



Ervaringen en lessen van hernieuwbare waterstofprojecten

Een inventarisatie op basis van interviews met projectontwikkelaars

In opdracht van het ministerie van Economische Zaken en Klimaat

Ervaringen en lessen van hernieuwbare waterstofprojecten

Een inventarisatie op basis van interviews met
projectontwikkelaars



TNO-2026-16946 – mei 2026

Ervaringen en lessen van hernieuwbare waterstofprojecten

Een inventarisatie op basis van interviews met
projectontwikkelaars

Auteurs	Arend de Groot, Marcel Weeda
Rubricering rapport	TNO Publiek
Aantal pagina's	42 (excl. voor- en achterblad)
Aantal bijlagen	4
Opdrachtgever	Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO)
Projectnaam	Inventarisatie ervaringen met elektrolyzers
Projectnummer	060.66213

Alle rechten voorbehouden

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van TNO.

© 2026 TNO

Dankwoord

Dit project is gebaseerd op interviews met ontwikkelaars van waterstofprojecten, die ruim de tijd hebben genomen om de vragenlijst door te nemen, om tijdens een uitvoerig interview vragen te beantwoorden en daarna ons gespreksverslag nog eens hebben nagekeken of wij hen goed hadden begrepen. Wij danken hen voor de waardevolle informatie die zij met ons gedeeld hebben om dit rapport te maken:

Ruben Burggraaf (Novar, H2 Hollandia); Wilko van Kampen (XINTC, Experience Center); Ben Tubben (DEP/Alliander, Sinnewetterstof); Olaf Zwiggelaar en Peter-John Stehouwer (Gasunie, HyStock); Aldwin Ochies en Carl Holthausen (Holthausen Clean Tech, Groengas Asset/Holthausen Energy Points); Jos Boere en Ron Bol (Hysolar); Jan Bastiaan (H2-Go); Bas van de Werff en Roel Aretz (Shell, Holland Hydrogen 1).

Inhoudsopgave

1	Inleiding.....	4
2	Aanpak	5
3	Algemene schets van de projecten en terminologie	6
3.1	Terminologie en definities.....	6
3.2	Doel van de waterstofprojecten	6
3.3	Status van de waterstofprojecten	7
4	Overzicht van ervaringen	8
4.1	Projectvoorbereiding en ontwikkeling	8
4.2	Bouw elektrolyser en waterstofinstallatie	14
4.3	Commissioning en operationele fase	16
5	Kennisopbouw door de waterstofprojecten	22
6	Conclusies en aanbevelingen	24
6.1	Conclusies	24
6.2	Aanbevelingen voor projectontwikkelaars	26
6.3	Aanbevelingen voor beleidsmakers	27
Bijlagen		
Bijlage A:	Beschrijving van de individuele projecten	29
Bijlage B:	Vragenlijst voor interviews	37
Bijlage C:	Checklist voor leveranciers (aanzet)	39
Bijlage D:	Suggesties voor nader onderzoek en ontwikkeling	41

1 Inleiding

Sinds het klimaatakkoord van Parijs is er een toenemende belangstelling voor waterstof. In het bijzonder gaat het om waterstof die wordt geproduceerd door het splitsen van water met behulp van hernieuwbare elektriciteit. Dit wordt in het algemeen hernieuwbare of groene waterstof genoemd. Waterstof kan zo een belangrijke rol spelen bij de grootschalige absorptie van variabel aanbod van zon- en windenergie in het energiesysteem. Het biedt de mogelijkheid om hernieuwbare energie van zon en wind voor langere tijd vast te leggen in de vorm van een hernieuwbare energiedrager die relatief eenvoudig in grote hoeveelheden is op te slaan en veelzijdige toepassingsmogelijkheden kent die complementair zijn met hernieuwbare elektriciteit.

In de eerste plaats kan hernieuwbare waterstof de huidige productie van waterstof vervangen die plaatsvindt met aardgas waarbij CO₂ vrijkomt. Als gasvormige brandstof kan het ook de inzet van fossiele brandstoffen vervangen in de industrie, de vervoer- en transportsector en voor de productie van elektriciteit. Verder kan hernieuwbare waterstof als industrieel gas in combinatie met stikstof of duurzame vormen van koolstof dienen als grondstof voor circulaire en hernieuwbare chemie en de productie van duurzame synthetische brandstoffen voor bijvoorbeeld de luchtvaart en zeescheepvaart. Tot slot kan hernieuwbare waterstof worden gebruikt in nieuwe processen voor de reductie van ijzererts in de productie van groen staal.

De Nederlandse hernieuwbare waterstofsector bevindt zich midden in een uitdagende pioniersfase. Het beleidsmatige kader voor productie en inzet van hernieuwbare waterstof ontwikkelt zich snel maar is nog niet uitgekristalliseerd. Er zijn diverse subsidie-regelingen die innovatie en opschaling van hernieuwbare waterstofproductie stimuleren, zoals de EKOO, DEI+, IPCEI, OWE en SDE++ regeling. Stimulering van de marktvraag is aanvankelijk echter achtergebleven waardoor de realisatie van hernieuwbare waterstof-projecten en de inzet van hernieuwbare waterstof nog geen vlucht hebben genomen.

Initiatieven van koplopers in de afgelopen jaren hebben er niettemin toe geleid dat ondertussen de eerste ervaringen met hernieuwbare waterstofproductie door elektrolyse zijn opgedaan. Bij aanvang van deze studie zijn een tiental installaties in aanbouw of in gebruik genomen. In dit rapport staan acht van deze projecten centraal met verschillende doelen, schaalgrootte, omgevingscontext en technische uitdagingen rond systeemintegratie. Voor deze projecten is een inventarisatie gemaakt van ervaringen die zijn opgedaan bij de ontwikkeling van de projecten, en bij de bouw en de ingebruikname van de installaties. Het doel van dit onderzoek is om deze ervaringen en lessen die daaruit volgen breed te verspreiden zodat ze kunnen worden gebruikt bij de ontwikkeling en realisatie van nieuwe hernieuwbare waterstof-projecten op basis van elektrolyse.

2 Aanpak

Voor dit onderzoek zijn in overleg met Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO) acht hernieuwbare waterstofprojecten geselecteerd (**Tabel 2.1**). Om informatie te verzamelen over ervaringen die zijn opgedaan bij de ontwikkeling van de projecten en de bouw en ingebruikname van de waterstofinstallaties zijn interviews gehouden met de project-ontwikkelaars. In Bijlage A is een korte omschrijving van de projecten opgenomen.

Voorafgaand aan de gesprekken is een interviewprotocol opgesteld dat is afgestemd met RVO. De lijst met vragen is voorafgaand aan de interviews toegestuurd zodat partijen zich konden voorbereiden. De vragenlijst is opgenomen in Bijlage B.

De interviews zijn op locatie gehouden. Voor de interviews is twee uur uitgetrokken. Tijdens de bijeenkomsten is de vragenlijst uiteindelijk

vooral als leidraad gebruikt in plaats van vraag voor vraag af te werken. De interviews hadden meer de vorm van een gesprek.

