomsten. Daarom is er ook gekeken naar alternatieve wegingen. Bij een aangepaste weging waarin het publieke belang Betaalbaar zwaarder meetelt (verdubbeld) en de publieke belangen Veilig en Duurzaam minder zwaar meetellen (ongeveer gehalveerd), hoort ammoniak bij de hoogst scorende alternatieven. Ammoniak met conversie naar waterstofgas in de haven of met doorvoer per buisleiding ten behoeve van decentrale conversie krijgt zelfs de hoogste score bij het eindgebruik van waterstof. Bij een gelijke weging (alle belangen even zwaar meegeteld) heeft methanol met doorvoer over de weg de hoogste score bij eindgebruik van waterstof en heeft LSM met doorvoer via het aardgasnet de hoogste score bij direct eindgebruik van de drager.

Verder blijken de aannames over koolstof een belangrijke rol te spelen. In de basisvariant voor 2030 / 2035 is uitgegaan van gebruik van uit industrie afgevangen CO₂ als grondstof voor methanol en LSM. Gekeken is ook naar een alternatieve bron van de koolstof bij de productie van methanol en LSM (gevoeligheidsanalyse tijdshorizon 2050: CO₂ op basis van DAC⁸ in plaats van CCU⁹) en naar CO₂-afvang bij de conversie naar waterstofgas van beide waterstofdragers (gevoeligheidsanalyse inclusief CCS¹⁰). In beide gevoeligheidsanalyses vermindert de CO₂-uitstoot in de keten en verbetert de score van deze waterstofdragers op het zwaar gewogen publieke belang Duurzaam. Dit leidt tot substantieel hogere totaalscores voor methanol en LSM. De methanolketen met conversie in de haven en vervoer via het waterstofnetwerk krijgt in deze analyses een even hoge score als dezelfde keten op basis van LH₂. Bij decentrale conversie – dus met

⁷ In het geval van ammoniak, methanol en LSM wordt er in de studie van uitgegaan dat de waterstofdrager zelf wordt gebruikt als energiebron voor de conversie naar waterstofgas. In dat geval is er extra import nodig om een zelfde hoeveelheid waterstofequivalenten bij de eindgebruiker te krijgen. Dit verhoogt de kosten en externe effecten van die ketens.

⁸ Uit de lucht halen van CO₂: *direct air capture*, DAC.

⁹ Afvang van CO₂ uit fossiele puntbronnen ("schoorstenen") met als doel deze te hergebruiken: *carbon capture and utilization*, CCU.

¹⁰ Afvang van CO₂ uit puntbronnen met als doel deze ondergronds op te slaan: *Carbon capture and storage*, CCS.

vervoer binnen Nederland in de vorm van de waterstofdrager – scoren de ketens op basis van methanol het hoogste (hoger dan die op basis van LH₂). Ook ketens op basis van LSM krijgen met een duurzame koolstofbron of CCS een relatief hoge score, kort achter die van methanol en LH₂.

Maatschappelijke Kosten Baten Vergelijking (MKBV)

Hieronder is de samenvatting van de hoofdpunten van de MKBV uit de kamerbrief nog eens opgenomen.

Onderzoeksbevindingen

In de MKBV-studie zijn ketens onderling vergeleken op hun maatschappelijke kosten en baten. Deze ketens verschillen in waterstofdrager (ammoniak of LOHC's) en in transportmodaliteit (spoor/schip of buizen). LOHC's en ammoniak zijn de dragers die uit eerder onderzoek in de zogenoemde ketenstudie en volumestudie naar boven kwamen als technisch meest volwassen en aannemelijke waterstofdragers en die daardoor geschikt waren om een gedegen vergelijking mee te maken. De alternatieve ketens zijn vergeleken met een 'referentiealternatief'. Hiervoor is door de onderzoekers de situatie gehanteerd die zich momenteel lijkt af te tekenen als ontwikkeling in de markt zonder dat hierbij aanvullend rijksbeleid wordt gevoerd. Deze situatie wordt gekenmerkt door transport van ammoniak over water en spoor.

De beschouwde alternatieve ketens zijn door de onderzoekers getypeerd als:

- Ammoniak rechtstreeks vervoeren naar eindgebruikers via buisleidingen (onder druk, niet gekoeld)
- Ammoniak kraken in de haven en waterstofgas vervoeren door (aardgas)buisleidingen
- LOHC's rechtstreeks vervoeren naar eindgebruikers via binnenvaart en spoor
- LOHC's kraken in de haven en waterstofgas vervoeren door (aardgas)buisleidingen

In het onderzoek zijn de maatschappelijke kosten en baten van alle alternatieven zoveel als mogelijk gemonetariseerd en vergeleken met het referentiealternatief. Het resultaat van deze vergelijking is dat alle alternatieve ketens positiever scoren dan de referentiesituatie, waarbij LOHC's "kraken" in de haven en vervoeren als waterstofgas door buisleidingen het meest positieve saldo kent. De verschillen tussen de alternatieven zijn echter klein; uitgedrukt in kosten per kilo waterstof bedraagt het verschil maximaal zo'n 11 eurocent (dat is hooguit enkele procenten van de huidige kostprijs).

Uit de studie blijkt - op de gemonetariseerde aspecten - dus geen duidelijke voorkeur voor één van de beschouwde ketens. Wel blijkt uit de analyse dat de alternatieven zich met name op twee punten van elkaar onderscheiden. Dat zijn primair de economische kosten, met de importkosten van de drager en de conversie-efficiëntie (bij omzetting van de dragers naar waterstofgas) als belangrijkste component. Het onderscheid op dit punt ontstaat doordat zowel het energieverlies bij de conversie is meegenomen als de extra import die nodig is om daarvoor te compenseren. Het tweede punt van onderscheid vormen de vervoeremissies. Deze worden vermeden wanneer gebruik gemaakt wordt van een buisleiding. Dit speelt extra bij LOHC's, waarbij er ook een retourstroom is. Per saldo leiden deze twee punten echter niet tot grote verschillen in de totale maatschappelijke kosten en baten.

In de MKBV is ook een aantal zaken op kwalitatieve wijze beschreven, omdat deze niet goed of niet volledig gemonetariseerd kunnen worden en daarom niet tot uitdrukking komen in de financiële scores. Voorbeelden hiervan zijn de gevolgen van een ernstig incident, veiligheidsbeleving, veiligheidsmaatregelen en brede welvaart. In het onderzoek zijn deze meer kwalitatief geduid. Voor een integrale vergelijking is het goed meewegen van deze factoren belangrijk.

Met betrekking tot de transportmodaliteiten toont het onderzoek dat de inzet van buisleidingen bijdraagt aan het reduceren van vervoeremissies en transportkosten (geluids-, trillings- en emissiekosten). Realisatie van buisleidingen heeft potentieel ook een positief effect op de internationale concurrentiepositie van Nederland, met wel een risico op 'stranded assets', indien marktontwikkelingen anders lopen dan nu voorzien. Bij buisleidingen voor ammoniak is een veilig ontwerp een belangrijk aandachtspunt. De studie stelt dat het effect bij een eventueel incident bijzonder groot kan zijn en de bestrijdbaarheid beperkt is.

Gevoeligheidsanalyses

Onvermijdelijk zijn in de MKBV veel aannames gebruikt die invloed hebben op de uitkomst. Om de impact van de aannames te toetsen zijn gevoeligheidsanalyses uitgevoerd. Hieruit is gebleken dat er twee parameters zijn waarbij variaties in de aannames het meest impact hebben op de resultaten. Dat zijn primair de kostprijs van de dragers ammoniak en LOHC's (voor welke prijs zijn die te verkrijgen) en daarnaast de monitorings- en veiligheidskosten (kosten voor hulpdiensten bij transport van ammoniak).

Relatie met andere onderzoeken

Voorafgaand aan de MCA en MKBV¹¹ is in opdracht van het kabinet onderzoek gedaan naar de omgevingsveiligheid van waterstofdragers¹² en hun te verwachten volumes aan import en doorvoer¹³. Deze studies lieten reeds zien dat een aanzienlijk deel van de geïmporteerde waterstofdragers zonder conversie naar waterstofgas door Nederland zal worden vervoerd en tot welke aandachtspunten dat leidt in relatie tot de omgevingsveiligheid. Deze rapporten geven de prognose dat – in ieder geval in de eerste jaren van de marktopschaling – ammoniak de dominante waterstofdrager zal zijn.

Daarnaast heeft het Joint Research Centre (JRC) van de Europese Commissie de afgelopen tijd twee onderzoeksrapporten uitgebracht naar de kosten¹⁴ respectievelijk de milieu-impact¹⁵ van verschillende importketens van waterstof en waterstofdragers. We noemen deze studies expliciet, omdat in de MCA op onderdelen gebruik is gemaakt van data uit deze studies¹⁶. De studies van JRC betreffen een kleinere groep waterstofdragers dan de MCA en de opbouw van de ketens verschilt ook. Volgens JRC geven import van vloeibare waterstof per schip en de import van waterstofgas per buisleiding de hoogste scores – zowel op kosten- als op milieu-impact – omdat kosten en energie- en materiaalgebruik voor de conversiestappen op de productie- en gebruikslocatie worden vermeden.

De verschillende rapporten, inclusief de MKBV en MCA, geven inzicht in verschillen tussen ketens van waterstofdragers op de publieke belangen. In dit stadium van marktontwikkeling wil het kabinet voorzichtig zijn met het hieraan verbinden van beleidsconclusies. De verschillen tussen de hoogst scorende ketens zijn klein en ook zijn de scores gevoelig voor aannames. Daarom is het verstandig om de vergelijking van waterstofdragers over enkele jaren te herhalen op basis van de laatste inzichten.

¹¹ Rapport studie Maatschappelijke Kosten en Baten Vergelijking Waterstofdragers (2024), Kamerstuk 32813, nr. 1385

¹² Rapportage ketenstudie omgevingsveiligheid van duurzame waterstofrijke energiedragers (2021), Kamerstuk 32813, nr. 938

¹³ Rapport studie omgevingsveiligheid toekomstige stromen waterstofrijke energiedragers (2023), Kamerstuk 32813, nr. 1192

¹⁴ Assessment of hydrogen delivery options (2022): <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC130442>

¹⁵ Environmental life cycle assessment (LCA) comparison of hydrogen delivery options within Europe (2024): <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC137953>

¹⁶ In de MCA is een gevoeligheidsstudie uitgevoerd met alternatieve aannames over kosten. Hierbij is gebruik gemaakt van het hoge kostenscenario van de JRC (2022). Een deel van uitkomsten van de JRC (2024) is gebruikt voor de vergelijkingen tussen waterstofdragers op het gebied van milieu- en klimaatemissies. Niet alle door de JRC beschreven emissies en milieueffecten zijn meegewogen in de MCA. De JRC beschouwt bovendien alleen het eindgebruik van waterstof en kijkt in tegenstelling tot de MCA niet naar direct eindgebruik van de drager, zonder conversie naar waterstof.

3. Structuur van de beoordeling

Differentiatie en criteria

Voor de visievorming is onderscheid gemaakt tussen 1) de variabelen om de verschillende toepassingsvormen van waterstofdragers te differentiëren en 2) de criteria die gebruikt zijn om de waterstofdragers te beoordelen. Met de variabelen die gebruikt zijn om de verschillende toepassingsvormen van waterstofdragers te onderscheiden is de matrixstructuur tot stand gekomen, die in hoofdstuk 4 wordt uitgewerkt. De criteria voor beoordeling zijn gebruikt om te komen tot de invulling van de matrixstructuur en de scores van de verschillende waterstofdragers in de diverse toepassingen.

Voor de differentiatie zijn de volgende variabelen gehanteerd:

- Verschillende gebruiksvormen
- Meerdere typen eindgebruik (sectoren)
- Volume vraag waterstof(drager)
- Verschillende geografische locaties voor activiteiten
- Tijdshorizonten

Voor de criteria zijn de volgende variabelen gebruikt:

- De publieke belangen (uit het NPE)
- Vervoersmodaliteiten
- Beschikbaarheid van alternatieven
- Bestaande beleidsuitgangspunten

Beschouwde waterstofdragers

Verscheidene vormen van waterstof en waterstofdragers worden momenteel ontwikkeld of onderzocht, om te worden ingezet bij de energie- en grondstoffentransitie. Niet al deze vormen zijn in dezelfde fase van technologische ontwikkeling (TRL – Technological Readiness Level). Hoe hoger de TRL, hoe verder gevorderd het project of product is in de ontwikkeling voor de commerciële markt. Voor de visievorming zijn vooral waterstofdragers gekozen met een hoge TRL. Waterstofdragers met een lagere TRL hebben niet altijd al een mogelijk commerciële inzet in de jaren tot 2030 / 2035. Op grond van dit criterium zijn zeven waterstofdragers geselecteerd, waarbij ook onderscheid is gemaakt of voor eindgebruik conversie naar waterstofgas nodig is, of dat de drager rechtstreeks wordt ingezet (zie figuur 1). De verwachting is dat er op termijn meer waterstofdragers op de markt komen. In het NPE, dat minimaal eens in de vijf jaar wordt herzien, zullen de nieuwe ontwikkelingen op het gebied van waterstofdragers worden meegenomen.

| Eindgebruik is waterstofgas | Eindgebruik is waterstofdrager (direct gebruik van de drager) |
|---|---|
| 1. Gekoeld vloeibaar gemaakte waterstof | 1. Gekoeld vloeibaar gemaakte waterstof |
| 2. Ammoniak | 2. Ammoniak |
| 3. Methanol | 3. Methanol |
| 4. Liquid synthetic methane (LSM) | 4. Liquid synthetic methane (LSM) |
| 5. Methylcyclohexaan (MCH - een liquid organic hydrogen carrier (LOHC)) | |
| 6. Dibenzyltolueen (DBT - een liquid organic hydrogen carrier (LOHC)) | |
| 7. Natriumboorhydride | |

Figuur 1: Geselecteerde waterstofdragers en verschillende gebruiksvormen

Uitwerking differentiatie waterstofdragers

Zoals hiervoor is vermeld zijn bij de differentiatie de volgende variabelen gehanteerd: 1) de vorm van eindgebruik: drager/waterstofgas, 2) de sector van eindgebruik, 3) het geschatte volume aan waterstof(drager)vraag, 4) de locatie van het eindgebruik, en 5) de tijdshorizonten. Deze worden hieronder kort uitgewerkt en toegelicht.

1. Verschillende gebruiksvormen

In de visie wordt onderscheid gemaakt tussen het gebruik van waterstofgas (na conversie van de waterstofdrager) en het direct gebruik van de waterstofdrager. Ook het onderscheid tussen gebruik als brandstof of als grondstof is bij de visievorming expliciet meegewogen, omdat dit in belangrijke mate bepaalt hoeveel flexibiliteit de eindgebruiker heeft om te kiezen voor een andere waterstofdrager en/of modaliteit. Het eindgebruik zelf is buiten de scope van deze visie gehouden, omdat hiervoor al beleid bestaat.

Voorbeeld

Een bedrijf dat kunstmest produceert, heeft ammoniak nodig als grondstof en is dus het meest geholpen met rechtstreekse toelevering van ammoniak. Een partij die ammoniak wil gebruiken als brandstof, zou ook kunnen kiezen om een van de andere waterstofdragers of waterstofgas te gebruiken. Bij eindgebruik van waterstof als brandstof kunnen in principe alle waterstofdragers worden omgezet naar waterstofgas. De genoemde verschillen in flexibiliteit zijn meegewogen in de beoordeling van waterstofdragers in relatie tot hun eindgebruik.

2. Meerdere typen eindgebruik (sectoren)

De visie richt zich met name op drie typen van eindgebruik: industrie, elektriciteitsopwekking en mobiliteit. De verwachting is dat deze sectoren verantwoordelijk zullen zijn voor het grootste deel van de vraag naar waterstofdragers, zoals ook geschetst in het NPE. Zoals hiervoor benoemd valt dit eindgebruik zelf niet binnen de scope van de visie. De keuzes die worden gemaakt bij het eindgebruik dragen wel bij aan de realisatie van de visie in de praktijk. Een andere belangrijke categorie van 'eindgebruik' is de doorvoer naar het buitenland (vooral Duitsland). Daarbij is de aard van het eindgebruik veelal niet bekend. Daarom kan daarop minder goed worden gestuurd (ondanks dat dit vanuit de publieke belangen bezien wenselijk zou kunnen zijn).

