



## MANAGEMENT SAMENVATTING

# GROENE WATERSTOF EN HERGEBRUIK BESTAANDE GASLEIDINGEN ALS OPLOSSING VOOR CONGESTIEPROBLEMATIEK

Haalbaarheidsonderzoek naar groene waterstof als mogelijke oplossing voor congestieproblematiek in het lokale elektriciteitsnetwerk in de regio Emmen

## ACHTERGROND

---

Nederland werkt volop aan de verduurzaming van haar energiesysteem. In deze energietransitie is een grote rol weggelegd voor opwekking van elektriciteit uit duurzame bronnen als zon en wind, ter vervanging van fossiele bronnen. Infrastructuur speelt daarbij een belangrijke rol. Door slim gebruik te maken van de bestaande infrastructuur voor gas en elektriciteit kunnen zoveel mogelijk vormen van duurzame energie optimaal benut worden tegen de laagste maatschappelijke kosten.

De verduurzaming van het energiesysteem stelt nieuwe eisen aan de infrastructuur en stelt de netbeheerder voor nieuwe uitdagingen. Een van de uitdagingen is dat de netwerkcapaciteit in een aantal gebieden niet voldoende is om toekomstige duurzame elektriciteit aan te sluiten.

Dit probleem van zogenaamde netwerkcongestie vergt verzwaring van het elektriciteitsnet op zowel lokaal als regionaal niveau. Dit vergt tijd, brengt veelal hoge kosten met zich mee en vertraagt mogelijk de realisatie van duurzame opwek. In de regio Emmen speelt dit probleem in het hier en nu. Het elektriciteitsnet in die regio beschikt over onvoldoende capaciteit om nog meer duurzame opwek uit zon en wind te accommoderen. Dit zorgt voor vertraging en biedt een slecht toekomstperspectief voor de nog te ontwikkelen zon- en windparken in die regio. Een alternatief voor netverzwaring is de inzet van de duurzame elektriciteit voor waterstofproductie en hergebruik van de bestaande gasinfrastructuur voor transport en/of opslag van waterstof. Dit voorkomt congestie, terwijl de industrie de waterstof kan inzetten voor het verduurzamen van processen die niet geschikt zijn voor elektrificatie.



# HAALBAARHEIDSONDERZOEK IN DRENTHE

---

Naar aanleiding van gesprekken tussen Enexis Netbeheer, Gasunie en NAM ('Consortium') over (i) verwachte knelpunten in het elektriciteitsnet, (ii) samenwerking in lopende groene waterstof initiatieven en (iii) de kansen die hergebruik van gasinfrastructuur biedt voor grootschalig waterstof transport en/of opslag, is de regio Emmen in Drenthe geselecteerd voor een casestudie. In de geselecteerde regio worden meerdere zon- en windparken gepland waarbij er zorgen bestaan over capaciteitstekort van het elektriciteitsnet. In deze studie is uitgegaan van 50 MW zon en 50 MW wind projecten die op korte termijn gerealiseerd zouden kunnen worden. Daarnaast zijn er in de nabijheid ondergrondse NAM-leidingen beschikbaar, is het in de buurt van de lopende waterstof initiatieven 'GZI Next' en de Europese samenwerking onder 'SEREH' en is er een potentiële lokale industriële waterstofafnemer.

In opdracht van het Consortium is aan DNV GL opdracht gegeven om een techno-economisch haalbaarheidsonderzoek uit te voeren naar het direct omzetten van lokaal opgewekte duurzame energie in groene waterstof en dit via omgebouwde bestaande gasleidingen naar industriële afnemers te transporteren. Dit zou naast het verzwaren van het elektriciteitsnet een alternatieve oplossing kunnen bieden voor de congestieproblematiek en de mogelijkheid bieden om lokaal opgewekte duurzame energie tijdig en volledig te benutten en vertraging van de energietransitie te voorkomen.