De interviews zijn opgenomen en na afloop uitgewerkt en gecombineerd met de lijst met gespreksonderwerpen. De uitgewerkte interviews zijn ter beoordeling voorgelegd bij de geïnterviewde partijen met het verzoek om indien nodig de informatie te corrigeren en aan te vullen waar mogelijk. Bij uitblijven van een reactie is aangenomen dat de toegestuurde uitwerking akkoord is.

De uitgewerkte en gecorrigeerde versies van de interviews hebben vervolgens als basis gediend voor dit rapport. Een conceptversie van het rapport is voorgelegd aan de partijen om te controleren of het geen informatie bevat die herleidbaar is naar de projecten en gevoelig zou kunnen zijn.

Tabel 2.1: Geselecteerde hernieuwbare waterstofprojecten voor de interviews

Projectnaam	Projectontwikkelaar	Locatie	Capaciteit elektrolyser
HyStock	EnergyStock (Gasunie)	Zuidwending	1 MW
Sinnewetterstof	Alliander en Groenleven	Oosterwolde	1,4 MW
H2-Go	H2-Go B.V.	Hessenpoort (Zwolle)	1 MW
Hysolar	Hysolar B.V.	Nieuwegein	2,4 MW
Groengas Asset/Holthausen Energy Points	Clean Energy B.V.	Groningen/Amsterdam	2 x 2,5 MW
H2 Hollandia	H2Hollandia B.V.	Nieuw-Buinen	5 MW
Holland Hydrogen 1	Shell	Maasvlakte	200 MW
Experience Center	XINTC	Kootwijkerbroek	0,4 MW (2,4 MW)

3 Algemene schets van de projecten en terminologie

Dit hoofdstuk licht enkele begrippen toe om de opbouw van een elektrolysesysteem en het verschil tussen een elektrolysesysteem en een waterstofsysteem te verduidelijken. Verder bevat het hoofdstuk een korte beschrijving van het doel en de status van de projecten.

3.1 Terminologie en definities

Hoewel de termen waterstofproject en elektrolyserproject veelvuldig door elkaar worden gebruikt kan de strekking van deze projecten verschillend zijn. Een waterstofproject is in principe veelomvattender dan een elektrolyserproject. Voor de duidelijkheid worden in het kader van dit rapport de volgende begrippen en definities gebruikt:

- › **Een (elektrolyse) stack**; dit is het hart van een elektrolyser. Het is een stapeling van elektrolysecellen waar de splitsing van water in waterstof en zuurstof plaatsvindt;
- › **Een elektrolysemodule**; dit betreft een samenstel van een of meerdere stacks met in het algemeen een transformator en gelijkrichter voor de gelijkstroomvoorziening van de stack(s), en voorzieningen voor scheiding van vloeistoffen van zuurstof en waterstof nadat deze de stack hebben verlaten;
- › **De balance-of-plant (BoP)** van een elektrolyser; dit omvat alle overige onderdelen die nodig zijn voor de werking van de stack, met onder andere een voorziening voor productie of levering van gedemineraliseerd water (demi-water), de voorzieningen voor het drogen en zuiveren

van de waterstof (en eventueel de zuurstof), een koelsysteem, een meet- en regelsysteem en voorzieningen voor de veilige werking van het totale systeem. Soms wordt er alleen onderscheid gemaakt tussen de stack(s) en de BoP, ook wel balance-of-stack (BoS). In dat geval worden dan ook de transformator en gelijkrichter en voorzieningen voor gas-vloeistofscheiding tot de BoP gerekend;

- › **Een elektrolysesysteem of elektrolyser**; dit is het geheel van de stack of elektrolyse-module met de BoP geïntegreerd in een werkend systeem voor productie van waterstof;
- › **Een waterstofsysteem** op basis van elektrolyse van water (hierna kortweg een waterstofsysteem of waterstofinstallatie); dit omvat een elektrolysesysteem en overige componenten die nodig zijn voor de water- en elektriciteitsvoorziening van het elektrolysesysteem en de aflevering van waterstof aan klanten. Dit laatste kan een tankzuil op een tankstation zijn, een terminal voor het vullen van gasflessen of tube trailers of een aansluiting op een waterstof-pijpleiding. Naast tankzuil, terminal of verbinding met een pijpleiding zijn in een waterstofsysteem dan ook meestal lokale (tussen)opslag en een compressor nodig.

3.2 Doel van de waterstofprojecten

Van de acht projecten in dit onderzoek zijn er vier die hebben aangegeven dat ‘demonstratie’ en ‘leren’ belangrijke doelen zijn van het project. Hiertoe behoren de eerste twee projecten die

zijn ontwikkeld toen er nog vrijwel geen ervaring was met elektrolyzers, te weten het HyStock project van Gasunie-dochter Energystock, en het Sinnewetterstof project van Alliander en Groenleven. Bij het project van Shell is het uitgangspunt dat de schaa sprong noodzakelijk is om voldoende te kunnen leren voor verdere opschaling naar een schaalgrootte die past bij hun toekomstige duurzame industriële activiteiten. Het project van XINTC beoogt de demonstratie van de eigen technologie om een werkend systeem aan de markt te kunnen tonen en zo potentiële klanten te overtuigen van de kwaliteit van de technologie. Andere expliciete leerdoelen van de projecten zijn onder andere de integratie van elektrolyse bij rioolwaterzuivering, demonstreren en ervaring op doen met de keten en het businessmodel.

Hoewel leren en ervaring opdoen niet in alle gevallen expliciet als een doel is aangegeven betreft het in vijf gevallen een eerste waterstofproject van de initiatiefnemers. De drie andere partijen hebben eerdere ervaring met één of meerdere projecten voor de productie van waterstof, waarbij er twee partijen ook ruime ervaring hebben met transport en gebruik van waterstof en dus ook de nodige kennis hebben over de veiligheidsaspecten van waterstof.

Voor alle partijen geldt echter dat er nog beperkte ervaring is met waterstofprojecten op basis van waterstofproductie door elektrolyse van water met hernieuwbare elektriciteit. Dit geldt niet alleen in Nederland, maar wereldwijd. Met dit perspectief moet dit rapport dan ook worden gelezen. Dat nog lang niet alles goed gaat is niet inherent aan de technologie voor de productie van hernieuwbare waterstof; het is een kenmerk van de opstartfase dat er kinderziektes zijn en er nog veel geleerd en geoptimaliseerd moet worden.

3.3 Status van de waterstofprojecten

Van de acht hernieuwbare waterstofprojecten zijn er zeven projecten met decentrale productie van waterstof met een elektrolysevermogen variërend van 400 kilowatt (kW) tot 5 megawatt (MW). Het Holland Hydrogen 1 project van Shell wijkt daarvan af met een grootte van 200 MW. In alle kleinere projecten wordt het centrale deel gevormd door een elektrolyser die is ingebouwd in een of meerdere containers van standaardafmetingen en die geleverd wordt als compleet systeem. Het Holland Hydrogen 1 project is opgebouwd uit losse modules en BoP-componenten die ter plekke tot een geheel zijn samengebouwd.