3. Volume vraag waterstof(drager)

De verschillende beschikbare studies (nationaal en internationaal) naar de vraag en het aanbod van waterstofdragers tonen sterk uiteenlopende inschattingen. Dat is te verklaren uit het feit dat ze allemaal gebaseerd zijn op onzekere aannames die ook wijzigen in de tijd. Verder hebben alle vervoersmodaliteiten een verschillende capaciteit en is niet elke modaliteit geschikt voor iedere waterstofdrager.

Voor verschillende toepassingsgebieden van waterstof of van waterstofdragers is in de matrixstructuur een indicatie opgenomen of het gaat om kleine, middelgrote of grote stromen. Deze stromen zijn gelabeld met S (small, <50 kton H₂-equivalent), M (medium, 50-150 kton H₂-equivalent) en L (large, >150 kton H₂-equivalent).^{17,18} Dit geeft een indruk van de onderlinge verhoudingen tussen de onderscheiden stromen, op basis van scenarioverwachtingen voor 2030. De volumes en grenzen van deze stromen komen voort uit inschattingen gebaseerd op het middenscenario van de studie Omgevingsveiligheid van toekomstige stromen waterstofrijke energiedragers uit 2023 door Arcadis, Berenschot en TNO.

4. Verschillende geografische locaties voor activiteiten

Voor de beoordeling van onder meer de maatschappelijke baten en kosten maakt het uit waar een activiteit plaatsvindt en of hiervoor vervoer en op- en overslag in het binnenland nodig is. In de analyse is daarom onderscheid gemaakt tussen drie hoofdtypen locaties voor (eventuele) conversie en eindgebruik, te weten:

1. in de importhaven;
2. elders in Nederland;
3. over de grens (doorvoer naar Noordwest Europa, met name Duitsland).

5. Tijdshorizonten

In de MCA is gekeken naar de periode tot circa 2030 / 2035 en tot omstreeks 2050. In de visie zijn deze twee perioden ook gehanteerd. In dit verdiepingsdocument is daarbij wel een vertaalslag gemaakt door niet per se te sturen op de genoemde jaartallen maar eerder op het al dan niet tijdig kunnen realiseren van bepaalde randvoorwaarden, op basis waarvan de waterstofdragers beoordeeld kunnen worden. In de matrixstructuur is dit te zien bij de cellen waar twee kleuren in elkaar overlopen.

¹⁷ Het waterstofgehalte van de dragers verschilt. Om eenzelfde hoeveelheid waterstof te verplaatsen zijn daarom verschillende volumes waterstofdrager nodig. Om de stromen vergelijkbaar te maken wordt gerekend met waterstof-equivalente eenheden.

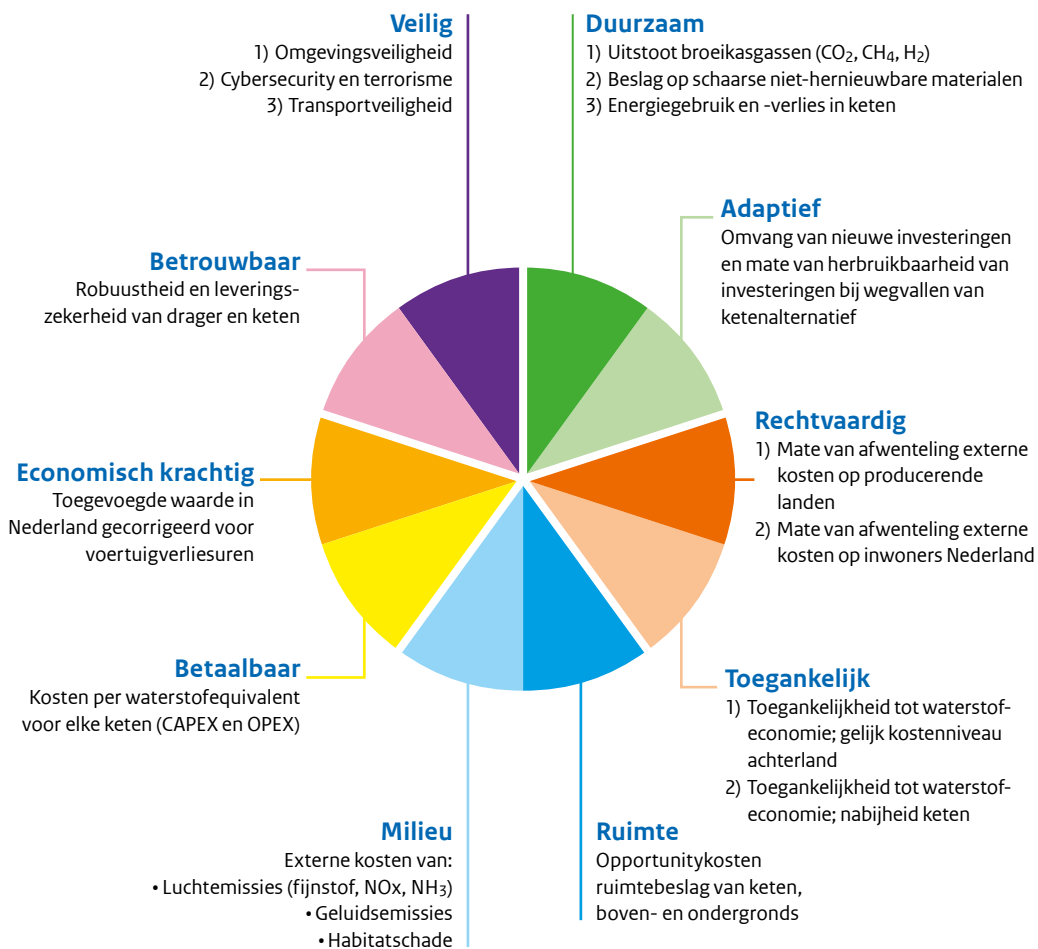
¹⁸ In de matrixstructuur is bij enkele eindgebruiksfuncties de aanduiding 'S' is opgenomen terwijl de huidige inschatting van verwachte stromen daar nihil (dus 0) is, omdat de toepassing op zich wel denkbaar is, ook al zijn daarvoor momenteel nog geen concrete plannen bekend. Dit betreft met name het direct gebruik van waterstofdragers voor elektriciteitsopwekking in de haven of elders in Nederland.

Uitwerking criteria voor beoordeling

De invulling van de cellen in de matrixstructuur, ook wel de score of kleur genoemd, is afhankelijk van meerdere criteria. Zoals eerder aangegeven zijn in de analyse de volgende criteria gebruikt: 1) score op de publieke belangen uit het NPE, 2) de vervoersmodaliteiten, 3) de beschikbaarheid van alternatieve waterstofdragers, en 4) de bestaande beleidsuitgangspunten. Deze worden hieronder kort uitgewerkt en toegelicht.

1. De publieke belangen

De MKBV en MCA-studie beschouwen de maatschappelijke voor- en nadelen van verschillende ketens van gebruik, conversie, op- en overslag en doorvoer van waterstofdragers in Nederland, in de periode tot omstreeks 2050. Vertrekpunt bij de analyses in de MCA zijn de negen publieke belangen zoals genoemd in het NPE, aangevuld met het belang “adaptief”. Deze tien publieke belangen zijn door de onderzoekers geoperationaliseerd om de verschillende waterstofdragers daarop te kunnen vergelijken. Figuur 2 geeft schematisch de operationalisering van de tien publieke belangen weer. Meer informatie hierover is terug te vinden in de rapportage van de MCA. In de visievorming is iedere combinatie van waterstofdrager en eindgebruik beoordeeld op deze tien publieke belangen op basis van de uitkomsten van MCA en MKBV.



Figuur 2: Operationalisering van de tien in de MCA gebruikte publieke belangen

2. Vervoersmodaliteiten

De vervoersmodaliteiten die in de analyse worden onderscheiden, zijn buisleidingen, binnenvaart, spoor en weg. Niet alle modaliteiten zijn inzetbaar voor alle te vervoeren stoffen. Zo zijn er technische beperkingen om bijvoorbeeld gekoeld vloeibaar gemaakt ammoniak over grote afstanden door buisleidingen te transporteren. Er zijn ook meer formele beperkingen vanuit de internationale regelgeving voor het vervoer van gevaarlijke stoffen, zoals bijvoorbeeld het verbod om bepaalde gevaarlijke stoffen per specifieke modaliteit te vervoeren. De in te zetten modaliteit (buisleiding, binnenvaart, spoor of weg) is in de praktijk sterk afhankelijk van de bestemming en het te vervoeren volume.

Het is de verwachting dat de beschikbaarheid van de modaliteiten in de loop van de tijd zal veranderen. Te denken valt aan het beschikbaar komen van buisleidingen zoals het landelijke waterstoftransportnetwerk of de Delta Rhine Corridor, en zeeschepen voor LH₂ die naar verwachting pas op langere termijn op voldoende schaal beschikbaar zijn. De voorkeursvolgorde van de modaliteiten kan verschillen per waterstofdrager. Voor de beoordeling betekent dit dat de score hoger is voor waterstofdragers die vervoerd worden via een preferente modaliteit. Soms zijn in de matrixstructuur icoontjes toegevoegd die met betrekking tot de modaliteit een (soms tijdelijke) specifieke voorkeur aanduiden.

3. Beschikbaarheid alternatieven

Een andere variabele is de beschikbaarheid van alternatieve waterstofdragers. Op langere termijn zijn meer verschillende waterstofdragers beschikbaar. Hierdoor kan een score ook in de tijd veranderen, omdat er dan meer alternatieve waterstofdragers beschikbaar zijn. In de matrixstructuur is een score die in de tijd verandert te herkennen aan een kleurovergang.

4. Bestaande beleidsuitgangspunten

In de analyse is tot slot ook rekening gehouden met bestaande beleidsuitgangspunten van de betrokken departementen. Het gaat daarbij met name om de wens dat Nederland energiehub blijft zoals gedefinieerd in het NPE, om de uitgangspunten voor een veilige en gezonde energie- en grondstoffentransitie¹⁹, om de inzet op diversificatie van waterstofdragers²⁰ en om de centrale principes van de Nationale Omgevingsvisie (NOVI) ten aanzien van ruimte(gebruik) en het voorontwerp Nota Ruimte. Voor de vervoersmodaliteiten geldt ook een voorkeursvolgorde als uitgangspunt voor deze visie.

¹⁹ [Kamerstuk 32 813, nr. 1113 Verantwoord omgaan met veiligheid en gezondheid in de energietransitie](#)

²⁰ [Kamerstuk 29 023, nr. 431](#)

4. Combinatie variabelen in matrixstructuur

Om de beoordeling op bovengenoemde variabelen op een samenhangende manier in beeld te brengen is een matrixstructuur gehanteerd: in dit geval een tabel met kleuren. In deze matrixstructuur wordt per combinatie van waterstofdrager (kolom) en functie (rij) weergegeven hoe daar naar gekeken wordt binnen de Kabinetsvisie. Met functie wordt de combinatie bedoeld van een type eindgebruik en een gebruikslocatie. De diverse functies die zijn onderscheiden staan in figuur 3.

| Eindgebruik van waterstofgas | Eindgebruik van drager (direct gebruik) |
|--|--|
| Grondstof industrie | Grondstof industrie |
| Conversie in de haven | Eindgebruik in de haven |
| Conversie elders in Nederland | Eindgebruik elders in Nederland |
| Conversie in Duitsland | Eindgebruik in Duitsland |
| Brandstof industrie | Brandstof industrie |
| Conversie in de haven | Eindgebruik in de haven |
| Conversie elders in Nederland | Eindgebruik elders in Nederland |
| Conversie in Duitsland | Eindgebruik in Duitsland |
| Brandstof elektriciteitsopwekking | Brandstof Elektriciteitsopwekking |
| Conversie in de haven | Eindgebruik in de haven |
| Conversie elders in Nederland | Eindgebruik elders in Nederland |
| Conversie in Duitsland | Eindgebruik in Duitsland |
| Brandstof mobiliteit | Brandstof mobiliteit (bunkerfuels) |
| Conversie in de haven | Eindgebruik in de haven (zeevaart) |
| Conversie elders in Nederland | Eindgebruik in de haven (binnenvaart) |
| | Eindgebruik elders in Nederland (binnenvaart + luchtvaart) |
| | Brandstof mobiliteit (wegvervoer) |
| | Eindgebruik elders in Nederland |

Figuur 3: Functies (gebruiksvorm en locatie) van waterstofdrager onderverdeeld naar eindgebruik als waterstofgas of als waterstofdragers

In de beoordeling zijn de verschillende publieke belangen, vervoersmodaliteiten, gebruikte hoeveelheden en tijdshorizonten meegewogen. Hierbij zijn onder meer de uitgevoerde onderzoeken (MKBV en MCA) en de gevoerde gesprekken met en ontvangen input van belanghebbenden meegenomen. De matrixstructuur is niet opgesteld of uitgesplitst per publiek belang, maar deze belangen bepalen wel in belangrijke mate de kleuren van de cellen in de matrixstructuur.

Toelichting legenda matrixstructuur

De gebruikte kleuren

De matrixstructuur bevat kleuren (zie de legenda in Tabel 1) om aan te geven hoe het Kabinet – vanuit breed maatschappelijk perspectief – kijkt naar de verschillende waterstofdragers in relatie tot de diverse onderscheiden ‘functies’. De kleuren variëren van groen (meest positieve beoordeling) tot rood (meest negatieve beoordeling). Daarbij gaat het in de matrixstructuur om de ‘wenselijkheid’ van combinaties van waterstofdragers en toepassingen en in het bijzonder de mate waarin daarbij vanuit de visie ruimte bestaat voor ondersteuning door de Rijksoverheid (of andere partijen) of dat wordt geopteerd voor ontmoediging (waar mogelijk). Het instrumentarium om hierop te sturen zal worden uitgewerkt in het vervolgproces na deze visie.

Groen (stimuleren) betekent dat het past binnen de kaders van deze visie wanneer de overheid (of een andere partij) hiervoor geld of niet-financiële steun ter beschikking wil stellen. Geel (faciliteren) betekent dat indien een overheid zich hiervoor actief wil inspannen in de vorm van aanpassing van wet- en regelgeving of bijvoorbeeld ruimtelijke procedures, dit past binnen de kaders van deze visie. Oranje (accepteren) betekent dat – gezien vanuit de visie - de overheid niets anders of extra doet dan nu al gebeurt voor fossiele energie en -grondstoffen of wat wettelijk verplicht is. Donker oranje (ontmoedigen) betekent dat het kabinet de betreffende combinatie van waterstofdrager en eindgebruik onwenselijk vindt, zonder vooruit te lopen op de mate waarin en de wijze waarop het ontmoedigen daadwerkelijk kan en zal plaatsvinden.

| Kleurvlak | Kleur | Toelichting |
|-----------|----------------------|--|
| | Groen | Stimuleren (ruimte voor ondersteunen, evt. ook financieel) |
| | Groen/geel | Tijdelijk stimuleren, vervolgens faciliteren |
| | Geel | Faciliteren (ruimte voor ondersteunen, niet-financieel) |
| | Geel/oranje | Tijdelijk faciliteren, vervolgens accepteren |
| | Oranje | Accepteren (geen actie anders dan wat wettelijk verplicht is) |
| | Oranje/Donker oranje | Tijdelijk accepteren, vervolgens ontmoedigen |
| | Donker oranje | Ontmoedigen (waar mogelijk, want ongewenst) |
| | Grijs | Niet van toepassing |

Tabel 1: Legenda kleuren in matrixstructuur

Er wordt van uitgegaan dat de energie- en grondstoffentransitie in 2050 in belangrijke mate is afgerond overeenkomstig het streven om als Nederland in 2050 klimaatneutraal en circulair te zijn. Na dat jaar is in principe geen andere vorm van ondersteuning van de overheid nodig dan nu het geval is voor fossiele energie en grondstoffen. Met tijdelijke ondersteuning wordt bedoeld op (beleidsmatige ruimte voor) ondersteuning die nu wel past, maar vanaf een later moment - ergens tussen nu en 2050 - niet meer, bijvoorbeeld omdat er dan naar verwachting betere alternatieven beschikbaar zijn (denk aan andere waterstofdragers en/of toegang tot landelijke waterstofinfrastructuur). Voor dit tussenmoment wordt in de visie standaard een periode rond (indicatief) 2035 gehanteerd. Wanneer in de legenda geen tijdsbeperking is opgenomen, wordt er van uitgegaan dat er ook na 2035 nog ruimte wordt gezien voor ondersteuning.