# OPLOSSINGEN VOOR CONGESTIE- PROBLEMATIEK

In deze studie zijn de volgende drie mogelijke oplossingen uitgewerkt:

## 1. Volledig elektrische oplossing

Directe elektriciteitsaansluiting en lokale verzwaring van het elektriciteitsnetwerk.

## 2. Lokale waterstofoplossing

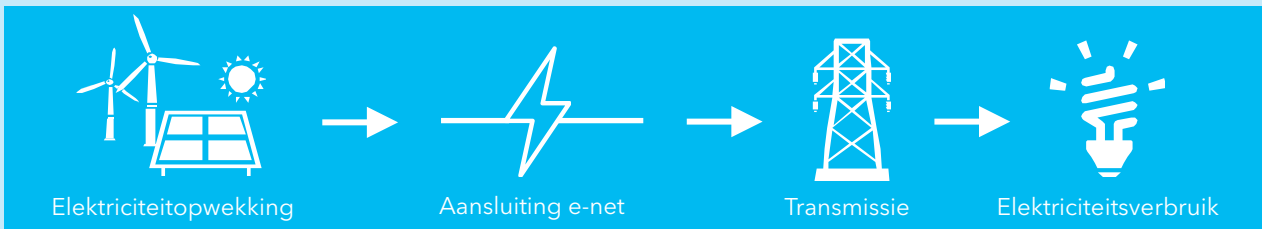
Elektrolyser op dezelfde locatie als waar duurzame energie wordt opgewekt.

## 3. Centrale waterstofoplossing

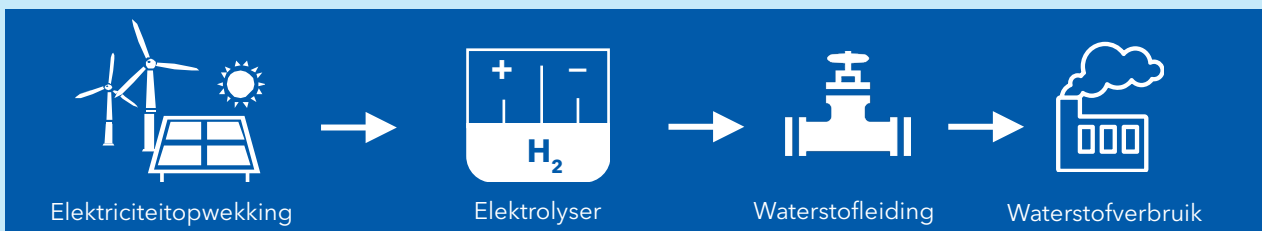
Elektrolyser op een centrale locatie bij de waterstofverbruikers.

In deze studie is gekeken naar integrale oplossingen, dit omvat een systeem waarbij lokaal opgewekte duurzame elektriciteit kan worden aangesloten op het elektriciteitsnet of op een lokaal of centraal geplaatste elektrolyser, waarbij ook gekeken wordt naar transport en lokale afname van waterstof. Het integrale systeem, inclusief de drie gekozen oplossingen zijn hieronder visueel weergegeven.