De waterstofsyste men van de projecten bevinden zich in verschillende stadia van ontwikkeling en operationele beschikbaarheid. Van de acht waterstofsyste men zijn er vijf gebouwd en zijn er drie nog in aanbouw. Van de vijf gerealiseerde syste men is er één niet helemaal afgebouwd en nooit volledig in bedrijf geweest, mede door het faillissement van de leverancier van de elektrolyser. Een tweede project is al enige tijd helemaal gerealiseerd, maar kent nog een technisch probleem en is daarom nog niet in gebruik afgenomen. Een derde project heeft lange tijd waterstof geproduceerd maar is op het ogenblik buiten gebruik vanwege een kapot onderdeel waarvoor geen eenvoudige vervanging is. Een vierde project wordt gefaseerd gerealiseerd. Het deel dat is gerealiseerd, produceert al wel dagelijks waterstof. Het vijfde project is helemaal gerealiseerd en in bedrijf, maar is nog niet volledig opgeleverd volgens de afgesproken specificaties.

Bij zeven van de acht projecten hebben de initiatiefnemers een elektrolyser ingekocht bij een externe leverancier. XINTC is de enige partij die een waterstofproject realiseert op basis van elektrolysetechnologie en een elektrolyse-systeem dat intern is ontwikkeld.

4 Overzicht van ervaringen

De elementen die in de individuele interviews naar voren zijn gekomen, vertonen grote overeenkomsten. Deze algemene bevindingen worden hieronder per fase van het project samengevat. Het betreft achtereenvolgens: de voorbereiding van het project (inclusief het ontwerp van de waterstofinstallatie), de bouw en de ingebruikname van de installatie.

4.1 Projectvoorbereiding en ontwikkeling

4.1.1 Oriëntatie op een elektrolyserleverancier

De meeste partijen hebben bij aanvang van het project contact gezocht met meerdere leveranciers van elektrolyzers. Hierbij bleek dat een aantal van de meer bekende partijen zoals Nel en Siemens zich alleen nog richten op systemen vanaf enkele tientallen megawatt (MW) voor de industrie.

In verschillende gesprekken is de kwaliteit van de informatie en aanbiedingen die bij het eerste contact werd geboden aangeduid als beperkt en mager. Het zijn vooral mooie folders met rooskleurige maar weinig gedetailleerde informatie. In de meeste gevallen konden de beloften uit de folder nog niet worden ondersteund met degelijke praktijkervaring. In één geval kwamen er op een aanbestedingsprocedure zelfs twee inschrijvingen binnen van partijen die zelf nog niets hadden gebouwd. De partij die in dat project uiteindelijk is geselecteerd leek op basis van de gepresenteerde PowerPoints ervaren, maar bleek later alleen verschillende pilotsystemen als onderdeel van R&D projecten te hebben gerealiseerd.

Vanwege de nieuwheid van de technologie en het gebrek aan (praktijk)ervaring hebben diverse partijen ervaren dat het lastig is om een weloverwogen keuze te maken. In zeker de helft van de projecten was de keuze eerder een keuze voor de enige aanbieder die er was, of die overbleef na een grove selectie, dan een keuze voor de meeste ideale technologie. In één geval zijn er bijvoorbeeld zes partijen benaderd. Eén was niet meer geïnteresseerd in kleine projecten. Eén viel af vanwege slechte ervaringen in een ander project. Een ander viel af nadat door verandering van het management de aanvankelijke bereidheid tot samenwerking verdween en men alleen nog geïnteresseerd was in verkoop van een standaard systeem zonder bereidheid in gesprek te gaan over eventuele aanpassingen of garanties. Eén aanbieder viel af omdat de projectontwikkelaar geen Chinese technologie wilde. En een laatste partij viel af omdat die niet binnen de gewenste termijn kon leveren.

Bij een ander project zijn in totaal twaalf aanbieders benaderd. Bij het selectieproces viel al snel meer dan 50% af op basis van technische volwassenheid. Dit had niet alleen betrekking op beoordeling van de technologie maar ook op beoordeling van de expertise van de leverancier. Veel leveranciers hadden nog het karakter van een startup en hadden geen goed beeld van hun eigen capaciteiten. Een ontwikkelaar van elektrolysetechnologie of elektrolysestacks is niet automatisch een goede leverancier van een elektrolysemodule of een elektrolysesysteem. Bij nader onderzoek bleken veel partijen beperkte ervaring te hebben met engineering en was er onvoldoende kennis met betrekking tot kwaliteitseisen voor het goed en veilig installeren van zaken als pompen, kleppen en leidingwerk. Om in deze situatie goed zicht te kunnen krijgen op de kennis en kunde van een leverancier, verdient het aanbeveling om één of

meerdere bedrijfsbezoeken af te leggen en zoveel mogelijk gesprekken ter plekke te voeren.

Er is intensieve communicatie nodig om samen met de leverancier goed inzicht te krijgen in wat er komt kijken bij elektrolyse qua installatie, operationele aspecten en onderhoud. Dit is essentiële informatie voor de business case van een project. De informatie komt echter pas los wanneer serieuze belangstelling voor aanschaf van een systeem wordt getoond. Het vraagt om een kritische houding en doorvragen om die informatie op tafel te krijgen. Bij deze eerste serie projecten bleek ervaring met waterstof of kennis van de technologie daarbij van meerwaarde om de juiste vragen te kunnen stellen over zaken als opstarttijd, efficiëntie, regelbaarheid, deellastgedrag, afschakel-procedure, levensduur en garanties die worden gegeven. Sommige projecten kozen ervoor om een adviseur met kennis van de technologie te betrekken die de kwaliteit van de informatie en de praktijkervaring van aanbieders kan beoordelen en bevragen.

Een specifiek aandachtspunt bij de keuze van een leverancier is de status van de elektrolyse- of stacktechnologie. Wordt de technologie al enige tijd toegepast of worden er nog regelmatig verbeteringen doorgevoerd en is de leverancier bezig met opschaling van de stacks? Bij snelle opeenvolging van stackversies is het van belang om goede afspraken te maken over de termijn waarop reserveonderdelen beschikbaar blijven en de voorwaarden waaronder nieuwe versies van de stack kunnen worden ingepast in het systeem dat wordt geleverd. In één van de projecten moesten na ongeveer een jaar de stacks worden vervangen. Die waren al twee versies verder dan de oorspronkelijke stacks. Nadat er na ongeveer twee jaar weer problemen waren was de leverancier alweer een aantal versies verder. Die versie past niet meer in het huidige systeem en na een periode van nog geen vijf jaar na levering van het systeem werd de passende versie niet meer geleverd. De

leverancier wil het systeem wel aanpassen maar rekent daar hoge kosten voor.

Naast beoordeling van de technisch inhoudelijke expertise is het in de huidige situatie ook van belang om een goed beeld te krijgen van de financiële positie en toekomstplannen van de leverancier van een elektrolysemodule of een -systeem. Dit is sowieso van belang als voor financiering van het project een lening van de bank nodig is (zie ook 4.1.6). Maar het is ook raadzaam om in te kunnen schatten of garanties, onderhoudsdiensten en levering van reserveonderdelen voor langere tijd geborgd zijn. Een gebrek aan continuïteit kan tot vroegtijdige beëindiging van een project leiden of een aanzienlijke inspanning om tegen onvoorziene kosten een project in stand te houden.