Wij gaan er verder vanuit dat bij toekomstige stimulering de nadruk zal liggen op innovaties en optimalisaties van ketenstappen die bijdragen aan de energie- en grondstoffentransitie, en de opschaling hiervan. Uitbreiding van bestaande fossiele infrastructuur komt hier in beginsel niet voor in aanmerking, maar aanpassingen ten behoeve van hergebruik van deze infrastructuur wel. Ter illustratie: bij methanol en LSM zou technologieontwikkeling en opschaling van *direct air capture* (DAC) sterk kunnen bijdragen aan de duurzaamheid en opschaalbaarheid van deze dragers. Hetzelfde geldt voor de doorontwikkeling van de productie van synthetisch methaan (methanisatie). Bij LH₂ zien we vanuit de visie vooral ruimte voor het stimuleren van de doorontwikkeling en opschaling van grootschalige opslag en transport per schip. Eventuele uitgaven aan fossiele infrastructuur – zoals het bestaande aardgasnet of bestaande ondergrondse gasopslag – vallen niet binnen de scope van de visie op waterstofdragers.





Het lopende beleid gericht op de verduurzaming van (de installaties van) eindgebruikers maakt geen onderdeel uit van de visie. De kleuren in de matrix vormen in die zin geen indicatie voor de mate waarin de Rijksoverheid ruimte biedt voor het ondersteunen van de verduurzaming van (installaties bij) eindgebruikers (industrie, mobiliteit, elektriciteitsopwekking).

De visie op waterstofdragers biedt - zoals gezegd - zelf geen vorm van ondersteuning. Wel biedt deze een kader van waaruit de Rijksoverheid zal handelen in relatie tot waterstofdragers. Ook medeoverheden en andere betrokkenen kunnen de visie als beleidskader hanteren. Op de budgettaire keuzes met betrekking tot de ondersteuning van waterstofdragers loopt de visie niet vooruit. Hetzelfde geldt voor vormen van niet-financiële ondersteuning door de Rijksoverheid, zoals op het gebied van ruimtelijke procedures en vergunningverlening. Hierbij behoort te worden opgemerkt dat binnen het huidige subsidie-instrumentarium al initiatieven op het gebied van waterstofdragers kunnen worden ondersteund. Evenzo is in het Meerjarenprogramma Infrastructuur Energie en Klimaat (MIEK) waterstofimport als thema in de verkennende fase meegenomen.

De gebruikte iconen

De matrixstructuur bevat naast kleuren ook enkele iconen (zie de legenda in Tabel 2). Met deze iconen wordt aangegeven dat een bepaalde beoordeling (kleur) in samenhang moet worden gezien met een "mits" op het gebied van modaliteit of activiteit.

De iconen dienen daarmee als toevoeging op of verfijning van de hierboven genoemde kleuren. Zij geven aan dat bijvoorbeeld het stimuleren of faciliteren alleen aan de orde is als aan de extra eisen van de "mits" wordt voldaan. Het kabinet ziet de activiteit als minder wenselijk (of zelfs ongewenst) wanneer er niet aan deze eisen kan worden voldaan. Waar de iconen ruimte bieden voor meerdere modaliteiten, laat dat onverlet dat het kabinet hierin een voorkeur kan hebben. Zie hiervoor onder meer de algemene argumentatie bij de matrixstructuur in hoofdstuk 4.

| Icoon | Betekenis | Toelichting |
|---|---|---|
|  | Mits modaliteit buisleiding ¹ | ¹ Momenteel (nog) niet voor elke waterstofdrager (voldoende) beschikbaar. Tussenfase: binnenvaart als tijdelijke modaliteit. Bij LSM betreft het methaangas getransporteerd via het aardgasnet. |
|  | Mits modaliteit binnenvaart | |
|  | Mits via de Betuweroute is spoor acceptabel ² | ² Impliceert: Rotterdam, gezien de goede aansluiting op de Betuweroute. Voor andere industrieclusters moet er omgereden worden of moeten er andere handelingen uitgevoerd en is het oordeel minder positief. |
|  | Mits eventuele stimulering exclusief is gericht op technologieontwikkeling voor het kraken van ammoniak, of opschaling hiervan. | |

Tabel 2: Legenda iconen

Beoordeling waterstofdragers (matrixstructuur)

Op de volgende pagina is in Tabel 3 de matrixstructuur weergegeven. Dit betreft een overzicht van de voorkeuren van de Rijksoverheid²¹ in een grafische weergave, namelijk een tabel met kleuren.

²¹ Er is geen 100% match met de ketencombinaties in de MCA. Zo is methanol voor direct gebruik in wegvervoer niet meegenomen in de MCA.

Tabel 3 Matrixstructuur met relatie gebruiksfuncties en waterstofdragers

| | Indicatie veronderstelde hoeveelheid | Eindgebruik van waterstofgas | LH ₂ | Ammoniak | LOHC (DBT & MCH) | Methanol | LSM (e-LNG) | NaBH ₄ * |
|----|--------------------------------------|--|-----------------|----------|------------------|----------|-------------|---------------------|
| 1 | L | Grondstof industrie | | | | | | |
| 1a | M | Conversie in de haven | | K | | | | |
| 1b | S | Conversie elders in Nederland | | | | | | |
| 1c | M | Conversie in Duitsland | | | | | | |
| 2 | L | Brandstof industrie | | | | | | |
| 2a | L | Conversie in de haven | | K | | | | |
| 2b | S | Conversie elders in Nederland | | | | | | |
| 2c | M | Conversie in Duitsland | | | | | | |
| 3 | L | Brandstof elektriciteitsopwekking | | | | | | |
| 3a | S | Conversie in de haven | | K | | | | |
| 3b | M | Conversie elders in Nederland | | | | | | |
| 3c | M | Conversie in Duitsland | | | | | | |
| 4 | L | Brandstof mobiliteit | | | | | | |
| 4a | L | Conversie in de haven | | K | | | | |
| 4b | M | Conversie elders in Nederland | | | | | | |
| | Indicatie veronderstelde hoeveelheid | Eindgebruik van drager (direct gebruik) | LH ₂ | Ammoniak | LOHC (DBT & MCH) | Methanol | LSM (e-LNG) | NaBH ₄ * |
| 5 | L | Grondstof industrie | | | | | | |
| 5a | M | Eindgebruik in de haven | | | | | | |
| 5b | M | Eindgebruik elders in Nederland | | | | | | |
| 5c | M | Eindgebruik in Duitsland | | | | | | |
| 6 | L | Brandstof industrie | | | | | | |
| 6a | S | Eindgebruik in de haven | | | | | | |
| 6b | S | Eindgebruik elders in Nederland | | | | | | |
| 6c | M | Eindgebruik in Duitsland | | | | | | |
| 7 | L | Brandstof Elektriciteitsopwekking | | | | | | |
| 7a | S | Eindgebruik in de haven | | | | | | |
| 7b | S | Eindgebruik elders in Nederland | | | | | | |
| 7c | L | Eindgebruik in Duitsland | | | | | | |
| 8 | L | Brandstof mobiliteit (bunkerfuels) | | | | | | |
| 8a | S | Eindgebruik in de haven (zeevaart) | | | | | | |
| 8b | S | Eindgebruik in de haven (binnenvaart) | | | | | | |
| 8c | M | Eindgebruik elders in Nederland (binnenvaart + luchtvaart) | | | | | | |
| 9 | S | Brandstof mobiliteit (wegvervoer) | | | | | | |
| 9a | S | Eindgebruik elders in Nederland | | | | | | |

| Kleurvlak | Kleur | Toelichting |
|-----------|----------------------|--|
| | Groen | Stimuleren (ruimte voor ondersteunen, evt. ook financieel) |
| | Groen/geel | Tijdelijk stimuleren, vervolgens faciliteren |
| | Geel | Faciliteren (ruimte voor ondersteunen, niet-financieel) |
| | Geel/oranje | Tijdelijk faciliteren, vervolgens accepteren |
| | Oranje | Accepteren (geen actie anders dan wat wettelijk verplicht is) |
| | Oranje/Donker oranje | Tijdelijk accepteren, vervolgens ontmoedigen |
| | Donker oranje | Ontmoedigen (waar mogelijk, want ongewenst) |
| | Grijs | Niet van toepassing |

| Icoon | Betekenis | Toelichting |
|-------|---|--|
| | Mits modaliteit buisleiding ¹ | ¹ Momenteel (nog) niet voor elke waterstofdrager (voldoende) beschikbaar. Tussenfase: binnenvaart als tijdelijke modaliteit. Bij LSM betreft het methaangas getransporteerd via het aardgasnet. |
| | Mits modaliteit binnenvaart | |
| | Mits via de Betuweroute is spoor acceptabel ² | ² Impliceert: Rotterdam, gezien de goede aansluiting op de Betuweroute. Voor andere industrieclusters moet er omgerekend worden of moeten er andere handelingen uitgevoerd en is het oordeel minder positief. |
| | Mits eventuele stimulering exclusief is gericht op technologieontwikkeling voor het kraken van ammoniak, of opschaling hiervan. | |

| Letter | Hoeveelheid waterstofequivalent |
|--------|--|
| S | <50 kiloton H ₂ -eq per jaar |
| M | 50 - 150 kiloton H ₂ -eq per jaar |
| L | <150 kiloton H ₂ -eq per jaar |

* NaBH₄ mag in pure vorm (als beoordeeld) niet in bulk worden vervoerd en is dus geen volwaardige optie in de vergelijking.

5. Toelichting op de beoordeling (matrixstructuur)

Dit hoofdstuk schetst een aantal algemene inzichten die dienen als argumentatie bij de beoordeling. In hoofdstuk 6 volgen de toelichtingen per waterstofdrager.

Voorkeur voor conversie en/of eindgebruik in de importhaven

Conversie en/of eindgebruik van waterstofdragers in de importhaven heeft de voorkeur boven conversie en eindgebruik elders in Nederland of in Duitsland. De uitgevoerde onderzoeken laten zien dat hiermee externe effecten, (infrastructuur)kosten en het energiegebruik van verder vervoer van waterstofdragers worden voorkomen of beperkt, met name als dit vervoer via water, spoor en weg zou moeten plaatsvinden. Bovendien vermindert conversie en/of eindgebruik in de importhaven de druk op en congestie van vervoersmodaliteiten. Wel moet rekening worden gehouden met de beschikbare fysieke en milieuruimte in de importhaven en de (cumulatieve) veiligheidseffecten, ook in relatie tot de omgeving van de haven.

Voorkeur in relatie tot vervoersmodaliteiten

Volgens de huidige kennis en inzichten geldt de volgende algemene voorkeursvolgorde voor het vervoer van gevaarlijke stoffen:

1. buisleiding;
2. binnenvaart;
3. spoor;
4. weg.

De volgende vijf aandachtspunten dienen in deze beschouwing meegenomen te worden:

- a) De voorkeursvolgorde geldt in generieke zin. Per waterstofdrager kunnen er redenen zijn waardoor afgeweken kan worden van deze voorkeursvolgorde. Nuances zijn verder uitgewerkt in de toelichting per waterstofdrager.
- b) Voor buisleidingen geldt dat extra aandacht nodig is voor de veiligheidsmaatregelen om de buisleiding aan de voorgeschreven voorwaarden te laten voldoen. Dit geldt in het bijzonder bij een ammoniakbuisleiding. Bij een buisleiding voor ammoniak wordt voornamelijk alleen gedacht aan een rechtstreekse verbinding naar de Duitse grens. Het is momenteel niet de verwachting dat er een wijdvertakt netwerk van ammoniakbuisleidingen zal ontstaan. Mochten er op enig moment wel initiatieven ontstaan voor één of meerdere aftakkingen, zal telkens de wenselijkheid daarvan onderzocht worden.
- c) De Betuweroute is specifiek ontwikkeld voor het accommoderen van het vrachtvervoer over het spoor van Rotterdam naar Duitsland en mijdt hierbij dichtbevolkte gebieden. Voor het vervoer van waterstofdragers over het spoor geldt dan ook dat dit, waar dat reëel is, over de Betuweroute afgewikkeld dient te worden.
- d) De flexibiliteit met betrekking tot de locatie van het eindgebruik is bij een buisleiding het kleinst en bij vervoer over de weg het grootst. Iedere afnemer en locatie is bereikbaar over de weg, niet alle afnemers hebben een aanlandlocatie aan het water, nog minder een spoor aansluiting en nog minder

liggen aan een tracé voor een buisleiding. Bij buisleidingen zal het gaan om zeer grote volumes. Bij vervoer over de weg juist over relatief kleine volumes.

- e) Uit Europese en mondiale overeenkomsten vloeien beperkingen voort voor het vervoer van gevaarlijke stoffen. Wanneer er geconstateerd wordt dat bepaalde beperkingen wringen met het behalen van de doelen van de energietransitie, wordt er onderzocht wat de Nederlandse overheid kan doen om deze overeenkomsten aan te passen. Enkele specifieke gevallen hiervan zullen later in dit verdiepingsdocument nog aan de orde komen. Aanpassing van deze overeenkomsten om beperkingen op te heffen kan alleen plaatsvinden op het moment dat er op het betreffende Europese of mondiale niveau overeenstemming is dat deze aanpassingen veilig en technisch verantwoord zijn. Het is hierbij realistisch om in het oog te houden dat dergelijke trajecten gemakkelijk tijdsintensief kunnen worden.

Voorkeur voor buisleidingen bij grote vervoerstromen van de waterstofdrager

Uit zowel de MKBV als de MCA blijkt dat vervoer via buisleidingen gunstiger wordt beoordeeld dan via andere modaliteiten. In de MKBV komt dit vooral door vermeden vervoeremissies en minder impact op transportveiligheid (verkeersongevallen) ten opzichte van vervoer over weg, spoor of water. In de MCA heeft vervoer via buisleidingen niet alleen op veiligheid maar ook op het gebied van betrouwbaarheid (leveringszekerheid) een hogere score. Vervoer via een buisleiding leidt in tegenstelling tot andere vervoersmodaliteiten niet tot verkeerscongestie of verkeersongevallen.

Buisleidingen zijn – naast het transport van waterstofgas via het landelijke waterstoftransportnetwerk – ook een concrete optie voor transport en distributie van ammoniak, sommige LOHC's²², methanol en (synthetisch) methaan. Specifiek voor buisleidingen – anders dan bij de regelgeving voor spoor, binnenvaart en wegtransport waarvoor internationaal afspraken gelden – geldt dat Nederland zelf meer technische voorzieningen kan eisen om zodoende een verhoogde veiligheid te creëren ten opzichte van de andere modaliteiten. Welke buisleidingen er voor welke waterstofdrager komen, op welke termijn en op welke locatie, is nog niet duidelijk. Dus veel eindgebruikers/locaties weten nog niet of, en zo ja wanneer, zij toegang krijgen tot een buisleiding voor een specifieke waterstofdrager.

Voorkeur bij andere modaliteiten

De andere vervoersmodaliteiten voor gekoeld vloeibare waterstof en waterstofdragers zijn binnenvaart, spoor en weg. Voor vervoer binnen Nederland is het niet realistisch dat al het vervoer van waterstofdragers (voor eindgebruik en decentrale conversie) via een buisleiding plaatsvindt.