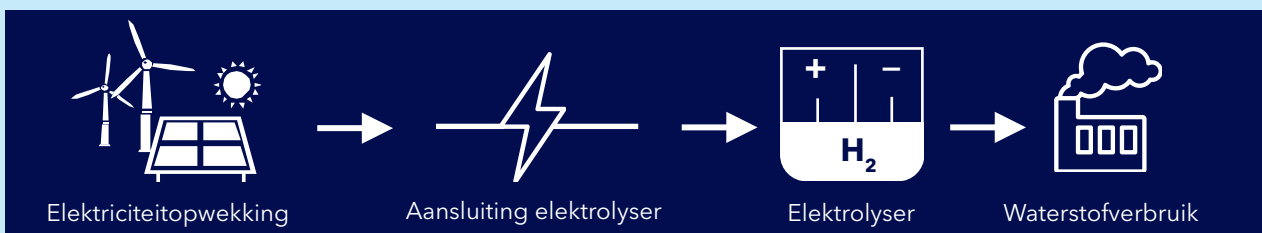
### 1. VOLLEDIG ELEKTRISCHE OPLOSSING



### 2. LOKALE WATERSTOFOPLOSSING



### 3. CENTRALE WATERSTOFOPLOSSING



## 1. OPWEKKING

Voor deze studie is verondersteld dat er in totaal 100 MW aan duurzaam vermogen wordt opgesteld, 50 MW wind en 50 MW zon. De toegepaste zon- en windprofielen zijn afgeleid van gerealiseerde opwek van een zonnepark in Drenthe (oost, west opstelling) en een windpark in Groningen. De profielen gaan uit van  $\pm 1070$  vollasturen voor zon en  $\pm 2200$  vollasturen voor wind.

Voor de waterstofoplossingen wordt er naast het gebruik van duurzaam opgewekte energie voor waterstofproductie ook gekeken naar aanvulling van elektriciteit uit het net wanneer er minder elektriciteit vanuit zon en wind wordt geproduceerd. De elektrolyser krijgt hierbij een netkoppeling waardoor er meer draaiuren kunnen worden gemaakt. De groenwaarde van de elektriciteit zal dan geborgd kunnen worden door certificaten.

## 2. AANSLUITING

Enexis Netbeheer heeft kosteninschattingen aangeleverd voor aansluiting middels elektriciteitskabels voor verschillende netwerkconfiguraties en verschillende capaciteiten, inclusief de benodigde netverzwaringen van het transportnet (TenneT). In de analyse zijn aansluitcapaciteiten van 20, 50 en 100 MW doorgerekend. Bij 20 en 50 MW wordt niet het volledige vermogen uit zon en wind aangesloten (gezamenlijk opwekvermogen is 100 MW) en zal er dus curtailment optreden (oftewel de potentieel opgewekte energie kan niet volledig worden afgenomen).

## 3. WATERSTOFTRANSPORT

De opties voor waterstoftransport zijn in deze studie in 3 verschillende tracés onderverdeeld:

- waterstoftransport via een bestaande omgebouwde NAM-leiding
- waterstoftransport via een nieuwe leiding en
- een nieuwe aan te leggen aansluitleiding naar de waterstof eindgebruiker.

## 4. CONVERSIE

Waterstof kan worden geproduceerd middels elektrolyse. Dit proces wordt ook wel 'Power to Gas' (P2G) of 'Power to Hydrogen' (P2H<sub>2</sub>) genoemd. Bij elektrolyse wordt het water (H<sub>2</sub>O) gesplitst in waterstof (H<sub>2</sub>) en zuurstof (O<sub>2</sub>) met behulp van elektrische energie. Op basis van fabrikantsgegevens en inzichten uit eerdere projecten zijn de huidige kosten en technische karakteristieken van elektrolyzers gebruikt, gegeven het feit dat deze zo spoedig mogelijk ingezet moeten kunnen worden. Hierbij is uitgegaan van een PEM elektrolyser met een efficiency van 70% en zijn verschillende capaciteiten (20/50/100 MW) doorgerekend.