Tot slot kwam in diverse gesprekken naar voren dat het vermogen om modules of systemen te kunnen leveren, of tijdig te kunnen leveren een belangrijk, en soms zelfs doorslaggevend aspect was in de beoordeling van aanbiedingen. De tijdsdruk hangt soms samen met voorwaarden in een subsidieregeling waarin realisatie binnen een bepaalde termijn wordt verlangd of met voorwaarden in de waterstof gedelegeerde handelingen die maken dat de installatie voor een bepaalde datum moet zijn gerealiseerd zodat bijvoorbeeld een PPA met een bepaald wind- of zonnepark kan worden gebruikt. Het is echter ook van belang voor de business case. Hoe langer de aanlooptijd voordat er kan worden geproduceerd, hoe hoger de aanloopkosten die drukken op de business case.

4.1.2 Keuze voor alkalische of PEM-elektrolyse

De verdeling alkalische en PEM¹-elektrolyse in de projecten is fifty-fifty. De keuze voor het ene of het andere type technologie is gemaakt op uiteenlopende redenen. Grofweg is voor alkalisch gekozen omdat het de meest bewezen technologie is. Voor PEM is gekozen vanwege de verwachte betere flexibiliteit van de technologie

¹ PEM of Proton Exchange Membrane elektrolyse

die bijvoorbeeld nodig is bij directe koppeling van een systeem met een zonnepark. Andere redenen voor PEM zijn de wens om op druk te produceren en de kleinere footprint van PEM-systemen ten opzichte van alkalische systemen.

Of deze redenen doorslaggevend zijn moet vooral uit de ervaringen blijken. Zo worden ook alkalische electrolysetechnologie ingezet in projecten waarbij een hoge mate van flexibiliteit nodig is. In één geval is het systeem op basis van een sterk modulaire opbouw ontworpen om direct gekoppeld aan een zonnepark volledig dynamisch te kunnen opereren. In een ander project zijn in samenwerking met de leverancier aanpassingen aan het ontwerp van de elektrolyser gemaakt om directe koppeling met een zonnepark mogelijk te maken. Daarbij produceert de elektrolyser de waterstof ook op druk. In een ander project is juist voor PEM gekozen. Weliswaar omdat het de enige aanbieder was, maar wel op een uitvraag voor een systeem dat direct aan een zonnepark kon worden gekoppeld. Uiteindelijk is toch ook een netkoppeling gerealiseerd omdat dynamisch bedrijf als gevolg van de koppeling met alleen het zonnepark tot te veel operationele problemen leidde.

PEM-stacks zijn over het algemeen wel kleiner dan alkalische stacks waarbij het verschil wordt bepaald door het verschil in stroomdichtheid (productie per eenheid celoppervlak) van de technologie en de druk. Er is echter overlap tussen beide. Ondanks het beperkte oppervlak van de kavel voor de fabriek van Shell op de Maasvlakte is daar uiteindelijk toch gekozen voor alkalische technologie, maar wel een met relatief hoge stroomdichtheid.

Hoewel technisch in principe mogelijk, wordt dynamisch bedrijf gezien als uitdagend en moet de praktijk uitwijzen wat mogelijk is. Een positieve factor is dat voor het certificeren van waterstof als “Renewable Fuel of Non-Biological Origin” (RFNBO) in eerste instantie alleen gelijktijdigheid met de productie van hernieuwbare elektriciteit op maandbasis is

vereist. Vanwege de uitdagingen rond probleemloze onderlinge afstemming van alle BoP componenten, inclusief veiligheidsvoorzieningen, geven de projectontwikkelaars aan dat met de huidige generatie elektrolyse-systemen voldoende dynamische bedrijf om ook gelijktijdigheid op uurbasis te halen een stevige uitdaging is.

Verskil in dynamisch gedrag is niet per definitie een onderscheidende eigenschap tussen beide typen elektrolysetechnologie. Vanuit een koude start is de opstarttijd van een alkalisch elektrolysesysteem in de regel iets langer dan voor een PEM-systeem, maar als systemen in bedrijf zijn kunnen beide typen in principe in korte tijd worden op- en afgeregeld. Ook de minimale deellast waarbij de technologie kan worden bedreven is geen absoluut onderscheid tussen beide technologieën. Het minimale deellastniveau en het vermogen om, storingsvrij en minimale impact op prestaties, snel op- en af te regelen hangen meer af van het ontwerp van de stack, de kwaliteit van de elektrolyse-technologie, en het ontwerp en de regeling van de BoP van de elektrolyser.

4.1.3 Ontwerp en engineering van de waterstofinstallatie

Van de acht projecten hebben zeven projectontwikkelaars een elektrolysesysteem of -modules betrokken van een externe leverancier. Eén partij realiseert een project met elektrolysetechnologie in een systeem dat volledig in eigen beheer is ontwikkeld. Met uitzondering van de Holland Hydrogen 1 zijn de elektrolysesystemen ingebouwd in containers met standaardafmetingen. Deze meeste systemen bevatten naast een of meerdere stacks ook de vermogenselektronica (transformator en gelijkrichter), voorzieningen voor het drogen en verwijderen van zuurstofresten uit de waterstof, een koelsysteem en de regeling. Ontwerp en engineering van deze systemen is geen onderdeel van die projecten. De kwaliteit van de elektrolyser is afhankelijk van de kennis en ervaring van de fabrikant op het

gebied van engineering en bouw van een elektrolysesysteem. Dit geldt ook voor het project waarvoor elektrolysemodules zijn ingekocht.

Een waterstofproject omvat echter meer dan alleen een elektrolyzersysteem. Ontwerp en engineering zijn dan wel nodig voor aansluiting van het elektrolyser op de infrastructuur voor water (bron voor de waterstof) en de integratie met overige componenten die nodig zijn voor aflevering van de waterstof aan klanten. In vijf van de acht projecten is er een terminal voor het vullen van gasflessen of tube trailers. In vier projecten is er een aansluiting met een tankstation waarbij dit in één project loopt via een ondergronds geboorde pijpleiding met een lengte van ruim een kilometer. Het project van Shell voedt de waterstof in de waterstofleiding van Hynetwork Services in het Rotterdamse havengebied. Als onderdeel van de waterstof-installaties is in alle gevallen ook een compressiestap nodig en bevatten de meeste installaties ook een opslag tussen de elektrolyser en de compressiestap.

De integratie van de verschillende componenten in een waterstofproject tot een effectief en efficiënt werkend systeem is geen vanzelfsprekendheid en moet niet worden onderschat. Het betreft componenten die in principe niet voor elkaar gemaakt zijn. Door goede engineering moeten de verschillende componenten op elkaar afgestemd worden. Bij voorkeur worden op voorhand componenten gezocht die zo goed mogelijk bij elkaar passen. Maar uiteindelijk zijn er altijd werktuigbouwkundige, elektrotechnische of softwarematige aanpassingen nodig om alle componenten goed op elkaar aan te sluiten en af te stemmen. Hier zit veel werk in en de kennis en ervaring waarmee dit gebeurt bepaalt voor een groot deel de kwaliteit en betrouwbaarheid van de totale installatie.

Hoewel er ook positieve uitzonderingen zijn is een aandachtspunt uit de interviews dat leveranciers vaak maar beperkt bereid zijn om

detailinformatie te delen over werking en regeling van hun producten die nodig is voor goede systeemintegratie. Zij beroepen zich snel op IP-bescherming. Diverse partijen geven aan dat er op dit punt een cultuuromslag nodig is. Succesvolle realisatie van waterstofprojecten is een gedeeld belang en wederzijds delen van noodzakelijke informatie is nodig om gezamenlijk zo snel mogelijk de leercurve te doorlopen.