In veel gevallen zijn buisleidingen geen reële modaliteit, mede door de soms lagere gevraagde volumes en/of relatief grote geografische spreiding van eindgebruikers. In zulke gevallen is er een voorkeur voor vervoer per binnenvaart²³. Op die manier kunnen relatief grote volumes worden vervoerd met één vervoersbeweging, wat leidt tot minder emissies en een lager risico op incidenten. Bovendien is de afstand tussen de infrastructuur en bebouwing veelal groter dan bij vervoer over spoor en weg, wat gunstig is voor omgevingsveiligheid en ruimtegebruik. Aandachtspunt bij het vervoer per binnenvaart is betrouwbaarheid (leveringszekerheid), in het bijzonder in periodes met hoog- of laagwater.

Als binnenvaart geen optie is dan volgt vervoer per spoor. Daarbij gaat de voorkeur zoals eerder gesteld uit naar het gebruik van de Betuweroute, waar dat reëel is. Voor het vervoer over spoor gelden verder de uitgangspunten uit het Basisnet spoor om de chemische clusters in Nederland te ontsluiten. Vervoer over de weg leent zich het beste voor kleinere volumes. Voor bepaalde locaties ontbreekt een alternatief, bijvoorbeeld de bevoorrading van de meeste tankstations of buiten de grote industrieclusters gelegen bedrijven (vaak aangeduid als 'het zesde industriecluster').

²² Bepaalde LOHC's lenen zich niet of minder voor vervoer per buisleiding vanwege viscositeit van de stof.

²³ In de MCA scoort binnenvaart weliswaar over het geheel genomen iets lager ten opzichte van spoor, maar alles afwegend zit dit verschil met name op het punt van betrouwbaarheid, wat zou pleiten voor een preferentie voor binnenvaart, met spoor als terugvaloptie op het moment dat binnenvaartroutes tijdelijk niet beschikbaar zijn. Verder is spoor elektrisch, wat qua emissies gunstiger is (belang "duurzaamheid"), maar op dat vlak is bij de binnenvaart wel ontwikkeling te verwachten.

Toelichting op verwerking in de matrixstructuur

Het bovenstaande vertaalt zich op de volgende manier naar de matrixstructuur: in een aantal gevallen is (op langere termijn) het gebruik van een buisleiding randvoorwaarde voor de toegepaste beoordeling. Zonder perspectief op een buisleiding zou gekozen worden voor een minder positieve beoordeling. Om buisleidingen te realiseren kan tijdelijk (niet-financiële) ondersteuning vanuit de overheid gelegitimeerd zijn, bijvoorbeeld bij ruimtelijke procedures. Vooruitlopend op de realisatie van een buisleiding kan tijdelijk gebruik worden gemaakt van een andere modaliteit. Ook wordt in sommige gevallen tijdelijk – in afwachting van de aanleg van het landelijke waterstofnetwerk – decentrale conversie gefaciliteerd of geaccepteerd, terwijl dat na realisatie van het waterstofnetwerk minder positief wordt beoordeeld of zelfs als ongewenst wordt gezien.

Voorkeur voor eindgebruik waterstofdrager (waar mogelijk en gepast)

Eindgebruik van waterstofdragers – zonder conversie naar waterstofgas – voorkomt energieverlies en (afhankelijk van de technologie) emissies die zouden vrijkomen in het conversieproces. Conversiefaciliteiten leggen bovendien, in wisselende mate, een extra beslag op de beschikbare ruimte. In de basis heeft direct gebruik van waterstofdragers daarom de voorkeur. Voor een volledige afweging dienen echter ook de gebruikslocatie, de eventuele vervoersmodaliteit (en de gerelateerde risico's en ruimtegebruik) en emissies op de gebruikslocatie in de afweging te worden meegenomen.

In het geval van eindgebruik in het achterland, kan conversie in de importhaven bijvoorbeeld toch de voorkeur hebben, als dat leidt tot minder risico's en ruimtegebruik in het achterland en gebruik van al bestaande buisleidingen (gebruik van het waterstoftransportnetwerk als preferente modaliteit). Een concreet voorbeeld is ammoniakgebruik als brandstof. In het geval dat direct gebruik in de haven niet mogelijk is en bij afwezigheid van een voldoende veilige ammoniakbuisleiding gaat de voorkeur uit naar conversie naar waterstofgas in de haven en doorvoer daarvan via het waterstofnetwerk. Dit in verband met de substantieel lagere maatschappelijke scores van doorvoer van ammoniak via andere modaliteiten dan een buisleiding. In de MCA is de ruimtelijke impact van milieu- of veiligheidscontouren niet meegenomen aangezien deze niet in alle gevallen goed meetbaar of kwantificeerbaar was.

Aanvullend over de voorkeuren

De genoemde voorkeuren zijn niet altijd onderling te combineren. Niet iedere eindgebruiker bevindt zich in de importhaven of kan direct gebruik maken van een waterstofdrager, zonder conversie naar waterstofgas. Niet alle eindgebruikers hebben toegang tot alle vervoersmodaliteiten, zowel geografisch als op basis van de omvang van hun vraag. De genoemde voorkeuren worden gezien als uitgangspunten. In de matrixstructuur en de toelichting per waterstofdrager zijn deze uitgangspunten per eindgebruiksfunctie toegepast en waar relevant tegen elkaar afgewogen.

Aanvullend op de hierboven genoemde generieke voorkeuren wordt geconstateerd dat bij direct gebruik van waterstofdragers in de haven minder ondersteuning van de bredere toeleveringsketen aan de orde is, gelet op het ontbreken van conversie naar waterstofgas en het ontbreken van doorvoer. Ook is het ondersteunen van conversie en eindgebruik in Duitsland niet aan de Nederlandse overheid. Daarin kan, desgewenst, de Duitse overheid een rol vervullen.

6. Toelichting per waterstofdrager

Dit hoofdstuk beschrijft voor elk van de beschouwde waterstofdragers hoe deze is beoordeeld op basis van de onderzoeken en aanvullende analyses. De toelichting in dit hoofdstuk verklaart de kleur van de betreffende cellen van de matrixstructuur. Daarbij komen na een korte introductie steeds de volgende aspecten aan de orde: (a) de score op de publieke belangen en richtinggevendende principes en (b) de verschillen in de scores in relatie tot de verschillende typen van eindgebruik en locatie (maatschappelijke functies).

Overigens dient opgemerkt te worden dat sommige waterstofdragers tegelijkertijd koolstofhoudende energiedragers zijn en daarmee “koolstofdragers” volgens de definities die worden gehanteerd in het NPE (bijv. methanol, LSM, MCH en DBT). In dit document worden deze dragers gezien als dragers van waterstof.

Relatie met de publieke belangen in het NPE

De inwoners van Nederland moeten er op kunnen rekenen dat de Rijksoverheid bij de positiebepaling ten opzichte van de ontwikkelingen rond waterstofdragers te allen tijde alle publieke belangen in het oog houdt, en niet slechts die van één of enkele sectoren.

Dat gezegd hebbend, dienen de meeste van deze sectoren een direct dan wel een indirect maatschappelijk belang, namelijk onze energievoorziening, voedselzekerheid en economische welvaart. Hierbij speelt vaak de balans tussen lokale lasten en collectieve lusten. Dat betekent ook houden voor datgene waarmee het algemeen belang het beste gediend is, zonder dat individuele belangen teveel geschaad worden. Dit perspectief vormt de basis voor de benadering van de publieke belangen in het Nationaal Plan Energiesysteem (NPE) waar deze visie mee samenhangt. Deze publieke belangen gaan niet vanzelf hand in hand. Bij het maken van keuzes voor het energiesysteem staan ze regelmatig op gespannen voet met elkaar. Juist hierom is het belangrijk dat overheden op alle schaalniveaus transparant maken hoe ze publieke belangen onderling wegen en hierover met elkaar en met belanghebbenden voortdurend in gesprek blijven.

Algemene noties

Gezien de grote onzekerheid over het precieze verloop van de energie- en grondstoffentransitie bestaat er nog geen duidelijkheid over de precieze aard, de omvang en het tijdpad van de vraag naar waterstof(dragers) in voornoemde sectoren. Dit vormt een uitdaging voor partijen in de (toekomstige) toeleveringsketens. Ook vinden er nog allerlei technologische innovaties en optimalisaties plaats in de uiteenlopende ketens. Hierdoor zijn de voor- en nadelen van verschillende waterstofdragers continu in beweging. Dit vraagt om adaptief overheidsbeleid.

Met deze visie geeft het kabinet – op basis van de nu beschikbare informatie – zoveel mogelijk duidelijkheid aan de markt over haar voorkeuren voor bepaalde combinaties van waterstofdragers, eindgebruik en vervoersmodaliteiten en over de afwegingen die hieraan ten grondslag liggen. De wijze van beoordeling aan de hand van alle publieke belangen uit het NPE zal ook in de toekomst consistent worden gehanteerd. Met de visie beoogt het kabinet, conform het NPE, richting en snelheid te geven aan de gewenste ontwikkelingen en invulling te geven aan de regierol die de Rijksoverheid heeft in zowel de energie- en grondstoffentransitie als bij de verdeling van schaarste (o.a. ruimte, milieu, infrastructuur-capaciteit). Evenals het NPE zal de visie op waterstofdragers periodiek worden geactualiseerd.

In dit hoofdstuk worden allerlei combinaties van waterstofdragers, toepassingen en locaties besproken die in ieder geval theoretisch denkbaar zijn. In enkele gevallen wordt er een opmerking over het realiteitsgehalte gemaakt, maar in algemene zin worden alle opties besproken, ook de minder realistische, zonder dat over het realiteitsgehalte uitspraken gedaan worden.

In sommige gevallen worden in dit hoofdstuk specifieke aanvullende overwegingen benoemd, dat is niet bij alle dragers aan de orde.

Gekoeld vloeibaar gemaakte waterstof (LH₂)

Algemeen

In dit document wordt de term LH₂ gebruikt, waarmee gekoeld vloeibaar gemaakte waterstof bedoeld wordt. Ten behoeve van de leesbaarheid, gebruiken wij ook deze korte notatie (waarbij L staat voor liquid).

Publieke belangen

LH₂ heeft in de MCA een hoge score op het publieke belang Duurzaam, vooral vanwege het relatief geringe energieverlies in de keten. Hierdoor is ten opzichte van andere waterstofdragers minder waterstofproductie en import nodig om een hoeveelheid waterstofequivalenten bij de eindgebruiker te krijgen. Het geringe energieverlies komt mede door het feit dat de conversie naar waterstofgas weinig vraagt in termen van handelingen, energiegebruik en infrastructuur. Om die reden scoort gekoeld vloeibaar gemaakte waterstof ook hoog op de publieke belangen Ruimte en Adaptief.

Op het publieke belang Milieu scoort LH₂ ongeveer net zo hoog als de meeste andere waterstofdragers. Indien meer emissies, materiaaleigenschappen, de effecten voor de productie van de faciliteiten en transportmiddelen in de MCA-vergelijking waren meegenomen, zou LH₂ op Milieu (en Duurzaam) naar verwachting hogere scores dan andere waterstofdragers. Dit blijkt uit de analyse van het JRC²⁴. Ook wat betreft Betaalbaar bevindt LH₂ zich ongeveer in de middenmoot met een redelijk hoge score. De score van LH₂ op het publieke belang Veilig is redelijk hoog en ligt dichtbij die van de meeste andere waterstofdragers. Een lagere score is er in de MCA op het gebied van Betrouwbaar (leveringszekerheid). Gekoeld vloeibaar gemaakte waterstof loopt op dit moment achter in technische en commerciële realisatie ten opzichte van bijvoorbeeld ammoniak, methanol en LOHC's. Voor het vervoer zijn nieuwe (innovatieve) schepen nodig, terwijl voor bepaalde andere waterstofdragers gebruik gemaakt kan worden van bestaande scheepsontwerpen en -technologie. Wanneer de technologische ontwikkelingen rondom LH₂ versnellen, zal LH₂ in de toekomst hier hoger op scoren.

Richtinggevende principes

Over het geheel van de publieke belangen gezien scoort LH₂ in de MCA voor alle vervoersmodaliteiten en beide gebruiksvormen hoog. Dit vertaalt zich naar een overwegend positieve beoordeling in de matrixstructuur, met ruimte voor een ondersteunende rol vanuit de Rijksoverheid (zowel financieel als niet-financieel). Aandachtspunt vormen de uitdagingen voor grootschalige doorvoer. LH₂ leent zich vanwege de extreem lage temperatuur niet voor doorvoer per buisleiding. Transport per binnenvaart is volgens internationale regelgeving nog niet toegestaan. Totdat dit mogelijk wordt, leent LH₂ zich daarom vooral voor conversie naar waterstofgas in de importhaven en voor distributie van waterstof op kleinere schaal met vrachtwagens, zoals voor de mobiliteit. In sommige gevallen vindt kleinschalig vervoer van LH₂ reeds plaats via daarop toegesneden containers.

Eventuele ondersteuning (stimuleren) van LH₂ zou in het bijzonder erop gericht kunnen zijn om de betrouwbaarheid (leveringszekerheid) te vergroten door de technologische ontwikkeling in en opschaling van de keten te bevorderen. Dat draagt bij aan het streven van het kabinet om in te zetten

²⁴ JRC (2024), Environmental life cycle assessment (LCA) comparison of hydrogen delivery options within Europe, <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC137953>

op diversificatie van waterstofdragers, om niet te veel afhankelijk te zijn van één herkomstbron en technologie. LH₂ leent zich goed voor conversie in de importhaven (efficiënt proces, beperkt energie- en ruimtegebruik) en doorvoer via het waterstofnetwerk. Op iets langere termijn wordt verwacht dat LH₂ ook een hele efficiënte manier kan zijn om waterstof te distribueren naar niet op het waterstofnet aangesloten bedrijven, zoals bijvoorbeeld tankstations en Cluster 6 bedrijven. Op die manier draagt LH₂ bij aan de robuustheid van Nederland als energie- en waterstofhub.

Gebruiksfuncties

Eindgebruik als drager (direct gebruik)

Voor LH₂ wordt vooral in de mobiliteit een toepassing gezien voor direct gebruik als brandstof in de zeevaart, binnenvaart, luchtvaart en mogelijk ook zwaar wegtransport. Gezien de beperkte alternatieven voor dit type eindgebruik, het relatief schone karakter van LH₂ als brandstof én de bredere/bestaande kabinetsinzet voor de toepassing van waterstof in de mobiliteit, is direct gebruik van LH₂ in de mobiliteit in de matrix positief beoordeeld. Ook in de halfgeleider- en elektronica-industrie zijn er toepassingen van gekoeld vloeibaar gemaakte waterstof en de verwachting is dat zowel het belang als ook de volumes hiervan zullen toenemen.

Eindgebruik als waterstofgas

Eindgebruik van LH₂ als waterstofgas vereist een (bij LH₂ relatief eenvoudige) verdamping naar waterstofgas. Eventuele stimulering van decentrale conversie is bij voorkeur tijdelijk, vooruitlopend op een buisleidingnetwerk voor waterstofgas en in het bijzonder gericht op eindgebruik in Nederland. Met betrekking tot decentrale conversie - de bevoorrading van tank- en bunkerstations voor zwaar wegtransport, de binnenvaart en luchthavens, en Cluster 6 bedrijven die níét aangesloten kunnen worden op het waterstofnetwerk - zijn er mogelijkheden voor LH₂. Voor de meeste tankstations en bunkerstations zijn over het algemeen, ook op de langere termijn, geen aansluitingen op het waterstofnetwerk voorzien. Verder zullen er ook veel bedrijventerreinen zijn waar het waterstofnetwerk mogelijk niet in de buurt zal komen. Bevoorrading van deze bedrijven in de vorm van LH₂ beperkt het aantal vervoersbewegingen ten opzichte van bevoorrading via waterstofgas onder druk substantieel, omdat LH₂ een hogere energiedichtheid heeft. Bijkomend belangrijk voordeel is dat door de expansie van het verdampende LH₂ vrij gemakkelijk de benodigde drukken van 350 of 700 bar (voor tanken van gecompriëerd waterstofgas) kunnen worden bereikt, zonder gebruik te maken van compressoren en zonder noodzaak van extra zuivering, zoals bij gebruik van waterstof uit het landelijk transportnet. Dat levert decentraal voordeel op het gebied van geluid, ruimte, kosten, energiegebruik en veiligheid. Vanuit de visie is er tijdelijk ruimte voor financiële ondersteuning om de hierboven beschreven technologische ontwikkelingen te stimuleren en ook op langere termijn voor niet-financiële ondersteuning.