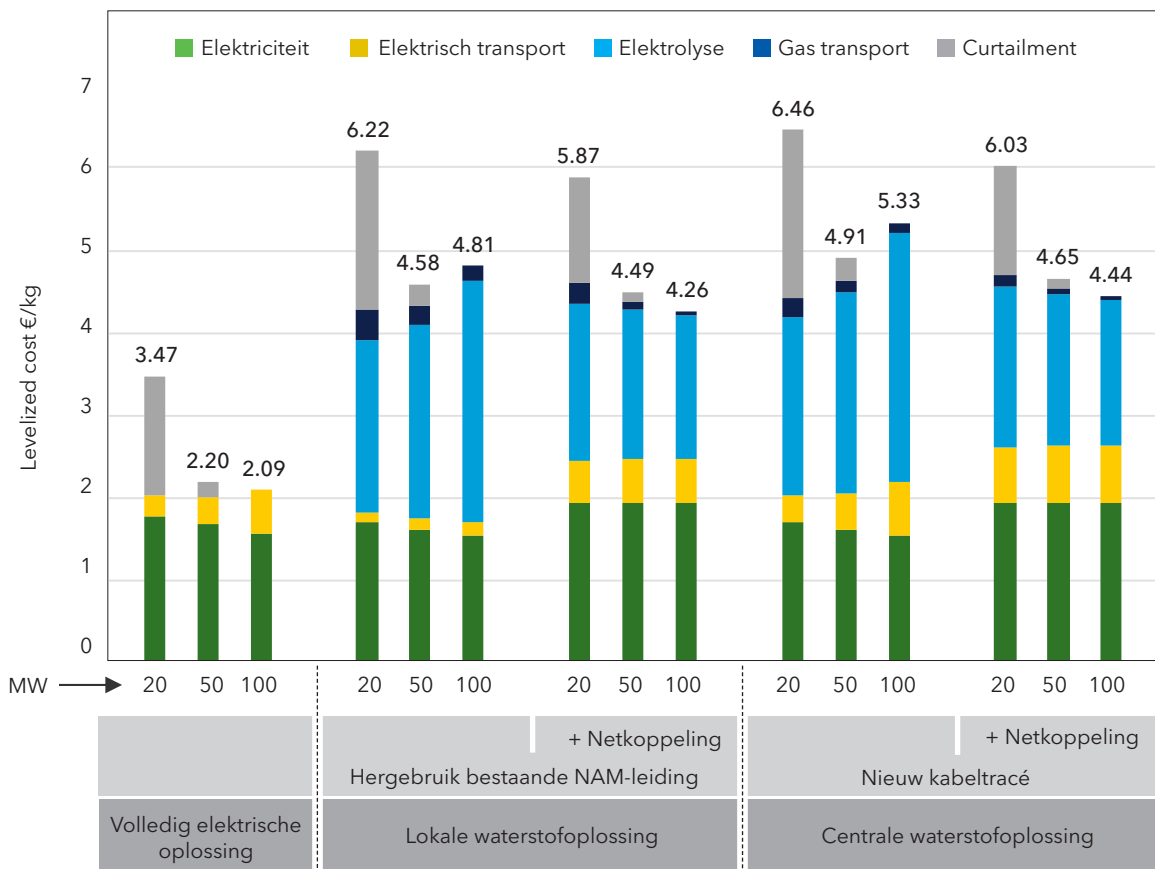
## 5. VERBRUIK

Voor de volledig elektrische oplossing wordt de aangenomen 100 MW duurzame opwekcapaciteit aangesloten op het elektriciteitsnet. Voor de centrale en lokale groene waterstofoplossing is er gekozen om een directe waterstofleiding te maken met industriële afnemers. De groen geproduceerde waterstof wordt middels nieuwe of hergebruikte waterstofleidingen aangesloten op een lokaal industrieterrein. Het systeem zoals hiernaast weergegeven is onder te verdelen in vijf hoofdonderdelen.

## KOSTEN EN OPBRENGSTEN

Voor het uitvoeren van de haalbaarheidsanalyse heeft DNV GL gebruikt gemaakt van een 'in-house' ontwikkeld model wat op basis van de inputgegevens de energiestromen berekent en daar een kosten- en opbrengstenberekening aan koppelt. De hoeveelheid geproduceerde waterstof verschilt per case. Om de cases op gelijke basis te kunnen vergelijken is daarom de levelised-cost of hydrogen (LCOH<sub>2</sub>) en elektriciteit (LCOE) berekend. Een overzicht van relevante resultaten is in onderstaande grafiek weergegeven. Op de horizontale as zijn de 3 verschillende oplossingen en bijbehorende varianten weergegeven.