4.1.4 Vinden van een goede EPC-partij

Doordat er nog maar beperkte ervaring is met waterstofprojecten op basis van elektrolyse is het voor een projectontwikkelaar op het ogenblik nog lastig om een goede zogenoemde EPC-partij te vinden. Dat zijn partijen die het gehele proces van gedetailleerd ontwerp (engineering), de inkoop van apparatuur en materialen (procurement) en de bouw (construction) kunnen verzorgen. Zij kunnen een installatie kant-en-klaar (turnkey) opleveren waarbij de installatie moet voldoen aan vooraf afgesproken prestatie-eisen. Door de beperkte ervaring kleven er voor EPC-partijen risico's aan het aannemen van waterstofprojecten op basis van elektrolyse. Die risico's leiden tot hoge tarieven. Voor grote projecten hebben de kosten van een EPC-partij een gering aandeel in de totale kosten, maar voor projecten van beperkte omvang kan dit een knelpunt zijn.

Bij de keuze van een EPC-partij is ook van belang dat deze de juiste expertise in huis heeft. De elektrotechnici bij veel EPC-partijen, die projecten in de industrie hebben uitgewerkt en gerealiseerd, zijn vanuit die ervaring gewend om over de elektriciteitsvoorziening te denken als een nutsvoorziening (utility). Bij elektrolyse is de elektriciteitsvoorziening echter een veel centraler en meer leidend element voor het ontwerp van een waterstofinstallatie. Als in verband hiermee wordt gekozen voor een partij die meer thuis is in elektrotechniek en vermogenslektronica is het omgekeerd van belang dat deze partij ook voldoende kennis

heeft op het gebied van procestechnologie en waterstof. Zo nodig moeten beide elementen bij aparte partijen worden belegd die de installatie in onderlinge samenwerking uitwerken en realiseren.

Van de acht projecten is er maar één waarbij het gehele proces van ontwerp tot en met bouw volledig is uitbesteed. Vanwege verschillen in interpretatie van het contract tussen de projectontwikkelaar en de aannemer en een conflict tussen de aannemer en de leverancier van de elektrolyser, is het project helaas nog niet succesvol afgerond. In twee gevallen waren de hoge kosten aanleiding af te zien van volledige uitbesteding aan een EPC-partij. Bij de overige vijf projecten waren er andere redenen voor de projectontwikkelaars om EPC niet uit te besteden, zoals het niet beschikbaar zijn van zo'n partij of de inschatting dat er voldoende ervaring is om deze rol deels zelf in te vullen. Een andere oplossing die gekozen is om de EPC onder strikte onderlinge afspraken bij een groep partijen te beleggen of om binnen het consortium dat het project ontwikkelt een "bouwteam" te vormen met de nodige ervaring in de verschillende aspecten die een rol spelen bij ontwerp en realisatie, zoals de civiele techniek, procestechniek en elektrotechniek en het realiseren van complexe projecten.

In elk van de acht projecten is het proces van ontwerp, inkoop en bouw net iets anders georganiseerd. Deels heeft dat te maken met expertise die aanwezig is bij de projectontwikkelaars zelf of het consortium dat bij realisatie betrokken is, en deels met het zoeken naar alternatieven voor het ontbreken van ervaren en betaalbare EPC-partijen in de markt. Los van de vorm die wordt gekozen is het van belang dat de projectontwikkelaar een goede risicoanalyse kan maken van een project en ervaring heeft met het beleggen en afdekken van de risico's bij de juiste partijen met duidelijke afspraken in contracten.

4.1.5 Ervaringen met de vergunningverlening

Hoewel vaak wordt beweerd dat vergunningverlening traag verloopt, zijn de ervaringen uiteenlopend. Het lijkt een kwestie van referentiekader. Waar de ene partij een jaar voor het hele proces van aanvraag tot definitieve vergunning als traag ervaart is een andere partij van mening dat het proces dan vlot is verlopen.

Waterstofproductie op basis van elektrolyse is relatief nieuw, zowel centraal op grote schaal als lokaal op kleinere schaal. De ervaring bij omgevingsdiensten met vergunningverlening voor deze installaties is nog beperkt. Daar komt bij dat het tot voor kort ontbrak aan een kader waar deze installaties aan moeten voldoen. Bij één van de vroege projecten is aangegeven dat uiteindelijk de PGS35 voor afleverinstallaties van waterstof voor wegvoertuigen is gebruikt als regelgevend kader. Ondertussen is de PGS40 beschikbaar die duidelijkere richtlijnen biedt waar 'Installaties voor de productie van waterstof door elektrolyse' aan moeten voldoen. Dit document in de publicatiereeks gevaarlijke stoffen (PGS) beschrijft de wettelijke kaders en geeft richtlijnen en maatregelen die invulling geven aan eisen vanuit veiligheid voor omgeving en werknemers en brand- en rampenbestrijding.

Een algemeen beeld is dat bij de omgevingsdiensten voldoende kennis aanwezig is. Zo niet, dan is er actief contact gezocht met collega's bij andere diensten waar die kennis er wel is. De contacten en samenwerking met zowel de omgevingsdiensten als overige betrokken instanties, zoals de veiligheidsregio en de lokale brandweer, zijn in het algemeen goed. Overwegend is er sprake van een constructieve houding om een project mogelijk te maken. Wel is een aantal keer naar voren gebracht dat er bij de vergunningaanvraag al veel gedetailleerde informatie moet worden aangeleverd terwijl het ontwerp van de installatie zich vaak nog in een vroege fase bevindt. Dit is te ondervangen door eerst een voorlopige aanvraag en later een definitieve

aanvraag te doen, maar dat levert wel extra werk. Ook is aangegeven dat in het kader van de aanvraag veel standaardvragen moeten worden beantwoord en regels worden opgelegd die soms helemaal niet van toepassing zijn of waarvan de strekking niet duidelijk is. Het kost dan veel tijd om uit te vinden wat je daar nu precies mee aan moet.

De ervaringen geven aan dat het verstandig is om in een zo vroeg mogelijke fase in gesprek te gaan met de Omgevingsdienst. Zij kunnen informatie verschaffen over de procedure die moet worden gevolgd en de bijbehorende doorlooptijden. Verder kunnen ze aangeven welke vergunningen nodig zijn en welke informatie, met wat voor detailniveau, in welke fase moet worden aangeleverd om zo efficiënt mogelijk tot een vergunning te komen. De meeste partijen in dit onderzoek hebben zich laten bijstaan door een adviseur met ervaring in het opstellen van documenten voor de vergunningaanvraag. Net als bij EPC-partijen is het hierbij wel van belang dat die adviseur voldoende kennis heeft van zowel de elektrotechnische als procestechnische kant van de waterstofinstallatie. Dit beperkt de kans op onduidelijkheden of onjuistheden in de documenten die aanleiding kunnen geven voor misverstanden en vertraging.

4.1.6 Financiering en subsidieverlening

Alle projecten zijn gefinancierd door eigen bijdragen van de aandeelhouders van de projecten, aangevuld met bijdragen vanuit regionale, nationale en Europese subsidieprogramma's en fondsen. Ondanks het innovatieve karakter en de onzekerheden waarmee veel van de projecten nog zijn omgeven is er in een aantal gevallen ook een bijdrage in de financiering door banken.