Over decentrale conversie van LH₂ voor de inzet van waterstofgas in elektriciteitscentrales is het oordeel minder positief. Dit vanwege de potentieel (veel) grotere hoeveelheden en de nadelen van LH₂ voor langdurige decentrale opslag (energieverlies, boil-off). De visie biedt tijdelijk ruimte om toepassing in elektriciteitscentrales (niet-financieel) te ondersteunen. Daarna is er voor deze specifieke toepassing van LH₂ vanuit de visie geen ruimte meer voor extra ondersteuning in het kader van de energietransitie.

Voor doorvoer naar Duitsland zou eventuele stimulering en facilitering van decentrale conversie vooral door de Duitse overheid geboden moeten worden. De doorvoer van LH₂ voor decentrale conversie in Duitsland is minder positief beoordeeld dan centrale conversie in Nederland. Ook hier is dat vanwege de potentieel grote hoeveelheden, het energieverlies en de emissies als gevolg van een langere keten. Transport van waterstofgas via buisleidingen verdient dan de voorkeur. De visie biedt tijdelijk ruimte om de doorvoer naar Duitsland te faciliteren, maar vanaf de middellange termijn zou de ondersteuning vooral gericht moeten zijn op centrale conversie en op de uitzonderingsgevallen met (kleinschalige) decentrale conversie in Nederland.

Aanvullende specifieke overwegingen

Zoals al eerder benoemd, is doorvoer per binnenvaart volgens internationale regelgeving nog niet toegestaan. Het kabinet wil samen met sectorpartijen de mogelijkheden verkennen – ook door aanpassing van de internationale regelgeving – om doorvoer per binnenvaart toe te staan.

Ammoniak

Algemeen

Publieke belangen

Ammoniak scoort in de MCA bij eindgebruik als waterstofgas lager dan de andere waterstofdragers wanneer gebruik gemaakt wordt van andere vervoersmodaliteiten dan een buisleiding. In het bijzonder vervoer van ammoniak via de weg scoort onderscheidend lager dan de andere vervoersmodaliteiten. Ook in de MKBV komt doorvoer van ammoniak door het land relatief slecht uit de vergelijking. In ketens waarbij gebruik wordt gemaakt van buisleidingen, behaalt ammoniak gezien over alle publieke belangen een gemiddelde score.

Beschouwd per individueel publiek belang scoort ammoniak hoog op Betaalbaar, Economisch krachtig en Betrouwbaar. Dit vanwege de lage importkosten en de volwassenheid van techniek en ketens. Ammoniak is immers een bekende stof in de chemische industrie.

Ammoniak kent, net als de meeste andere waterstofdragers, weinig broeikasgasemissies en een beperkt beslag op kritische materialen, wat bijdraagt aan een hoge score op het publieke belang Duurzaam. Ammoniak scoort minder hoog op energiegebruik dan LH₂ en LOHC's, omdat (net als bij methanol en LSM) voor de warmtevraag van de conversie naar waterstofgas een deel van de waterstofdrager moet worden gebruikt. Dit telt zwaarder in de keten dan het elektriciteitsgebruik voor conversie bij andere waterstofdragers, omdat deze energie ook geïmporteerd wordt via de drager en dus het importvolume verhoogt.

Ammoniak scoort laag op het publieke belang Veilig, vanwege de potentieel grote effecten voor de omgeving bij een voorval of ongeval met een grote uitstroom van ammoniak, en de hiermee gepaard gaande gifwolk die zich over een groot gebied kan uitstrekken en waarbij effecten zich langere tijd kunnen manifesteren. Ook bij buisleidingen is er potentieel een grote uitstroom van de stof in het geval van breuk of lekkage, gelet op de grote volumes die getransporteerd kunnen worden in de buisleiding. Het is daarom belangrijk dat er bij het ontwerp van een ammoniakbuisleiding specifiek aandacht wordt gegeven aan aanvullende maatregelen die de kans op een breuk of lekkage verkleinen en maatregelen die de omvang van de uitstroom beperken in het geval van een breuk of lekkage. Er lopen op dit moment onderzoeken over dit thema waarvan de conclusies nog niet verwerkt zijn in de voorliggende visie en dit verdiepingsdocument.

Voor het vervoer over het spoor geldt dat, met uitzondering van het vervoer over de Betuweroute, het vervoer wordt afgewikkeld dicht langs of door woonconcentraties. Hoewel Nederland beschikt over zeer veilige infrastructuur en het vervoer plaatsvindt in vervoersmiddelen die aan zeer strenge eisen moeten voldoen, zijn de (meer beperkte) mogelijkheden voor de bestrijdbaarheid en de beheersbaarheid van een ongeval met grotere volumes ammoniak en daarmee de effecten voor de omgeving dusdanig, dat ammoniak laag scoort op het publieke belang Veilig. Het publieke belang Rechtvaardig laat ook een lage score zien voor ammoniak. Dit komt door de milieueffecten en -kosten in het exportland en de lage importkosten. Ammoniak scoort vergelijkbaar met andere dragers op het gebied van het publieke belang Ruimte.

Richtinggevende principes

Ammoniak is minder positief beoordeeld in de matrixstructuur, met name bij decentrale conversie en direct gebruik van de drager in het achterland. Ketens van ammoniak met gebruik van andere vervoersmodaliteiten dan een buisleiding scoren relatief laag. Clustering van activiteiten in het havengebied

geniet de voorkeur, zodat emissies en veiligheidsrisico's geclusterd worden. Waar er vervoer gefaciliteerd of geaccepteerd wordt, gaat dit vaak gepaard met aanvullende voorwaarden en gewenste modaliteiten.

In tegenstelling tot LH₂ en LOHC is de betrouwbaarheid van ammoniak als waterstofdrager vrij hoog, doordat het een bekende stof is die al technologisch en commercieel ontwikkeld is op het gebied van installaties en vervoer. Een uitzondering hierop zijn de kraakinstallaties, omdat ammoniak als waterstofdrager een relatief nieuwe toepassing is. De kraakinstallaties bestaan nog niet op de productieschaal die nodig wordt geacht. De ontwikkeling dan wel opschaling van de kraaktechnologie in de haven kan, met het oog op diversificatie van import en het vermijden van het vervoer van ammoniak door het achterland, vanuit de visie wel tijdelijk ondersteund worden. Eventuele doorvoer van ammoniak naar het binnenland of verder in Noordwest-Europa kan het beste plaatsvinden via een buisleiding, mits deze leiding aan specifieke voorwaarden voldoet. Dit leidt ertoe dat de visie ruimte biedt voor het faciliteren van de totstandkoming van ammoniakbuisleidingen.

Een richtinggevend principe voor buisleidingen zal door de aard van de stof zijn dat meer aanvullende maatregelen zullen worden gevraagd dan tot heden binnen de branche gebruikelijk is. Ammoniak is nog niet eerder in dergelijke hoeveelheden over dergelijke afstanden in Nederland vervoerd. Het Rijk verlangt daarom aanvullende veiligheidsmaatregelen, welke weliswaar kostbaar zijn, maar door de unieke situatie niet disproportioneel. Met deze aanvullende veiligheidsmaatregelen moet aan de huidige plaatsgebonden risiconorm (PR 10-6/jaar) op een afstand van 5 meter worden voldaan. Tevens ontstaat hiermee een nagenoeg inherent veilige buisleiding (zeer lage faalkans) met weinig ruimtegebruik, waarbij door afsluiters ("sectionering") de schade voor de omgeving in geval van een onverhoopte calamiteit alsnog beperkt blijft.

Gebruiksfuncties

Eindgebruik als drager (direct gebruik)

Het voornaamste gebruik van ammoniak – directe toepassing dan wel conversie naar waterstofgas – is voorzien in de importhaven. Dit laat onverlet dat ook binnen de havengebieden nog goed gekeken zal moeten worden naar de veiligheidseffecten en hun consequenties voor ontwikkelingen in en buiten het gebied. Wanneer ammoniak direct als grondstof wordt ingezet en daarvoor geen goed alternatief bestaat, geldt dat de visie hier ruimte voor biedt; ook omdat het hier om verhoudingsgewijs kleinere hoeveelheden gaat ten opzichte van eventueel gebruik als brandstof bij de industrie of bij elektriciteitsopwekking. Om deze reden wordt decentraal eindgebruik van ammoniak (als grondstof) positiever beoordeeld dan decentrale conversie van ammoniak naar waterstofgas.

Waar ammoniak als grondstof wordt gebruikt in de industrie, hetzij in Nederland of in Duitsland, zijn buisleidingen de voorkeursmodaliteit, gevolgd door binnenvaart, en indien niet anders mogelijk per spoor, waarbij de Betuweroute de voorkeur geniet. De inzet van wegvervoer speelt naar verwachting een zeer beperkte rol gezien de relatief kleine volumes die vervoerd kunnen worden, waardoor transport van grotere volumes erg kostbaar is en daarnaast is het risico op ongevallen via de weg ook het grootst.

Voor toepassing als brandstof bij de elektriciteitsopwekking of als brandstof bij industrie elders in Nederland wordt de inzet van ammoniak ongewenst geacht. In het geval van doorvoer naar Duitsland is niet altijd bekend of ammoniak als grondstof of als brandstof wordt gebruikt.

Eindgebruik als waterstofgas

Het kraken van ammoniak naar waterstofgas in de haven heeft zowel op de korte als op de lange termijn een rol in het zorgen voor voldoende waterstofgas. Vanwege het ontbreken van alternatieve waterstofdragers op de korte termijn, is stimulering van kraken in importhavens gewenst om snel voldoende waterstofgas ter beschikking te hebben voor mobiliteit en industrie. Hierom biedt de visie ruimte voor het tijdelijk stimuleren van specifiek het kraken in de importhaven om zo de externe effecten te minimaliseren en ruimtelijk te clusteren. Dit draagt bij aan het voorkomen van transport van ammoniak

door Nederland. Het gaat hier om hoeveelheden die in de beginfase van de energietransitie mogelijk nog niet of in mindere mate geïmporteerd kunnen worden middels andere waterstofdragers.

Zodra alternatieve waterstofdragers in grotere volumes beschikbaar komen, hebben die de voorkeur. Hun marktaandeel is op termijn mogelijk ook groter dan dat van ammoniak, maar in absolute zin zal de markt voor ammoniak naar verwachting niet kleiner worden dan wat de komende jaren wordt opgebouwd.

Een keten voor eindgebruik van waterstofgas als brandstof – met ammoniak als drager en waarbij de conversie elders in Nederland plaatsvindt – is minder gewenst; het kan wel tijdelijk een optie zijn voor locaties die nog geen aansluiting hebben op het waterstofnetwerk. Op de langere termijn is deze route niet wenselijk in de veronderstelling dat andere waterstofdragers beschikbaar komen en het waterstofnetwerk dan verder uitgerold is. Ammoniak elders in het land kraken voor de wegmobiliteit is ongewenst gezien de extra handelingen en opslag die dit vereist op of bij tankstations die veelal in of nabij de gebouwde omgeving staan. Hier komt bij dat de eindtoepassing niet de drager zelf is; distributie van de (vloeibare) waterstof vanuit de importhaven naar tankstations wordt dan gezien als een wenselijker en logischer alternatief.

Vervoer binnen Nederland en doorvoer naar Duitsland

Vervoer van ammoniak wordt op basis van deze visie niet gestimuleerd. Voor de stromen ammoniak die (tijdelijk) gefaciliteerd of geaccepteerd worden geldt als uitgangspunt dat het vervoer plaatsvindt via een buisleiding of per binnenvaart en – alleen als het niet anders kan – over spoor via de Betuweroute. Voor vervoer naar gebruikslocaties (decentrale conversie) binnen Nederland is het niet realistisch dat al het vervoer van ammoniak via een buisleiding kan in verband met de soms geringe hoeveelheden. In dat geval gaat de voorkeur van ammoniakvervoer uit naar de binnenvaart. Mocht dat ook niet mogelijk zijn, bijvoorbeeld door het ontbreken van een verbinding over water of tijdelijk te hoog of laag water, dan kan (tijdelijk) worden uitgeweken naar het spoor. Hierbij wordt dan specifiek gedacht aan vervoer via de Betuweroute (specifiek voor vervoer vanuit Rotterdam). Het vervoer van ammoniak per spoor over andere routes dan de Betuweroute is bezwaarlijk gezien de bebouwingsdichtheid rondom het spoor. Voor bedrijventerreinen die niet aan een rivier of spoorlijn liggen en waar nog geen alternatief beschikbaar is, kan ammoniak via de weg tijdelijk geaccepteerd worden. Dit is echter allerm minst de gewenste optie en zal alleen in zeer specifieke gevallen plaats dienen te vinden. Naar verwachting speelt de inzet van wegvervoer een zeer beperkte rol gezien de beperkingen, risico's en daarmee samenhangende kosten van deze modaliteit.

Voor direct gebruik van ammoniak als grondstof in Duitsland wordt er vanuit gegaan dat de vraag naar ammoniak niet significant verandert ten opzichte van het huidige ammoniakgebruik (er zijn in Duitsland ook nu al bedrijven die ammoniak als grondstof gebruiken, bijvoorbeeld voor kunstmestproductie). Een grote rol bij dit vraagstuk speelt de hoeveelheid benodigde energie in Duitsland: ammoniak kan meer energie dragen dan waterstof(gas), maar ontwikkelingen op dit gebied zijn nog onzeker. Eventuele ondersteuning van de overheid bij doorvoer is in elk geval niet-financieel van aard en richt zich specifiek op de modaliteit buisleiding, zoals bij een mogelijke ammoniakbuisleiding binnen de Delta Rhine Corridor (DRC).

Aanvullende specifieke overwegingen

In het kabinetsstandpunt ammoniak uit 2004 werd nog geen onderscheid gemaakt tussen gekoeld vloeibaar gemaakte (koude) ammoniak en gecompriëerde (warme) ammoniak. In de voorliggende visie en dit verdiepingsdocument is uitgegaan van de bestaande toeleveringsketens van ammoniak. Hierbij wordt de ammoniak gekoeld vloeibaar geïmporteerd in zeeschepen en gekoeld vloeibaar opgeslagen nabij de aanlandlocatie in de haven. Overslag, doorvoer en gebruik vindt in de regel in gecompriëerde toestand plaats. Vervoer in gekoeld vloeibare vorm over weg en spoor is nu vanuit internationale regelgeving niet toegestaan. Er is echter - vanwege de verwachte voordelen van dit type vervoer (voor wat betreft onder andere omgevingsveiligheid en energie-efficiëntie) – reden nader te verkennen of en onder welke condities de internationale regelgeving kan worden aangepast. In deze verkenning zal ook worden gekeken naar vervoer van gekoeld vloeibaar gemaakte ammoniak per binnenvaart.

Liquid organic hydrogen carriers (LOHC's)

Algemeen

Er zijn verschillende stoffen die onder de noemer LOHC vallen. Te denken valt hierbij aan onder andere de combinaties:

- benzeen-cyclohexaan;
- toluen-methylcyclohexaan (MCH);
- dibenzyltolueen – perhydrodibenzyltolueen (DBT);
- N-ethylcarbazole (Ho-NEC) – perhydro-N-ethylcarbazole (H12-NEC);
- 1,2-dihydro-1,2-azaborine (AB) – 1,2-BN cyclohexaan (BNC);
- naphthaleen-decalin;

Ook zijn er verscheidene LOHC's nog in ontwikkeling. Niet alle LOHC's zijn in dezelfde fase van technologische en/of commerciële ontwikkeling. LOHC's zijn koolwaterstoffen die veelal al gebruikt worden in de chemische industrie en daarom bekend zijn qua gebruik in Nederland. Bij het opstarten van de MKBV is gekozen om de LOHC DBT²⁵ te onderzoeken en voor de MCA is de selectie uitgebreid met MCH. De belangrijkste reden is dat deze twee LOHC's het verst lijken te zijn in de technische en commerciële ontwikkeling, dat er voldoende data voorhanden waren voor een vergelijking met andere waterstofdragers en dat er voor beide LOHC's concrete plannen zijn of waren om in Nederland projecten te ontwikkelen.