Op de linker verticale as is de levelized-cost uitgedrukt in euro per kilogram waterstof. De volledig elektrische oplossingen worden ter vergelijking ook MJ/kg.). Hier wordt geen waterstof geproduceerd, maar kan duurzame energie voor die prijs aan het net worden geleverd. De volledig elektrische oplossing kan worden gerealiseerd tegen de laagste kosten. Hierbij wordt er wel van uitgegaan dat de geproduceerde elektriciteit altijd volledig kan worden geacommodeerd. In werkelijkheid is dit echter door congestieproblemen niet altijd mogelijk en zullen kosten moeten worden gemaakt voor netverzwaring, zoals het geval in regio Emmen.



# UITKOMSTEN

## Volledig elektrische oplossing versus waterstofoplossingen

De kosten voor een volledig elektrische oplossing, waarbij de zon- en windparken worden aangesloten op het elektriciteitsnet en het net wordt verzaamd, zijn significant lager dan de kosten voor de waterstofoplossingen. De energieverliezen zijn lager en ook worden er minder investeringskosten gemaakt. Hierbij moet worden opgemerkt dat er een vergelijking wordt gemaakt tussen twee verschillende energiedragers (elektronen en moleculen) welke verschillende markten bedienen. Daarnaast is het verschil in doortijden niet in de kostenberekening meegenomen.

## Lokaal versus centrale oplossing

Een lokale oplossing waarbij waterstof geproduceerd wordt direct bij de zon- en windproductie locaties in combinatie met het hergebruik van bestaande gasleidingen is goedkoper dan een centrale oplossing waarbij de elektrolyser wordt geplaatst dichtbij afnemers en er een additionele elektriciteitskabel nodig is vanaf de duurzame energieproductie locatie naar de elektrolyser.

## Capaciteiten

Zonder netkoppeling zijn de waterstofoplossingen het meest voordelig wanneer de capaciteit van het zon- en windpark voor zo'n 50% wordt benut. Bij 50 MW wordt er nog maar beperkt curtailment toegepast, maar kunnen de investeringskosten voor de elektrolyser vrijwel worden gehalveerd en wordt deze investering het beste benut. Met een netkoppeling is, door de additionele waterstofproductie met elektriciteit uit het net, de 100 MW oplossing het meest voordelig.

## Netkoppeling

Wanneer de elektrolyser aan het elektriciteitsnet wordt gekoppeld zijn de kosten per kg waterstof lager dan oplossingen zonder netkoppeling. Dit komt omdat in situaties waarin een netkoppeling gerealiseerd wordt er meer waterstof geproduceerd kan worden. Bij elektrolyse zonder netkoppeling wordt alleen waterstof geproduceerd van de duurzame elektriciteit uit het zon- en windpark en is er sprake van volledig groene waterstofproductie.