Voor subsidie is geput uit een grote verscheidenheid aan programma's en regelingen. Het betreft bijdragen uit: het Europese "Trans-European Networks for

Energy" (TEN-E) programma; het Europese REACT-EU programma (Recovery Assistance for Cohesion and the Territories of Europe); het EU-LIFE programma (het voornaamste subsidie-instrument van de EU voor milieu-, natuur- en klimaatprojecten); de nationale subsidie onder de Europese IPCEI-regeling (Important Projects of Common European Interest); de DEI+-regeling (Demonstratie Energie- en Klimaatinnovatie); de OWE-regeling (Subsidieregeling grootschalige productie volledig hernieuwbare waterstof via elektrolyse); het Energiefonds Overijssel; de Noordelijke Ontwikkelingsmaatschappij; en een stimuleringsubsidie van de provincie Drenthe.

Over de (vele) mogelijkheden voor financiële ondersteuning is er niets dan lof, al kunnen de randvoorwaarden wel te knellend zijn voor de (ontwikkelings)fase waarin waterstofprojecten zich bevinden. Het betreft met name termijnen waarbinnen projecten moeten worden gerealiseerd en in bedrijf moeten zijn om aanspraak te kunnen maken op de subsidie en de uitbetaling van de subsidie. Er is nog niet veel ervaring met hernieuwbare waterstof-projecten waardoor meer tijd dan gemiddeld nodig is om tot een investeringsbesluit te komen en tot daadwerkelijke realisatie over te gaan.

In één van de gevallen moest na een subsidieaanvraag in de loop van 2022 de installatie voor eind 2023 zijn gerealiseerd. Het is in deze korte tijd gelukt de installatie af te ronden, maar door een onvoorzien veiligheidsprobleem is het niet tijdig gekomen tot ingebruikname van de installatie. Inmiddels is uitstel verleend tot begin 2027. Het gebrek aan goede afspraken over de oplevering, dat nu het operationeel krijgen van de installatie bemoeilijkt, is mede veroorzaakt door de contractuele tijdsdruk. In een ander geval wordt door beperkingen in productiecapaciteit bij de leverancier het project in fases gerealiseerd. De eerste fase is al wel in bedrijf en daar worden kosten voor gemaakt. Nu kan de subsidie op de aanschaf van de eerste fase wel worden uitgekeerd. Maar volgens de betreffende regeling

kan de subsidie op de operationele (meer)kosten pas worden uitgekeerd als het volledige project is gerealiseerd. Hierdoor moet tijdelijk extra financiering worden geregeld. Dit leidt tot extra kosten wat vooral voor MKB-bedrijven een (te) grote last kan zijn. Daar kan trage uitbetaling van subsidies ook al kritisch zijn voor de “cashflow”, ook al gaat het maar om enkele maanden. De projectontwikkelaar geeft toe dat hij zich vooraf beter in de regeling had moeten verdiepen. Maar het ontbreekt kleinere partijen vaak aan tijd en capaciteit om de uitvoerige regelingen snel en goed te doorgronden. Op dit punt is waarschijnlijk verbetering mogelijk in de informatievoorziening naar partijen in de aanloop naar subsidieverlening. In een drietal interviews is de hoop uitgesproken dat gesprekken over dit soort knelpunten mogelijk zijn als er tijdig aan de bel wordt getrokken zodat naar oplossingen kan worden gezocht en aangepaste afspraken kunnen worden gemaakt.

Vertrouwen door relevante praktijkervaring met waterstof en ontwikkeling van complexe hernieuwbare energieprojecten lijken een belangrijke rol te hebben gespeeld voor projecten waarin ook banken meefinancieren. In één geval kon de partij al een tankstation en een werkende elektrolyser laten zien wat meer vertrouwen gaf dan alleen een mooie PowerPointpresentatie. Verder waren er vanuit bestaande activiteiten ook al klanten voor afname van waterstof. Die afname was echter op ad-hoc basis terwijl de bank gegarandeerde afnamecontracten wilde zien. Voor alle partijen was het sluiten van lange-termijn contracten lastig omdat klanten door alle subsidie-beschikkingen voor projecten onzeker zijn over de ontwikkeling van de waterstof prijs. Mogelijk kunnen andere partijen straks waterstof tegen een lagere prijs bieden. De klanten zijn daarom niet bereid zeer langdurige contracten af te sluiten. Naast de afname zekerheid wil de bank zekerheid hebben dat de leverancier van de elektrolyser kredietwaardig is zodat service en onderhoud is gegarandeerd. Tot slot wilde de bank borgen dat deze leveranciers hun

verplichtingen blijven nakomen als de projectontwikkelaar mocht wegvallen en de bank een andere partij aanstelt om de bedrijfsvoering voort te zetten. In eerste instantie werd dit als lastige bemoeienis gezien. Uiteindelijk was er veel waardering voor het goed in beeld brengen van de projectrisico's en hoe de bank het hele proces heeft ondersteund. Aantoonbare ervaring met het van een goede juridische basis voorzien van projecten met sluitende contracten gaf in een ander geval de bank vertrouwen om een bijdrage te leveren. Dit ondanks dat er maar één afnamecontract is met een klant voor een paar jaar.

4.2 **Bouw elektrolyser en waterstofinstallatie**

4.2.1 **Expertise bij de bouw van de elektrolyser**

Bij aankoop van een compleet elektrolyse-systeem is de leverancier de installateur. Eerder is aangegeven dat ontwikkelaars en fabrikanten van elektrolysestack niet automatisch goede systeembouwers zijn. Bij de oplevering van één van de eerste systemen in Nederland bleken de aansluitingen van koelwaterslangen te lekken. Na ingebruikname kwam men erachter dat er onvoldoende filters in de waterkringloop in het systeem waren ingebouwd waardoor de stacks beschadigd zijn geraakt door vervuiling. De leverancier in kwestie is ondertussen een gevestigde naam, dus naar verwachting zullen bij deze leverancier de kinderziektes verholpen zijn. Maar tegelijkertijd blijkt de partij nog steeds weinig bereid om inzicht te geven in waar nu andere systemen in bedrijf zijn en wat daarvan de prestaties zijn. Een dergelijke houding is bij meerdere leveranciers geconstateerd en bemoeilijkt de uitwisseling van praktijkervaringen en het benutten van het potentieel voor het vinden van oplossingen en “best practices”. Het botst ook met het doel waarmee publieke middelen worden ingezet om de projecten te realiseren.

In een ander project bleek de leverancier niet de ervaring en expertise te hebben om binnen afzienbare termijn een goed draaiend systeem te kunnen realiseren. Zo bleken lasnaden in de gas-vloeistofscheiders niet bestand tegen alkalische omstandigheden. Het systeem was uitgevoerd met twee drogers die om beurten werden geregenereerd. Maar bij langere stilstand konden beide verzadigd raken en kon het systeem niet meer opgestart worden. Bij oplevering van een eerste deel van het systeem waren er elf serieuze bevindingen waarop het ontwerp niet voldeed aan geldende normen. Alle aanpassingen duurden erg lang. Na herhaaldelijk uitstel van levering van het tweede deel van het systeem is de leverancier uiteindelijk failliet gegaan voordat de volledige bestelling werkend was opgeleverd.