De twee onderzochte LOHC's hebben op sommige publieke belangen duidelijk onderscheidende scores, terwijl ze op andere punten onderling weinig verschillen. Voor het vormen van de visie zijn beide LOHC's als uitgangspunt genomen en tot één groep samengevoegd. Er wordt voorlopig van uitgegaan dat andere niet onderzochte LOHC's vergelijkbare eigenschappen zullen hebben.

Publieke belangen

LOHC's (zowel DBT als MCH) met centrale conversie in de haven behalen over het algemeen een hoge score op de publieke belangen in de MCA, net als in de MKBV. In de MCA zijn bij de publieke belangen van Betaalbaar en Economisch krachtig de importkosten van een drager een dominante factor, hier valt op dat LOHC's qua betaalbaarheid een lagere score hebben dan ammoniak of methanol, maar op het aspect Economisch krachtig wel vergelijkbaar zijn met deze waterstofdragers.

Binnen het publieke belang Veilig scoren LOHC's hoger dan andere waterstofdragers op omgevingsveiligheid en op cybersecurity en terrorisme. Op vervoersveiligheid scoren deze dragers iets minder hoog vanwege de grote hoeveelheid vervoersbewegingen met de drager, in verband met de lagere hoeveelheid waterstof die vrijkomt bij conversie en de retourstroom in geval van een buisleiding (dan zou een extra buisleiding voor de retourstroom nodig zijn). Voor specifieke LOHC's kan er sprake zijn van gebruik en mogelijk bij conversies vrijkomen van zogenoemde zeer zorgwekkende stoffen (ZZS). ZZS hebben bewezen schadelijke effecten voor mens en milieu en worden daarom waar mogelijk geweerd uit de leefomgeving, zeker wanneer de stoffen één of meer gevaareigenschappen hebben die voldoen aan artikel 57 van de Europese REACH-verordening. Dit is meegenomen in de afweging. Er zijn momenteel veel verschillende typen van LOHC's in ontwikkeling, waaronder typen waar het ZSS-aspect niet aan de orde is.

LOHC's scoren vanwege het grote te vervoeren, op te slaan en te converteren volume, mede als gevolg van de retourstroom, lager op de publieke belangen Ruimte, Toegankelijk (door meerkosten van vervoer) en Adaptief (vanwege grote investeringen in opslag en conversie-installaties). Hierbij dient te worden aangemerkt dat LOHC's gebruik kunnen maken van de bestaande infrastructuur van fossiele koolwaterstoffen (bijvoorbeeld schepen en opslagtanks). De verwachting is echter dat op de middellange termijn deze infrastructuur nog grotendeels gebruikt zal worden voor de huidige fossiele stromen. Mogelijk creëert het verminderde gebruik van fossiele koolwaterstoffen in de economie op langere

²⁵ De waterstofrijke versie is feitelijk de perhydrodibenzyltolueen (PDBT), maar omdat de afkorting DBT vaker gebruikt wordt, hanteren we deze in dit verdiepingsdocument.

termijn ruimte voor een efficiëntere opschaling van LOHC's, maar tot die tijd is de verwachting dat ook voor LOHC's nieuwbouw noodzakelijk is.

Op het publieke belang Betaalbaar scoren de LOHC's lager dan ammoniak en methanol, maar hoger dan LH₂, LSM en NaBH₄. Op het gebied van Betrouwbaar (leveringszekerheid) scoren LOHC's lager dan de stoffen die reeds op grote schaal vervoerd worden, zoals ammoniak, methanol en vloeibaar methaan (LNG), maar hoger dan andere relatief nieuwe/innovatieve dragers zoals LH₂ en NaBH₄.

Richtinggevende principes

De inzet op LOHC's draagt bij aan de beoogde diversificatie van waterstofdragers, om niet afhankelijk te zijn van één drager. Ook kunnen LOHC's een rol spelen bij de lange termijn opslag van energie. De opslag van LOHC's is stabiel, waardoor ze naar verwachting ook geschikt zijn voor strategische reservevorming of andere opslag voor langere termijn.

Net als bij LH₂ zou eventuele ondersteuning van LOHC's in het bijzonder gericht kunnen zijn op het vergroten van de betrouwbaarheid (leveringszekerheid), bijvoorbeeld waar het gaat om technologische ontwikkeling en verdere opschaling van conversie-installaties. Waarbij opgemerkt dient te worden dat sommige LOHC's verder zijn in de technologische ontwikkelingen dan andere; zie o.a. de bijlage van het rapport van de MCA voor meer details. LOHC's lenen zich goed voor conversie in de importhaven en verdere doorvoer via het waterstofnetwerk.

Voor een veilige en gezonde energietransitie vormen vooral het gebruik en mogelijk vrijkomen van ZZS bij bepaalde LOHC's een aandachtspunt. De ZZS kunnen ook worden gevormd tijdens het omzettingsproces. Van bedrijven wordt verwacht dat zij zich richten op het ontwikkelen van ketens zonder ZZS, zich maximaal inzetten om gebruik van ZZS te minimaliseren en waar dit niet mogelijk is, passende maatregelen te nemen om vrijkomen in de leefomgeving en blootstelling van mensen te minimaliseren.

Gebruiksfuncties

Eindgebruik als drager (direct gebruik)

Sommige LOHC's hebben bestaande toepassingen in de industrie, zoals toluen in de chemie en DBT als vloeistof voor warmtewisseling, maar dit geldt niet voor alle LOHC's. Dit betreft geen groeimarkten. Er is in de beoordeling daarom alleen gekeken naar ketens met eindgebruik van waterstofgas.

Eindgebruik als waterstofgas

De voorkeur gaat uit naar centrale conversie, in de importhaven en doorvoer van waterstofgas via het waterstofnetwerk. Vervoer van LOHC's via buisleidingen naar de gebruikslocatie (met lokale conversie) lijkt vooralsnog beperkt kansrijk omdat er sprake is van een retourstroom (de drager zonder waterstof) en er hiervoor twee buisleidingen nodig zouden zijn terwijl voor andere waterstofdragers één buisleiding volstaat. Daarnaast is vervoer per buisleiding voor bepaalde LOHC's waarschijnlijk niet mogelijk vanwege de viscositeit van de stof. De visie biedt ruimte voor het ondersteunen van toepassingen met decentrale conversie van LOHC's - bijvoorbeeld waar het niet voorzien is dat er een waterstofnet in de buurt gaat komen.

Voor locaties waarvoor centrale conversie geen optie is, bijvoorbeeld omdat er (nog) geen aansluiting is op het waterstofnetwerk, kan decentrale conversie tijdelijk een goede optie zijn. Voor de korte en middellange termijn biedt de visie ruimte om dergelijke ontwikkelingen niet-financieel te ondersteunen.

Voor de middelgrote stromen ziet het Kabinet graag dat dit vervoer waar mogelijk via binnenvaart afgewikkeld wordt. Als dit per spoor moet, dan het liefst via de Betuweroute. Voor kleine volumes is het ook mogelijk dat gebruik wordt gemaakt van wegvervoer.

Doorvoer van LOHC's voor decentrale conversie in Duitsland voor elektriciteitsopwekking wordt in verband met de omvang van de voor stroomopwekking benodigde volumes, op de middellange

termijn als ongewenst gezien. Dit mede vanwege de dan verwachte beschikbaarheid van een grensoverschrijdend buisleidingennetwerk voor waterstofgas.

Aanvullende specifieke overwegingen

Er zijn nieuwe, innovatieve LOHC's in ontwikkeling, onder meer bij Nederlandse bedrijven, die aangeven een LOHC te ontwikkelen zonder ZZS-eigenschappen en met lagere energiebehoefte bij het dehydrogeneren (het 'loskoppelen' van de waterstof uit de drager). Daarmee zouden deze LOHC's mogelijk een hogere score krijgen, en wellicht op termijn ook een optie worden voor decentrale processen. Het ruimtegebruik en vervoersveiligheid blijven echter een aandachtspunt, ook bij die betreffende LOHC's.

Methanol

Algemeen

Methanol is een bekende stof in de chemische industrie, die als klimaatneutrale waterstofdrager kan worden beschouwd als de koolstof die voor de productie van deze stof nodig is een niet-fossiele oorsprong heeft (bijvoorbeeld uit de atmosfeer wordt onttrokken). Wanneer de CO₂ die vrijkomt bij de conversie of het verbranden van methanol wordt afgevangen en eventueel hergebruikt kan daarmee een negatieve uitstoot worden gerealiseerd (koolstofverwijdering). Methanol is meegenomen in de MCA als vertegenwoordiger van een 'familie' van andere mogelijke koolwaterstoffen die ook als drager kunnen worden beschouwd (dimethylether, ethanol, e.d.) en die mogelijk ook een rol hebben in de toekomst. Draggers als ethanol en methanol zijn koolstofhoudend en daarmee tegelijkertijd koolstofdragers volgens de definitie van het NPE.

Publieke belangen

Methanol behaalt in de MCA, als bij de synthese in het exportland gebruik is gemaakt van koolstof uit industriële bronnen (afgevangen CO₂), een score in de middenmoot bij waterstof als eindgebruik. Zodra echter kan worden voorzien in voldoende duurzame koolstof voor de synthese, heeft methanol over de hele linie de hoogste score in de analyses.

Methanol heeft belangrijke maatschappelijke voordelen ten opzichte van andere waterstofdragers, voor zowel het intercontinentale vervoer als doorvoer binnen Nederland. Methanol hoeft niet gekoeld te worden en heeft ook geen retourstroom (tenzij de CO₂ wordt afgevangen en getransporteerd). Dit maakt het een relatief gemakkelijk hanteerbare stof om op te slaan en te vervoeren. Methanol verschilt niet wezenlijk van andere brand- en grondstoffen die reeds op grote schaal door Nederland worden vervoerd en dit leidt daardoor minder dan andere waterstofdragers tot nieuwe beleidsvragen. Methanol is een giftige stof, maar het eventueel vrijkomen ervan leidt niet tot een gifwolk zoals bij ammoniak.

Ondanks dat methanol koolstof bevat kan de keten klimaatneutraal worden gemaakt, wanneer bij de productie van de methanol koolstof een duurzame koolstofbron wordt gebruikt. Hiervoor zijn verschillende routes mogelijk. Duurzame koolstof omvat koolstof uit duurzame biograndstoffen, afgevangen CO₂ (uit de lucht of uit puntbronnen) en recyclaten. De EU Richtlijn hernieuwbare energie stelt voorwaarden aan koolstofgebruik. Duurzame koolstof is potentieel schaars. Daarom bevat het NPE uitgangspunten voor een zo hoogwaardig mogelijke inzet. De verduurzaming van methanol vereist een verdere ontwikkeling en monitoring van de duurzame koolstofketen. Een combinatie van duurzame koolstof, CO₂-afvang en opslag (CCS) bij het eindgebruik van methanol draagt bij aan het realiseren van negatieve emissies (koolstofverwijdering).

Richtinggevende principes

Methanol wordt al breed toegepast in de industrie; de vervoersmodaliteiten en opslagfaciliteiten zijn beschikbaar, al zal het bouwen van extra capaciteit nodig zijn. De visie biedt ruimte voor het (financieel) stimuleren van de ontwikkeling en opschaling van conversiefaciliteiten van methanol naar waterstofgas in de haven. Deze technologie is nog niet op grote schaal toegepast. Hetzelfde geldt voor technologieën om aan duurzame koolstof te komen, zoals Direct Air Capture (DAC).

Deze vorm van stimulering behoort onderdeel te zijn van de ontwikkeling van (een markt voor) negatieve emissies in de route naar klimaatneutraal in 2050. De inzet van methanol draagt bij aan de beleidsvoorkeur van diversificatie van waterstofdragers. Het bevorderen van vervanging van fossiele methanol door hernieuwbare methanol zou de keten in zijn totaliteit stimuleren en bovendien direct leiden tot reductie van broeikasgassen bij bestaande eindgebruikers.

Gebruiksfuncties

Eindgebruik als drager (direct gebruik)

Methanol kan net als ammoniak direct worden gebruikt als grondstof of als brandstof, maar geeft minder veiligheidsrisico. De visie biedt ruimte voor het stimuleren van ketens ten behoeve van direct gebruik van methanol, om zo het gebruik van fossiele grondstoffen in de industrie of fossiele brandstoffen in de industrie en mobiliteit te vervangen en deze sectoren te verduurzamen, aansluitend bij de gewenste ontwikkelingen voor de koolstofketen (NPE).

Vervoer van methanol verloopt bij voorkeur per buisleiding of per binnenvaart. Voor transport per buisleiding kunnen op termijn mogelijk vrijvallende oliebuisleidingen worden benut. Ketens ten behoeve van eindgebruik van methanol als koolstofhoudende grondstof in de industrie of als brandstof in de scheepvaart zijn als positief beoordeeld om gebruik van fossiele koolstofhoudende grondstoffen te vervangen. Als in het herkomstland veel moeite is gedaan om de koolstof te binden aan waterstof zou het weinig efficiënt zijn om deze koolstof in Nederland na gebruik weer te verliezen in de lucht, terwijl er een groeiende vraag is naar duurzame koolstof en koolstofverwijdering.

Bij direct gebruik als brandstof in de industrie en elektriciteitsopwekking heeft methanol (door de koolstof) het voordeel van een hogere energetische waarde. Deze toepassingen zijn in beginsel echter niet in lijn met de uitgangspunten uit het NPE voor de koolstofketen om duurzame koolstof vanwege de potentiële schaarste met name daar in te zetten waar geen alternatieven zijn. Voor elektriciteitsopwekking en energetisch gebruik in de industrie wordt in het NPE ingezet op alternatieve technologieën. Vanuit het oogpunt van een snelle transitie biedt de visie de ruimte om ketens ten behoeve van het direct gebruik van methanol te stimuleren. Methanol kan ook direct gebruikt worden als brandstof, met name in de scheepvaart; er zijn hiervoor al lopende initiatieven. Ook hier is vanuit de visie ruimte voor het stimuleren van de keten om gebruik van fossiele brandstoffen te vervangen.

Eventuele ondersteuning (stimuleren, faciliteren) dient primair gericht te worden op inzet als grondstof of als brandstof in de internationale mobiliteit omdat daar de mogelijke alternatieven naar verwachting schaarser zijn dan bij andere vormen van eindgebruik, waarbij er voorlopig behoefte blijft aan koolstofhoudende waterstofdragers als brandstof vanwege de energiedichtheid.

Eindgebruik als waterstofgas

Wanneer de methanol wordt geconverteerd naar waterstofgas is er voorkeur om dit te doen in de haven; direct bij de aanvoerlocatie. Bij centrale conversie is het eenvoudiger om de CO₂ af te vangen en op die manier – over de gehele keten beschouwd – zero-emissie of zelfs een negatieve emissie te realiseren. Verder is er in het algemeen relatief weinig bezwaar tegen vervoer, opslag en decentrale conversie van methanol in het land omdat het risicoprofiel vergelijkbaar is met stoffen die nu veelal worden vervoerd.

LSM (e-LNG)

Algemeen

Methaan is het belangrijkste bestandsdeel van aardgas en een bekende stof met een brede toepassing binnen Nederland. Vloeibaar gemaakte methaan wordt LNG (liquid natural gas) genoemd. Hernieuwbare alternatieven zijn bio-methaan (groen gas) of synthetisch methaan uit hernieuwbare waterstof (ook wel e-methaan). LSM – liquid synthetic methane, ook wel e-LNG – is de synthetische variant van LNG.

LSM (en ook synthetisch methaan) kan, net zoals methanol, als duurzame waterstofdrager worden beschouwd als bij de productie ervan gebruik gemaakt wordt van duurzame koolstof.