## Electriciteitsprijzen

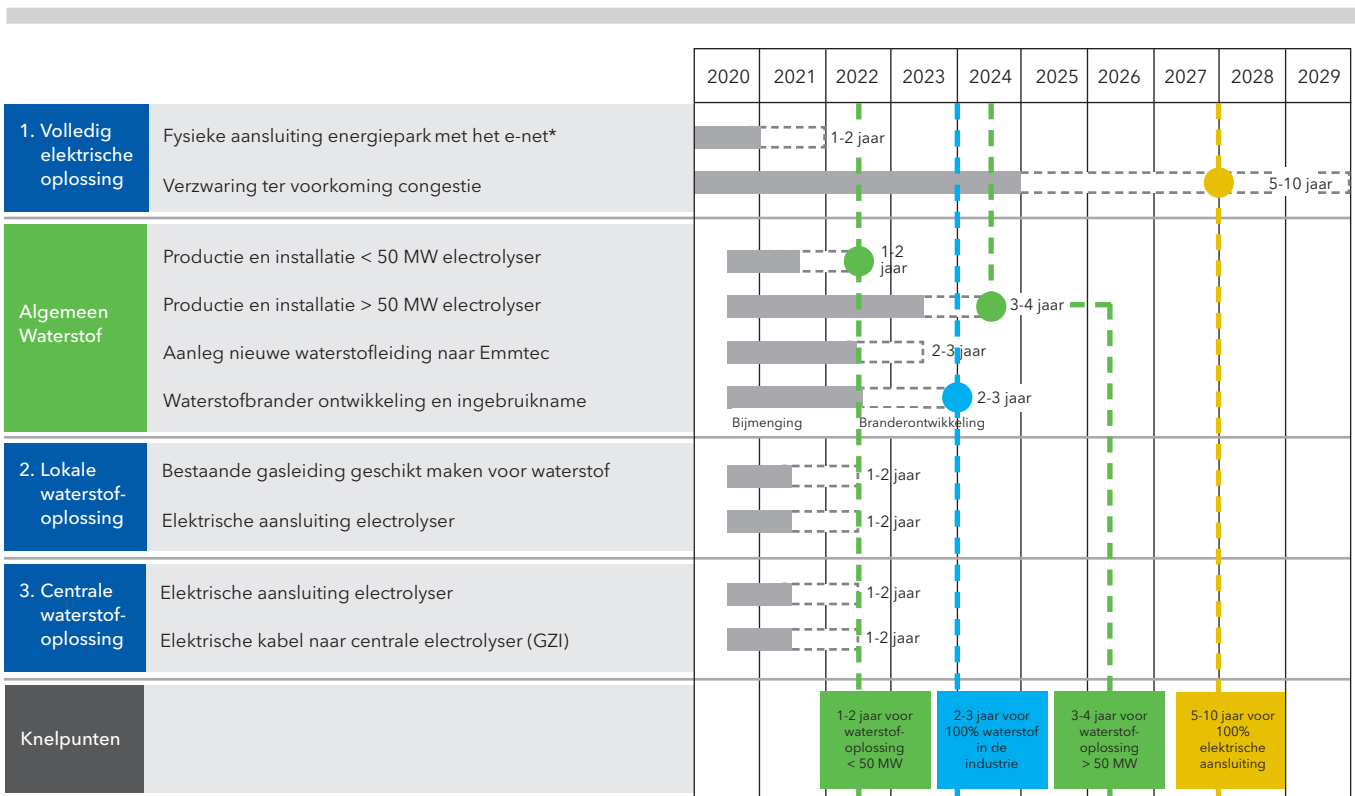
Uit de resultaten blijkt dat de kosten voor elektriciteit een belangrijke kostencomponent is voor de waterstofoplossingen. De studie heeft als uitgangspunt (stijgende) elektriciteitsprijspogrozes op basis van ENTSO-E scenario's gebruikt. De kosten voor elektriciteit zijn geheel afhankelijk van aannames ten aanzien van toekomstige prijzen voor elektriciteit. De gevoeligheidsanalyse laat zien dat bij verschillende aannames ten aanzien van de elektriciteitsprijzontwikkeling, voor de periode van het project, de  $LCOH_2$  tussen de 13% tot 29% kan dalen wanneer de huidige elektriciteitsprijzen of lager worden aangenomen.

Door de elektrolyser alleen in te zetten bij lage elektriciteitsprijzen kan de waterstof goedkoper worden geproduceerd. Dit leidt echter tot een beperkt effect van 2-3% van de waterstofprijz. Het optimaliseren op basis van elektriciteitsprijzen wordt interessanter op het moment dat er hoge pieken of dalen zijn en/of er langere periodes van relatief hoge en/of lage elektriciteitsprijzen worden gerealiseerd. Logischerwijs is dit het gevolg van een groter aandeel duurzame energie op de elektriciteitsmarkt.

## DOORLOOPTIJDEN

In gebieden waar congestie in het elektriciteitsnet verwacht wordt is naast het kostenaspect voornamelijk de doorlooptijd voor het kunnen realiseren van een aansluiting van groot belang. Uitgangspunt van de analyse, is dat een keuze voor één van de oplossingen voor congestieproblematiek en de investeringsbeslissing genomen zijn voor 1 juli 2020.