In beide vroege projecten werd er door de projectontwikkelaars een groot verloop van personeel geconstateerd tijdens realisatie van de projecten waardoor continuïteit in opbouw van kennis en ervaring bij de leveranciers niet goed geborgd leek. Werkzaamheden duurden over het algemeen veel langer dan gepland. In de meer recente projecten lijkt hier minder sprake van hoewel één van de projecten eind 2024 in gebruik is genomen, maar eind 2025 nog steeds niet definitief was opgeleverd. Zelfs de meest gerenommeerde partijen op het gebied van elektrolyse blijken nog niet altijd over de juiste competenties te beschikken om systemen of modules te leveren die voldoen aan alle kwaliteits- en veiligheidseisen. Een praktijkvoorbeeld betreft een veiligheidssysteem rond de gelijkspanningsvoorziening van een elektrolyser. Dat was zo ingericht dat de voeding naar de transformator wordt afgeschakeld zodra de deur van de bekasting wordt geopend. Maar men was vergeten dat je aan de achterkant bent gekoppeld aan een elektrolyser die zich gedraagt als een batterij. Er was geen rekening mee gehouden dat daar nog 400 volt spanning op staat. Dit is iets dat met een goede HAZOP-studie door de juiste mensen onderkend had kunnen worden. Het illustreert dat er nog onvoldoende ervaring is in de sector. Die

ervaring zal er zeker komen naarmate er meer projecten worden gerealiseerd, maar dat kost tijd.

4.2.2 Bouw van de waterstofinstallatie

Wat geldt voor een elektrolysesysteem of -module geldt ook voor de bouw van een volledige waterstofinstallatie. Diverse partijen hebben aangegeven dat het van groot belang is om aannemers en installateurs met de juiste kennis en ervaring te hebben voor succesvolle realisatie van een installatie; mensen die weten hoe je bijvoorbeeld pompen, kleppen, leidingwerk en veiligheidsvoorzieningen moet installeren en weten wat kwaliteitscontrole betekent en hoe die uit te voeren. Niettemin bleek in één van de projecten waar een partij was betrokken met de nodige waterstofervaring en expertise in realisatie van complexe “first-of-a-kind” installaties toch ook nog niet alles goed te gaan. De partij was onder andere verantwoordelijk voor de werktuigbouwkundige integratie van het elektrolysesysteem met een tussenopslag, een compressor en een vulstation. Toen er op een koude dag problemen waren bleek een groot aantal kleppen die waren ingebouwd niet gecertificeerd voor gebruik bij temperaturen onder min vijf graden en dus niet geschikt voor gebruik buiten. Betrekken van partijen met kennis en ervaring bij ontwerp en bouw verhoogd de kans op succesvolle realisatie van een installatie, maar vormt nog geen garantie.

4.2.3 Veiligheidskeuring van de waterstofinstallatie

Het laatste voorbeeld geeft het belang aan van het gebruik van componenten met de juiste specificaties en certificering. Maar gebruik van zulke componenten alleen is niet voldoende. Ook het samenstel van alle componenten in een elektrolysesysteem en een waterstofinstallatie moet als geheel worden gekeurd. Dit dient te gebeuren binnen twee maanden na

ingebruikname door een onafhankelijke expert.² Deze gaat na of de installatie voldoet aan alle normen en standaarden die van toepassing zijn voor het veilig kunnen gebruiken van de installatie. Bij bevindingen dienen aanpassingen te worden doorgevoerd voordat een “Verklaring veilige ingebruikneming installatie” kan worden afgegeven. Bij serieuze bevindingen, waarvoor significante aanpassingen nodig zijn, kan dit betekenen dat ook allerlei technische documentatie, zoals proces- en instrumentatieschema’s (P&ID’s), herzien moet worden en technische detailinformatie bij leveranciers van componenten achterhaald moet worden. Dit kan tot veel vertraging leiden en extra kosten. Dit moet dus bij voorkeur worden voorkomen. Eén van de partijen geeft daarom aan dat ervaring van aannemers en installateurs bij de bouw zeker van belang is, maar dat dit nog belangrijker is bij het ontwerp en de engineering van de installatie.

4.3 Commissioning en operationele fase

4.3.1 Operationele ervaringen tot nu toe

In het algemeen kan worden gesteld dat operationele ervaringen tot nu toe beperkt zijn. De meeste ervaring komt van de vroegste projecten. Het mag niet verbazen dat de installaties in die projecten nog niet optimaal draaien, of hebben gedraaid. Van de installaties in deze studie die in bedrijf zijn, is aangegeven dat de beschikbaarheid tot nu toe lager is dan verwacht. Voor één van de installaties is aangegeven dat die in principe 24/7 draait maar dat dit wel de nodige aandacht vergt. Ter illustratie is gekscherend geopperd om een camper aan te schaffen zodat er ook iemand bij de installatie kan slapen.

In een ander project is aangegeven dat de installatie vooral lastig is te bedienen onder sterk dynamische omstandigheden. De ervaring was

dat het wel kan maar dat als gevolg van regelmatig starten en stoppen onderdelen snel stuk gaan. Vooral de compressor bleek daar erg gevoelig voor te zijn. Ook stacks zijn stuk gegaan, maar het is niet duidelijk of dit aan de stacks zelf lag of een gevolg is van interactie met de rest van de installatie die een negatieve impact heeft op de stacks. Een compressor “duwt” bijvoorbeeld niet alleen aan de achterkant, maar “zuigt” ook aan de voorkant wat tot cavitatie en drukpulsen elders in installatie kan leiden.

De wens om de installatie dynamisch te bedienen kan ook effect hebben op het gebruik van stikstof. In één van de projecten kwam de leverancier met de waarschuwing dat de stikstofbehoefte in verband met het beoogde dynamische bedrijf van de installatie veel groter zou worden dan initieel aangegeven. Bij langere stilstand kan een systeem gespoeld moeten worden met stikstof om te voorkomen dat er in de stacks te grote “cross-over” plaatsvindt van waterstof naar zuurstof waardoor een explosief mengsel kan ontstaan. Dit aspect kan overigens van leverancier tot leverancier verschillen. Een van de leveranciers heeft bijvoorbeeld aangegeven dat voor de technologie die zij ontwikkelt, specifiek voor koppeling met zonneparken, tussentijds spoelen niet nodig is.

4.3.2 In bedrijf nemen van de installatie

Het in bedrijf nemen van een installatie staat bekend als *commissioning*. In principe wordt tijdens de commissioning de werking van de volledige installatie getest en bepaald of deze aan vooraf vastgestelde prestatie-eisen voldoet. Als alles werkt en aan de prestatie-eisen is voldaan wordt de installatie opgeleverd. In het geval oplevering plaatsvindt door een externe partij, bijvoorbeeld een EPC-partij, moet er op worden gelet of er is voldaan aan afspraken na koude commissioning of pas na warme commissioning.