Bij het verbranden van methaan, of bij de conversie van methaan naar waterstofgas, komt koolstofdioxide vrij. Wanneer de koolstofdioxide (mits van duurzame herkomst) die vrijkomt bij de conversie naar waterstofgas of bij het verbranden van LSM wordt afgevangen en eventueel hergebruikt kan een blijvende negatieve uitstoot worden gerealiseerd. Naar verwachting is de DAC technologie op korte termijn (2030 / 2035) nog niet voldoende technologisch ontwikkeld, waardoor er op korte termijn ofwel van biogene CO₂ ofwel van fossiele bronnen voor de koolstof gebruik moet worden gemaakt. LSM op basis van niet-hernieuwbare koolstof is in dat geval minder duurzaam. De verdere verduurzaming van LSM kan goed, maar vereist een verdere ontwikkeling en monitoring van de duurzame koolstofketen. Een combinatie van duurzame koolstof, CO₂-afvang en benutting bij het eindgebruik van LSM kan negatieve emissies realiseren.

Publieke belangen

LSM heeft net als methanol in de basissituatie bij conversie naar waterstof een score in de middenmoot maar bij direct gebruik van de drager, bij gebruik van CCS en in variant 2050 (met koolstof uit DAC) een veel hogere score. Indien LSM met hernieuwbare koolstof wordt verdampt naar methaangas en vervoerd via het bestaande aardgasnet voor direct gebruik, behoort het tot de hoogst scorende opties gezien vanuit breed maatschappelijk perspectief. Die score is vergelijkbaar met directe toepassing van methanol en beter dan directe toepassing van ammoniak, voor zover de eindgebruiker de flexibiliteit heeft om tussen dragers te kiezen.

Als waterstofdrager, waar het waterstofgas dus uit losgemaakt moet worden, scoort LSM lager dan vloeibare waterstof en de twee LOHC's, met name door de lage score op het publieke belang Duurzaam. Op Duurzaam scoort LSM bij eindgebruik waterstofgas, net als methanol, lager dan de andere waterstofdragers voor 2030/2035 aangenomen dat de koolstof uit fossiele bronnen komt en de conversie naar waterstofgas dus tot (al dan niet vertraagde) fossiele koolstofdioxide uitstoot leidt. Richting 2050 verbetert de score op Duurzaam, omdat dan wordt aangenomen dat de benodigde koolstof voor de synthese via DAC uit de lucht wordt gehaald. Methaanlekage heeft daarnaast een eigenstandig groot broeikas effect waardoor LSM lager scoort op Duurzaamheid dan bijvoorbeeld methanol.

De productie (synthese) van methaan kost relatief veel energie. Net als bij methanol geldt voor LSM dat als in het herkomstland veel moeite is gedaan om de koolstof te binden aan waterstof, het weinig efficiënt zou zijn om deze koolstof in Nederland na reforming uit te stoten in de lucht, terwijl er een groeiende vraag is naar duurzame koolstof.

LSM scoort goed op het publieke belang Betrouwbaar. Dit heeft onder meer te maken met de volwassenheid van technieken en ketens.

LSM kan gebruik maken van bestaande infrastructuur voor LNG en aardgas. Voor wat betreft het publieke belang Veilig scoort LSM iets lager in vergelijking met andere waterstofdragers, met uitzondering van ammoniak dat aanzienlijk lager scoort. Op het belang Milieu scoort LSM relatief hoog; de voornaamste emissies (methaanemissies of CO₂ bij verbranding) tellen hoofdzakelijk²⁶ mee bij het belang Duurzaam waar LSM lager scoort. Op het publieke belang Betaalbaar scoort LSM als waterstofdrager relatief wat lager vanwege energieverliezen bij conversie naar waterstof en de extra te importeren volumes die nodig zijn om daarvoor te compenseren.

LSM scoort ook iets lager op het publieke belang Economisch krachtig. Dit komt vooral door de hogere kosten van de geïmporteerde drager, mede als gevolg van een relatief lage energie-efficiëntie op ketenniveau.

²⁶ Eco-toxiciteit en smogvorming methaan zijn meegenomen bij Milieu.

Richtinggevend principes

Het voornaamste verschil tussen LSM en LNG is de herkomst: productie met hernieuwbare energie, hernieuwbare waterstof en duurzame koolstof (bij LSM) of uit fossiele bronnen (bij LNG). Voor de opslag en het vervoer in Nederland kan gebruik worden gemaakt van bestaande infrastructuur: LNG-terminals, verdampingsinstallaties en aardgasinfrastructuur. Mogelijk moet er (tijdelijk) extra capaciteit voor de opslag en conversie van LSM bijgebouwd worden. De visie biedt ruimte om innovaties en optimalisaties in de LSM keten te faciliteren en waar nodig te stimuleren. Hiermee wordt de bestaande positie van Nederland als energiehub behouden of zelfs versterkt.

Gezien de ervaring met LNG en aardgas zijn er geen specifieke nieuwe veiligheids- of gezondheidsaspecten waar rekening mee hoeft te worden gehouden. Verdamping naar methaan of conversie naar waterstofgas in de importhaven heeft de voorkeur. Op die manier kan doorvoer plaatsvinden via het aardgasnet of bij conversie naar waterstofgas via het waterstofnetwerk.

Het bevorderen van vervanging van fossiel methaan door duurzaam methaan kan de keten in zijn totaliteit stimuleren en bovendien direct leiden tot reductie van CO₂-emissies bij bestaande eindgebruikers, mits de productie van duurzaam methaan niet concurreert met productie van andere koolstofrijke grondstoffen.

Gebruiksfuncties

Eindgebruik als drager (direct gebruik)

LSM zal met name de functie van LNG en/of aardgas vervangen doordat het hiervoor een klimaatvriendelijker alternatief biedt. Het kan ook als RFNBO (Renewable Fuel of Non-Biological Origin) worden geclassificeerd om de bindende Europese doelen in de RED voor gebruik van RFNBO's te halen.

LSM verdampt naar methaangas en vervoerd via het aardgasnet is een optie voor bedrijven om te verduurzamen als ze geen gemakkelijke toegang hebben tot waterstofinfrastructuur maar wel tot het aardgasnet. Vanwege de potentiële schaarste aan duurzame koolstof is de inzet uit het NPE wel om duurzame koolstofdragers (waaronder LSM) zo min mogelijk te gebruiken voor toepassingen waar ook koolstofvrije alternatieven haalbaar zijn. Daarnaast kan LSM ook vloeibaar worden ingezet in de mobiliteit, zoals zwaar wegverkeer (hoewel ook daar zoveel mogelijk wordt ingezet op koolstofvrije alternatieven) of scheepvaart waar al gebruik wordt gemaakt van LNG. De visie biedt ruimte voor ondersteuning van ketens van LSM ten behoeve van de verduurzaming van deze eindgebruikers.

Eindgebruik als waterstof

In plaats van conversie naar waterstof, is het logischer methaangas uit LSM direct toe te passen. Dit is efficiënter. Indien LSM wordt omgezet naar methaangas, zoals thans gebruikelijk bij LNG, maakt het weinig uit waar eventuele conversie naar waterstofgas plaatsvindt. Vervoer van dat methaangas kan dan immers plaatsvinden via het bestaande aardgasnet en voor opslag kan gebruik worden gemaakt van bestaande (ondergrondse) voorzieningen die op grote schaal beschikbaar zijn. Doorvoer als LSM via andere modaliteiten kan, maar is op grotere schaal minder wenselijk en voor de hand liggend met het oog op onder meer kosten, energie-efficiëntie, vervoerscapaciteit en veiligheid.

Aanvullende specifieke overwegingen

Omdat grijze (fossiele) waterstof reeds wordt geproduceerd uit methaan (aardgas) en uit geïmporteerde LNG is een scherpe monitoring van de duurzaamheid van LSM een belangrijk aandachtspunt. Om een belangrijke rol te spelen als waterstofdrager zijn voor LSM vooral verbeteringen nodig op het gebied van energie-efficiëntie en op de kosten van DAC en van de synthese van methaan. Op dit moment lijkt LSM op kosten beperkt concurrerend met andere waterstofdragers. Dit verandert indien voor DAC (of routes voor afvang van biogene CO₂) en de productie (synthese) van methaan een hogere efficiëntie kan worden bereikt.

Eventuele ondersteuning vanuit de overheid (financieel dan wel niet-financieel) zou vanuit de visie primair gericht kunnen zijn op deze technologische innovaties.

Gezien de sterke gelijkenissen van LSM met LNG kan bij het inzetten hierop de indruk ontstaan dat fossiele grondstoffen en bijbehorend infrastructuur in stand worden gehouden of dat er sprake is van lock-in. In de afwegingen rond het faciliteren en waar nodig stimuleren van LSM moet hiermee rekening worden gehouden.

NaBH₄ (natriumboorhydride)

Algemeen

Publieke belangen

NaBH₄ scoort in de MCA hoog op de publieke belangen Veilig, Rechtvaardig, Toegankelijk en Milieu. NaBH₄ heeft van de vergeleken dragers echter de laagste score op de publieke belangen Betaalbaar en Economisch krachtig. NaBH₄ is de duurste drager. Dit komt met name doordat zowel de productie van de drager als de recycling na afgifte van de waterstof zeer energie-intensief is. Ook is het dragermateriaal kostbaar. De hoge importkosten werken door in een lagere score op het publieke belang Economisch krachtig. Ook op het publieke belang Betrouwbaar scoort NaBH₄ relatief laag: het gaat om een nieuwe keten waarvan nog niet alle ketenstappen zijn gedemonstreerd en bewezen.

Voor het publieke belang Adaptief geldt dat opslagtanks en vervoersmiddelen ten opzichte van andere dragers goed kunnen worden hergebruikt voor andere stoffen; dit geldt echter niet voor de investeringen in conversie-installaties. Dit laatste weegt financieel zwaarder en geeft daardoor een relatief lage score op Adaptief. Binnen het publieke belang Duurzaam scoort NaBH₄ vergelijkbaar met andere dragers op broeikasgasemissies, maar laag op energiegebruik in de keten en op materiaalgebruik, door energie-intensieve productie en recycling van de drager en doordat boor een kritiek (zeldzaam) materiaal betreft. Dit geeft samen een lagere score op het publieke belang Duurzaam.

NaBH₄ is een vaste stof. Hierdoor zijn er diverse “niche” toepassingen denkbaar waar verduurzaming anders nagenoeg onmogelijk zou zijn. Dit is meegewogen in de beoordeling in de matrix.

Richtinggevende principes

Zoals aangegeven wordt een rol voor NaBH₄ vooralsnog alleen voor specifieke “niche”-toepassingen voorzien. NaBH₄ zal in dat opzicht – zeker in volume – op de korte en middellange termijn niet wezenlijk bijdragen aan de beoogde diversificatie van dragers. Ook voor Nederland als energiehub is voor NaBH₄ vooralsnog geen echte rol voorzien. In potentie kan NaBH₄ wel bijdragen aan een veilige en gezonde energietransitie, maar op dit moment zijn er voor deze drager nog enkele substantiële obstakels. Het is nog onzeker of deze op de langere termijn weggenomen kunnen worden, voor NaBH₄ zelf, dan wel voor een alternatieve stof die hier veel op lijkt, maar bijvoorbeeld niet afhankelijk is van de kritieke grondstof boor.

Gebruiksfuncties

Eindgebruik als drager (direct gebruik)

NaBH₄ kent geen directe toepassing als drager. Er zijn wel toepassingen gepresenteerd waarbij NaBH₄ als brandstof wordt ‘getankt’ en in het voertuig wordt omgezet naar H₂. Er blijft dan sprake van een restproduct dat gerecycled moet worden.

Eindgebruik als waterstof

Eindgebruik van waterstofgas vereist een conversie van NaBH₄ naar waterstofgas. De voorkeur gaat hierbij uit naar het tijdelijk stimuleren van centrale conversie in de importhaven, in verband met ruimtelijke clustering van de benodigde industriële activiteiten. Bij ontbreken van toegang tot het

landelijk waterstoftransportnet kan decentrale conversie tijdelijk worden gefaciliteerd, met name voor (kleinschalige) industrie en mobiliteit (nichetoeepassingen), mede gezien de hieronder genoemde beperkingen voor het vervoer. Door de stabiliteit van de vaste stof NaBH_4 (mits droog bewaard), is natriumboorhydride een geschikte drager voor langdurige opslag, hoewel het beslag op de schaarse grondstof boor een grootschalige bijdrage aan de energietransitie wellicht niet mogelijk maakt.

Aanvullende specifieke overwegingen

NaBH_4 biedt het gemak van een vaste stof en is stabiel mits absoluut droog bewaard en opgeslagen. NaBH_4 heeft als voordeel dat bij de reactie om de waterstof vrij te maken, er tweemaal zo veel waterstof vrijkomt als er bij de productie van de drager in is gestopt. Deze extra waterstof komt uit het water dat gebruikt wordt om de waterstof uit het zout vrij te maken. Hierbij komt ook in beperkte mate warmte vrij.

Over de gehele keten is er echter zeer veel energie nodig. Dit heeft te maken met het terugwinnen van natrium en boor uit de waterige zoutoplossing, de 'brine' (in het Nederlands pekkel), die overblijft na de reactie. Ook het recyclen en het produceren van NaBH_4 uit de retourstroom vergt veel ruimte en energie. Een ander nadeel van NaBH_4 is dat het afhankelijk is van de kritieke grondstof boor. Hierdoor zal NaBH_4 ook in de toekomst naar alle waarschijnlijkheid alleen in kleinere hoeveelheden beschikbaar kunnen komen.

Een belangrijke kanttekening is dat NaBH_4 op dit moment niet in bulk hoeveelheden vervoerd mag worden. Diverse internationale regelgeving voor vervoer van gevaarlijke stoffen maakt dat het vervoer van NaBH_4 vooralsnog niet mag plaatsvinden in tanks en grote verpakkingen en alleen is toegestaan in hermetisch afsluitbare vaten (stukgoed). Dit maakt toepassing in grote volumes minder rendabel of zelfs onmogelijk. Het verbod vloeit voort uit de Europese regelgeving voor het vervoer van gevaarlijke stoffen over de weg (ADR), het spoor (RID) en de binnenwateren (ADN), maar ook de mondiale voorschriften voor het vervoer van gevaarlijke stoffen over zee (IMDG-code). Het verbod hangt samen met de reactiviteit met vocht of water waarbij deze stof in grote hoeveelheden een heftige en gevaarlijke reactie kan geven.

7. Betekenis per type gebruiksfunctie en locatie

Algemeen

In dit verdiepingsdocument is met name uitgewerkt hoe de weging van de publieke belangen uit het NPE doorwerkt in de voorkeuren voor de verschillende dragers in combinatie met vervoersmodaliteiten en eindgebruik (type en locatie). De wijze van ordening in de matrixstructuur biedt een eindgebruiker, leverancier of andere stakeholder niet in één oogopslag een helder inzicht wat dit betekent voor de betreffende sector. Dit hoofdstuk geeft daarom een overzicht van de belangrijkste elementen uit dit verdiepingsdocument per gebruikersgroep en type eindlocatie.

Dit hoofdstuk biedt ten opzichte van het voorgaande hoofdstuk met name een andere wijze van presentatie, de algemene noties die daar genoemd worden, zijn ook hier relevant. De uitwerking per sector en per type eindlocatie is vrij beknopt en er zijn veel nuances te maken die niet allemaal even uitgebreid aan bod komen. Het moet vooral gelezen worden als de huidige stand van zaken zoals die nu op dit moment in beeld is, in het licht van het adaptieve karakter van de kabinetsvisie, namelijk dat ontwikkelingen in technologie en markt kunnen leiden tot nieuwe inzichten, maar dat het toetsingskader (op basis van alle publieke belangen) stabiel is. Verder nogmaals de opmerking dat de sturingsopties nog nader uitgewerkt moeten gaan worden in het vervolproces waar ook medeoverheden, havenbedrijven, netbeheerders bij betrokken worden. Tot slot de herhaalde markering dat de Rijksoverheid oog dient te hebben voor alle publieke belangen.