In onderstaande figuur wordt een overzicht gegeven van de doorlooptijden voor de verschillende oplossingen. Uit de analyse blijkt dat de langste doorlooptijd wordt verwacht voor de volledig elektrische oplossing, een waterstofoplossing kan na de investeringsbeslissing binnen 2 jaar gerealiseerd worden.



\* Voor volledige ontsluiting is zowel een fysieke aansluiting nodig als de verzwarende van het elektriciteitsnet

# CONCLUSIES

## Verkorten doorlooptijden en versnellen energietransitie

Lokale waterstofproductie in gebieden met veel duurzame opwek, zoals regio Emmen, biedt kansen voor netbeheerders om congestie te voorkomen en nieuwe duurzame opwek sneller te accommoderen. Uit het onderzoek blijkt dat voor de situatie in Emmen, een lokale oplossing, namelijk elektrolyse dicht bij de bron, in combinatie met het hergebruik van bestaande gasleidingen de meest efficiënte oplossing is. Wanneer een netverzwaring door waterstofproductie wordt voorkomen, kan de aansluiting van het zon- of windpark significant versneld worden. Op deze wijze kunnen netbeheerders de energietransitie volledig faciliteren en zelfs versnellen door aansluitingen van duurzame energieparken nu en in de toekomst te kunnen blijven garanderen.

## Groene oplossing voor anders moeilijk te decarboniseren industrieën

Daarnaast biedt de geproduceerde groene waterstof een kans voor (lokale) industrieën en mogelijk ook andere sectoren (zware mobiliteit, vrachtovervoer) om hun klimaatdoelstellingen te realiseren. Deze kunnen waterstof als grond- of brandstof gebruiken in plaats van fossiele brandstoffen.

## Verskil tussen waterstofkosten en opbrengsten op termijn overbrugbaar

Indien de duurzaam opgewekte elektriciteit zonder vertraging aan het net kan worden geleverd is een waterstofoplossing op dit moment een duurder alternatief. Echter is dit door de benodigde verzwaring niet het geval. De huidige delta tussen waterstofkosten en opbrengsten kunnen in de toekomst van twee kanten verkleind worden. Namelijk door het verlagen van de kosten en/of het verhogen van de opbrengsten.

1. De kosten van waterstofoplossingen worden voor namelijk gedreven door de energiekosten en de CAPEX van de elektrolyser. De prijzen voor elektriciteit worden in de toekomst steeds volatieler met periodes van hoge en lage prijzen. De waterstofoplossingen kunnen profiteren van deze volatiliteit en waterstof produceren bij

lage elektriciteitsprijzen. Door middel van professionalisering en opschaling van de elektrolysermarkt wordt ook verwacht dat de CAPEX significant kan worden gereduceerd. Daarnaast kunnen de kosten middels stimuleringsmaatregelen (zoals investerings-subsidies) verder gereduceerd worden.

2. Aan de opbrengsten kant kunnen afnemers worden geïdentificeerd die bereid zijn meer te betalen voor groene waterstof. Een hogere waarde voor groene waterstof kan ook bereikt worden doordat alternatieven (zoals grijze waterstof en/of volledige elektrificatie) in de toekomst duurder worden (bijvoorbeeld CO<sub>2</sub> belastingen).

Daarnaast worden de prijzen voor elektriciteit steeds volatieler met periodes van hoge en lage prijzen. De waterstofoplossingen kunnen profiteren van deze volatiliteit, maar zijn sterk afhankelijk van de lokale omstandigheden.