Toelichting per gebruiksfunctie

Gebruik van waterstof(drager) als grondstof bij de industrie

De industriële sectoren waar waterstofdragers in beeld zijn voor verduurzaming van grondstoffengebruik, zijn breder dan enkel de bedrijven die momenteel al gebruik maken van waterstof als grondstof of onderdeel van hun productieproces. Kijkend naar de huidige sectoren binnen de industrie, valt met name de kunstmestproductie op waar momenteel al relatief grote volumes ammoniak worden geproduceerd. Verder wordt in de raffinage van aardolieproducten veel waterstof gebruikt. In de toekomst zijn er naar verwachting meer sectoren die waterstof(dragers) als grondstof gaan toepassen, met name de chemische industrie voor het maken van producten waar nu nog veelal fossiele koolwaterstoffen worden gebruikt. Duurzame waterstofdragers met koolstof zijn daarbij specifiek in beeld.

Waar de industrie de waterstofdrager zelf nodig heeft als grondstof (ammoniak, methanol of LSM) biedt de visie ruimte om de drager te vervoeren naar de betreffende industriële locatie, zelfs als het gaat om ammoniak, al is er vanuit de visie dan een voorkeur te bezien of omschakelen naar een andere drager dan ammoniak mogelijk is. De voorkeursvolgorde voor de verschillende typen transportmodaliteiten is aan het begin van hoofdstuk 5 benoemd.

In het geval dat waterstof wordt gebruikt als grondstof is er vanuit de visie een duidelijke voorkeur voor conversie van de drager bij de plaats waar deze wordt aangeland en gebruik ter plaatse of transport van het waterstofgas via het landelijke transportnetwerk.

Gebruik van waterstof(drager) als brandstof bij de industrie

Waterstof of een waterstofdrager als brandstof in de industrie kent vooral toepassing bij hoog-thermische processen die lastig of niet te elektrificeren zijn. De benodigde volumes hierbij kunnen sterk verschillen, maar naar verwachting zal het doorgaans om substantiële hoeveelheden gaan. Voor sommige gebruikers zal de keuzemogelijkheid bestaan tussen meerdere duurzame opties (lees: verschillende waterstofdragers). Er zullen ook gebruikers zijn waar deze keuzemogelijkheid er niet of slechts zeer beperkt is, bijvoorbeeld vanwege hun ligging en de beschikbaarheid van transportmodaliteiten.

Waar het gaat om gebruik als brandstof is er in principe een voorkeur voor direct gebruik van waterstofdragers. Dit voorkomt energieverlies, emissies én extra ruimtegebruik of veiligheidsrisico's als gevolg van conversiefaciliteiten. Qua locatie voor dit eindgebruik gaat de voorkeur uit naar het gebied in of nabij de plaats waar deze wordt aangeland. Ook voor eindgebruikers op andere locaties geldt dat direct gebruik de voorkeur heeft. Dit geldt dan met name voor de dragers waarbij het vervoer relatief weinig impact oplevert voor de omgevingsveiligheid en in ruimtegebruik. Uitzondering hierop is ammoniakgebruik als brandstof, vanwege de specifieke stofeigenschappen. In het geval dat direct gebruik in de haven niet mogelijk is en een voldoende veilige ammoniakbuisleiding voor doorvoer ontbreekt, gaat de voorkeur uit naar conversie naar waterstofgas in de haven en doorvoer daarvan via het waterstofnet.

Voor waterstofdragers met koolstof zoals methanol en LSM geldt wel dat deze bij voorkeur zo hoogwaardig mogelijk worden benut en dat inzet als brandstof (met uitzondering van lucht- en scheepvaart) in principe wordt beperkt.

Als de industrie is gevestigd in de haven waar de waterstofdrager wordt aangeland, past het directe gebruik van de drager als brandstof in de visie, ongeacht het type drager zelf, omdat er dan geen transport van gevaarlijke stoffen buiten het industriecluster nodig is.

Gebruik van waterstof(drager) als brandstof bij elektriciteitsopwekking

Voor elektriciteitsproductie wordt veel geïnvesteerd in hernieuwbare energie uit wind en zon. Waterstof kan in dit energiesysteem een rol hebben bij op het moment dat de vraag naar elektriciteit groter is dan het aanbod vanuit hernieuwbare bronnen. Waterstofdragers kunnen bijdragen aan de leveringszekerheid van deze functie. Afhankelijk van de totale configuratie van het landelijke elektriciteitssysteem heeft bovengrondse opslag van waterstofdragers en ondergrondse opslag van waterstofgas in meerdere of mindere mate het karakter van 'communicerende vaten'.

Voor het gebruik van waterstof(dragers) als brandstof voor productie van elektriciteit geldt in beginsel hetzelfde als voor de brandstof bij de industrie, namelijk een voorkeur voor direct gebruik van de waterstofdrager – in het bijzonder bij eindgebruik in de haven – en het benutten van het waterstofnetwerk voor transport, in het geval van eindgebruik van waterstofgas. Een verschil is dat het bij de elektriciteitsproductie per definitie gaat om grote volumes, die op piekmomenten snel, dus bij voorkeur 'op voorraad', beschikbaar moeten zijn. Dit vereist voldoende capaciteit in de toeleverinfrastructuur (bijvoorbeeld het waterstofnetwerk) of een substantiële opslag van de drager bij de elektriciteitscentrale. In de haven waar de waterstof(drager) wordt aangeland zal veelal goed aan deze condities kunnen worden voldaan en past het gebruik van elk type drager in de visie.

Bij energiecentrales elders in het land of in Duitsland is er vanuit breed maatschappelijk perspectief een duidelijke voorkeur voor de dragers LSM en methanol, waarbij het vervoer en de opslag relatief weinig impact oplevert voor de omgevingsveiligheid en in ruimtegebruik. De enige wijze waarop ammoniak hier een rol kan hebben is wanneer dit via buisleidingen getransporteerd kan worden. Een dergelijke buisleiding zal aan zeer stringente eisen moeten voldoen. Transport van LOHC's naar Duitsland en eindgebruik en/of conversie van ammoniak elders in Nederland zijn op de langere termijn (bij het beschikbaar komen van betere alternatieven) minder wenselijk, en zal, op basis van de huidige inzichten, op langere termijn worden ontmoedigd. In het geval van de LOHC's heeft dat met name te maken met de relatief lage hoeveelheid van waterstof die vrijkomt uit deze drager, de potentiële volumes die nodig zijn voor elektriciteitsproductie zijn daardoor dusdanig groot dat sneller tot congestieproblemen zou leiden.

Gebruik van waterstof(drager) als brandstof voor mobiliteit

Onder mobiliteit wordt in dit verdiepingsdocument en de visie verstaan zowel mobiliteit op de weg, scheepvaart (binnenvaart en internationale vaart) en luchtvaart. Voor mobiliteit op de weg zal elektrificatie naar verwachting een belangrijke rol (blijven) spelen, maar met name voor zwaar transport en lange afstandstransport zal waterstof ook een rol hebben. Voor de lucht- en scheepvaart is de eventuele inzet van waterstofdragers met koolstof als methanol en LSM goed in lijn met het NPE. Voor wegtransport is de inzet om het gebruik van koolstofdragers op termijn af te bouwen.

In de internationale scheepvaart is daarnaast ammoniak in beeld als bunkerbrandstof. Bij gebruik van deze drager voor de zeevaart zal het bunkeren daarvan veelal mogelijk zijn nabij de plaats waar de drager wordt aangeland, in zeehavens. De visie biedt dan ruimte voor direct gebruik van elk type drager. Bij inzet van de waterstof(drager) voor binnenvaart, luchtvaart of wegtransport kan direct gebruik van de drager zelf als brandstof worden overwogen om energieverlies bij de conversie te voorkomen. Distributie van ammoniak naar tankstation, bunkerstations en luchthavens past niet binnen de lijn van de visie, aangezien er alternatieven beschikbaar zijn met een minder grote impact op de omgevingsveiligheid. Conversie van ammoniak naar waterstofgas op tankstations wordt ontmoedigd omdat dit aanvullend op de ongewenste distributie leidt tot extra ruimtelijke- en veiligheidsconsequenties als gevolg van een conversiefaciliteit (ammoniakkraker).

Toelichting per locatie

Gebruik in de zeehavens

In algemene zin hebben voor het gebruik van waterstof(dragers) of voor de conversie naar waterstofgas de zeehavengebieden de voorkeur als locatie boven decentrale activiteiten met waterstofdragers, omdat dit binnenlandse transportbewegingen voorkomt. Merk op dat dit een verdergaande clustering betekent van industriële activiteiten in gebieden waar de ruimte nu al schaars is en waar ook vanuit andere belangen, onder andere in het kader van de energietransitie, ruimte benodigd is. De ruimtelijke inpasbaarheid van activiteiten met waterstofdragers is daardoor niet automatisch een gegeven. Dit is een vraagstuk waar aan gewerkt wordt door de Rijksoverheid en medeoverheden binnen het programma Novex, en dat om nadere uitwerking vraagt onder andere in de Nota Ruimte.

Bij gebruik of conversie binnen de zeehavencomplexen biedt de visie de mogelijkheid van toeleveringsketens in de gevraagde vorm, waarbij direct gebruik van de drager de voorkeur heeft. Verder is de zeehaven ook de plek waar waterstofdragers omgezet kunnen worden naar waterstofgas om via het waterstofnetwerk verder getransporteerd te worden. In veel gevallen - en in het bijzonder voor ammoniak - is dat ook het meest wenselijke, vandaar dat er een sterke voorkeur is om eventuele kraakfaciliteiten voor ammoniak in de havengebieden te vestigen en niet decentraal, om zodoende transportbewegingen met ammoniak te voorkomen. De visie biedt dan ook ruimte voor ondersteuning van dit type activiteit.

Gebruik elders in Nederland

Bij gebruik elders in Nederland gaat het om het gebruik van waterstof of een waterstofdrager buiten de zeehavens, dus toepassing bij de verspreide industrie (het zesde industriecluster) of op industriepark Chemelot. Op Chemelot is momenteel al sprake van binnenlandse productie van waterstof (uit fossiele bronnen) en ammoniak, en ook van aanvoer van ammoniak via binnenvaart. Voor de verspreide industrie geldt dat daar momenteel nog zeer weinig sprake is van het gebruik van waterstof of waterstofdragers (anders dan aardgas – dat is hoofdzakelijk methaan, chemisch hetzelfde als methaangas uit LSM), maar dat de verduurzamingsopgave daar wel nadrukkelijk verandering in zal gaan brengen.

Ook bij gebruik elders in Nederland geeft de visie de voorkeur aan direct gebruik van de waterstofdrager. Uitzondering is de toeleveringsketen op basis van ammoniak: hier geeft de visie voorkeur aan conversie naar waterstofgas in de haven en transport via het waterstofnetwerk. Voor eventuele doorvoer van ammoniak is de buisleiding de meest gewenste modaliteit – mits voldoende veilig vormgegeven – of anders vervoer per binnenvaart. Voor eventueel transport per spoor geldt de Betuweroute als preferente

route, alleen lijkt die route vooral geschikt voor doorvoer naar Duitsland, in het bijzonder vanuit Rotterdam. Transport per spoor via andere routes is minder wenselijk. Voor methaangas uit LSM kan het aardgasnet gebruikt worden om dit naar de afnemer te transporteren. Merk wel op dat het distributienet van de regionale netbeheerders in de meeste gevallen niet redundant is uitgevoerd. Dit betekent dat er een keuze gemaakt moet worden of het relevante deel van het netwerk gebruikt blijft worden voor methaangas (in dit geval uit LSM) of omgebouwd wordt voor waterstofgas.

Voor de andere dragers geldt dat hergebruik van bestaande infrastructuur in de vorm van een distributienet van buisleidingen niet aan de orde lijkt en er bij een keuze voor direct gebruik van de drager zelf een nieuwe transportstroom zal ontstaan. Naarmate de impact hiervan groter is, onder andere op het gebied van omgevingsveiligheid en congestie van transportroutes, is dit minder wenselijk. In deze afweging spelen conversieverliezen ook een rol. Vanuit breed maatschappelijk perspectief is decentraal gebruik van ammoniak het minst wenselijk. Dit zal met het beschikbaar komen van betere alternatieven (qua waterstofdragers en infrastructuur) gaandeweg meer ontmoedigd worden. Voor de kortere termijn en bij het ontbreken van alternatieven biedt de visie echter wel ruimte hiervoor als tussenoplossing, met alle kanttekeningen en voorkeuren die al eerder genoemd zijn. Hieraan nog de toevoeging dat zowel de Rijksoverheid als medeoverheden bij eventuele initiatieven met risicovolle dragers als ammoniak vroegtijdig betrokken willen zijn, zodat meegedacht kan worden over hoe de impact op de samenleving zo beperkt mogelijk te houden.

Doorvoer naar Duitsland of België

Doorvoer naar Duitsland en doorvoer naar België zijn twee wezenlijk andere zaken, in de zin dat transport naar België doorgaans internationaal zeetransport betreft via de Westerschelde, dat formeel een zeearm is en geen binnenwater, richting Antwerpen. Dat is een hele andere situatie dan doorvoer naar Duitsland, waarbij de havens een hubfunctie vervullen voor met name industrie in het Ruhrgebied. Dit is industrie die veelal bereikbaar is via binnenvaart (de Rijn), maar er zijn ook grote transportstromen van goederen via het spoor en ook de weg. Dit geldt in mindere mate voor gevaarlijke stoffen, want minder dan 2% van het huidige vervoer van gevaarlijke stoffen gaat via het spoor. Bovendien is voor het goederenvervoer per spoor een specifieke spoorlijn aangelegd die niet door de Nederlandse binnensteden gaat: de Betuweroute. Het spreekt voor zich dat het gebruik van deze spoorroute ook de voorkeursroute is voor het transport van waterstofdragers, als dat niet mogelijk is via een buisleiding of via binnenvaart.

In welke mate volumes waterstofdragers naar Duitsland gaan is nog niet bekend. Een koppeling van het (Nederlandse) waterstofnetwerk naar Duitsland is in ieder geval wel gepland. Een onzekerheid die hiermee samenhangt is de vraag wat de totale energie- en grondstoffenvraag in de toekomst zal zijn van de Duitse industrie, en in hoeverre die via het waterstofnetwerk bediend zal worden. Bij doorvoer naar Duitsland of België is de aard van het eindgebruik veelal niet bekend. De voorkeur in de visie is dat wanneer grote transportstromen van waterstofdragers naar Duitsland nodig zijn, dit transport gebeurt via geconcentreerde stromen en bij voorkeur via buisleidingen. Wanneer buisleidingen nog niet gepland of beschikbaar zijn (omdat de volumes nog niet dermate groot zijn, of de aanleg ervan tijd vergt) is binnenvaart de voorkeursmodaliteit.

Het goederenvervoer via de Betuweroute naar Duitsland heeft de afgelopen paar jaar een flinke groei doorgemaakt. Transport van grote volumes van ammoniak of methanol via het spoor kan tegen capaciteitsgrenzen aan lopen. Voor transport naar Duitsland moet deze modaliteit dan ook vooral gezien worden als een potentiële tijdelijke- of terugvaloptie wanneer er bijvoorbeeld via de binnenvaart stremmingen zijn door lage waterstanden. Het transporteren van grote volumes per spoor heeft niet de voorkeur. Voor eventuele aansluiting op de Betuweroute is de haven van Rotterdam het beste gepositioneerd. Aansluiting vanuit Zeeland op de Betuweroute geeft het bezwaar van ammoniaktransport door binnenstedelijk gebied (met name door Zeeland en Brabant en bij de Drechtsteden). Voor op- en overslagactiviteiten met ammoniak die rekening houden met spoortransport als terugvaloptie geldt dan ook dat de haven van Rotterdam de voorkeur geniet boven de havens in Zeeland.

Slotopmerking

Als opgemerkt in de inleiding heeft de Rijksoverheid een grote mate van transparantie nagestreefd in het proces dat geleid heeft tot de huidige Kabinetsvisie waterstofdragers. De wens is om de waardevolle contacten met alle belanghebbenden te continueren, en verder de interactie tussen de belanghebbenden onderling aan te blijven moedigen.

Dit is een uitgave van:
Ministerie van Klimaat en Groene Groei

November 2024