## Hergebruik gasleidingen

Het gebruiken van bestaande lokale infrastructuur blijkt een voordelige optie voor transport en opslag of buffering van grootschalige hoeveelheden duurzame energie in de vorm van waterstof ten opzichte van nieuwe elektriciteitskabels of nieuwe gasleidingen. Bestaande gasleidingen, zoals die van NAM en Gasunie, bieden capaciteit om veel waterstof te transporteren waardoor de leiding beter wordt benut en de investering doelmatiger wordt dan in deze studie aangenomen. Ook mogelijkheid van opslag of buffering in leidingen (enkele dagen tot een week) kan waardevol zijn in het oplossen van netwerkcongestie en biedt extra flexibiliteit aan het energiesysteem. Daarnaast zou er rekening moeten worden gehouden met ontmantelingskosten voor situaties waarbij gasleidingen niet kunnen worden hergebruikt, echter zijn er vaak andere opties voor hergebruik zoals transport van biogas. Tot slot kan de lokale waterstofinfrastructuur in de toekomst verbonden worden met de waterstof backbone van Gasunie. Hierdoor kunnen in de toekomst nog grotere volumes waterstof geleverd worden aan de industrie en kunnen ook andere potentiële afnemers bereikt worden met lokale waterstofinitiatieven.

## TOEKOMSTBEELD

Het is waarschijnlijk dat elektrolyse steeds vaker zal worden ingezet voor de productie van waterstof en als kansrijke oplossing in het toekomstige duurzame energiesysteem. De volgende situaties zullen zich in de toekomst steeds vaker voor doen:

- Situaties waar de elektrische infrastructuur door congestie niet toereikend is en waar verzwaring kostbaar is of niet tijdig kan worden gerealiseerd.
- Situaties met eindverbruikers die niet kunnen elektrificeren of waar elektrificeren hogere investeringen teweegbrengt dan overschakeling naar waterstof.
- Situaties waar CO<sub>2</sub> vrije waterstof als grondstof nodig is.
- De situatie waarin langdurige onbalans in het energiesysteem ontstaat door een groeiende hoeveelheid (fluctuerende) duurzame energie.

Hierdoor zullen waterstofoplossingen een steeds aantrekkelijkere optie worden en zal de economische haalbaarheid toenemen in de context van het toekomstige duurzame energiesysteem. De resultaten uit deze studie moeten daarom ook in de toekomstige context worden bekeken, waarin maatwerk en duurzame oplossingen het uitgangspunt zijn. Bovendien zal de vraag naar waterstof en grootschalige opslag van duurzame energie een impuls geven om de huidige gasinfrastructuur te gebruiken voor transport en opslag.

Ook andere ontwikkelingen zullen de haalbaarheid hoogstwaarschijnlijk positief beïnvloeden: de verwachte kostenreductie van elektrolyzers, een mogelijke daling van elektriciteitsprijzen, in combinatie met toenemende prijsvolatiliteit en de verwachte groei van de waterstofmarkt, transport- en opslaginfrastructuur.

## VERVOLGSTAPPEN

Om waterstofoplossingen mogelijk te maken wordt aanbevolen:

- in een vroeg stadium potentiële waterstof projecten/locaties te identificeren en te verkennen. Bij de afweging om al dan niet conversie te plaatsen goed rekening te houden met toekomstige elektriciteitsprijzen bij gelijktijdige productie van elektriciteit uit zon/wind (die tot negatieve kan leiden).
- aandacht te besteden aan de mogelijkheid de elektriciteitsprijzen in contracten specifiek voor elektrolyzers vast te leggen,
- verkennen en bevorderen van beleidsmaatregelen met een verwacht positief effect op waterstofoplossingen het starten van projecten om te leren en haalbaarheid te demonstreren,
- cases/verbruikers identificeren waarbij waterstof, ten opzichte van andere verduurzamingsopties zoals elektrificatie, een (economisch) haalbare optie is.





**DNV GL**

Energieweg 17  
9743 AN Groningen  
The Netherlands  
Tel: +31 50 7009700  
Email: [contact.gcs@dnvgl.com](mailto:contact.gcs@dnvgl.com)  
[www.dnvgl.com](http://www.dnvgl.com)

**DNV GL**

We are the independent expert in risk management and quality assurance. Driven by our purpose, to safeguard life, property and the environment, we empower our customers and their stakeholders with facts and reliable insights so that critical decisions can be made with confidence. As a trusted voice for many of the world's most successful organizations, we use our knowledge to advance safety and performance, set industry benchmarks, and inspire and invent solutions to tackle global transformations.