² Bron: [PGS 40:2025 versie 0.2 \(maart 2026\)](#)

Koude commissioning heeft betrekking op het testen van de werking en het functioneren van individuele componenten; doet de klep of de pomp het en reageert die op een juiste manier op signalen van de regeling. Dit zegt echter nog niets over de werking en het functioneren van de installatie als geheel. Koude commissioning kan al plaatsvinden tijdens de bouw van de installatie. Ook een zogenoemde “Factory Acceptance Test” van een elektrolysesysteem valt onder koude commissioning zelfs als het systeem op de locatie van de fabrikant waterstof volgens opgave kan produceren. Ook als een “Site Acceptance Test” van een systeem na transport naar de locatie van het waterstof-project een positief resultaat levert is dit nog geen garantie dat het systeem ook voldoet in samenhang met de overige componenten van de installatie. Het is zelfs mogelijk dat er bij de keuring van de volledige installatie voor de “Verklaring veilige ingebruikneming installatie” nog bevindingen worden gedaan die aanpassing aan het elektrolysesysteem vereisen waarvoor betrokkenheid van de leverancier nodig is. Dit kan bijvoorbeeld komen doordat de leverancier onvoldoende rekening heeft gehouden met verschillen in normen en standaarden voor drukapparatuur en (explosie)veiligheid die ook nog steeds tussen EU-landen kunnen bestaan (zie ook 4.2.1). Om te voorkomen dat het een kwestie wordt van vrijwillige bereidheid is het zaak om hier in contracten rekening mee te houden.

Indien onvoldoende duidelijke afspraken zijn gemaakt met een externe partij die realisatie van de installatie verzorgt, dan kan dit tot problemen leiden. Hier kan bijvoorbeeld worden gedacht aan een situatie waarbij er vanuit een subsidieregeling een scherpe einddatum is voor realisatie en ingebruikname van een installatie en de subsidie pas wordt uitgekeerd na indiening van betaalde facturen. De projectontwikkelaar kan dan gedwongen zijn om leveranciers en aannemers te betalen. Als er dan geen duidelijke afspraken zijn over de commissioning en er nadien bevindingen zijn, dan kan dit tot lastige discussies leiden over wie actie moet

ondernemen op de bevindingen en wie er voor de kosten opdraait.

Over de periode die de warme commissioning in beslag neemt lopen de bevindingen en verwachtingen ver uiteen. Eén partij geeft aan dat het om een volledig gestandaardiseerd systeem gaat dat vooraf is getest. De verwachting is dat plaatsen, aansluiten en testen op locatie ordegrrootte vijf werkdagen kost. Een andere partij heeft er bij de keuze voor een leverancier op gelet of een systeem kon worden geleverd dat al eerder was gerealiseerd en al zoveel mogelijk was gestandaardiseerd. Niettemin draaide de installatie op het moment van het interview, een jaar na opening, nog niet perfect en was commissioning nog gaande. Voor een project dat nog in aanbouw is zal een “Site Acceptance Test” worden uitgevoerd die volgens plan twee weken in beslag neemt. Het zal echter van de resultaten afhangen of commissioning daarmee kan worden afgerond of dat er ook een periode van optimalisatie volgt. Volgens de afspraken die zijn gemaakt zullen de betrokken leveranciers verbeteringen moeten doorvoeren als de installatie niet naar behoren functioneert, of specificaties niet worden gehaald, totdat aan de prestatie-eisen wordt voldaan en er kan worden getekend. In één van de projecten zijn contractueel zelfs vergoedingen opgenomen voor het geval de elektrolyser niet voldoet aan de specificaties. Bij een laatste project, waarvan er informatie is op dit punt, heeft een “Factory Acceptance Test” plaatsgevonden. Na transport naar Nederland heeft het daarna twee-en-een-halve maand geduurd voordat de elektrolyser draaide en drie maanden voordat de elektrolyser draaide in samenwerking met de tussenopslag en de compressor.

In tegenstelling tot de decentrale projecten, wordt bij het 200 MW systeem de installatie grotendeels ter plaatse opgebouwd. Vanwege de langdurigere bouwfase lopen koude commissioning en bouwfase deels parallel. Bij de koude commissioning wordt gekeken naar het functioneren van individuele onderdelen

zoals pompen, kleppen, de utilities (water, perslucht, stikstof) en de elektrische installatie (kabels, signalen etc.). De testen zijn erop gericht dat alles werkt zoals het hoort en stabiel kan draaien zodat het geheel veilig kan worden opgestart. In de volgende fase kan de aandacht dan helemaal uitgaan naar de nieuwe technologie, zoals de elektrolyzers en de compressoren, en de inregeling daarvan. Na de bouwfase begint de warme commissioning van het integrale systeem. Bij het opstarten zal er nog veel getest moeten worden om te leren hoe alle componenten zich in de praktijk gedragen en het systeem als geheel functioneert. Op basis van de ervaringen zal het systeem steeds verder worden ingeregeld. Het zal niet direct op vol vermogen kunnen draaien, maar het is lastig in te schatten hoeveel tijd daarvoor nodig is. Ook zal de installatie niet onmiddellijk op uurbasis het aanbod van hernieuwbare elektriciteit kunnen volgen. Het is gunstig als er een paar jaar beschikbaar zijn om de gehele installatie daarop in te regelen.

4.3.3 Efficiëntie, deellastbedrijf en stackdegradatie

Praktijkcijfers over het elektriciteitsverbruik voor productie van waterstof zijn nog schaars en niet eenduidig. In één geval kan uit de maximaal gerealiseerde hoeveelheid waterstof per uur worden afgeleid dat het verbruik bij vollast 64,5 kilowattuur per kilogram waterstof (kWh/kg) betreft. Dit is echter zonder het verbruik van alle ondersteunde systemen. Voor een ander project is 73 kWh/kg genoemd voor de complete elektrolyse. Hier kwam nog 13 kWh/kg bij voor auxiliaries, inclusief de compressie voor aflevering van de waterstof op hoge druk. Compressie wordt over het algemeen echter niet tot elektrolyse gerekend en zit dus niet in cijfers die voor elektrolyse worden vermeld. Verder is niet duidelijk wat er precies onder complete elektrolyse en auxiliaries valt. Een ander aspect is dat het elektriciteitsverbruik voor splitsing van water in waterstof en zuurstof afneemt naarmate elektrolysecellen bij een lagere belasting (stroomdichtheid) worden

bedreven. De verhouding tussen het verbruik van de stack en alle ondersteunende componenten van het systeem varieert daarom afhankelijk van de belasting. Het gemiddelde verbruik is afhankelijk van de gemiddelde belasting. Bij testen van een pilotsysteem voor één van de projecten is als gevolg hiervan gebleken dat het elektriciteitsverbruik kan variëren van 43 kWh/kg tot 60 kWh/kg op systeemniveau.

Praktijkcijfers over minimale deellast waarop elektrolyzers kunnen worden bedreven zijn nog schaarser. In één geval is aangegeven dat de elektrolyser bij voorkeur op minimaal 30% deellast moet blijven draaien. Het hangt echter af van het aantal stacks waar het systeem uit is opgebouwd en de manier waarop die zijn geregeld. Bij een systeem van 1 MW dat is opgebouwd rond één stack kan de minimale deellast 30% zijn. Maar als het systeem is opgebouwd uit twee stacks van 500 kW die afzonderlijk zijn te regelen zou de minimale deellast per stack wel 30% kunnen zijn maar zou de minimale deellast van het systeem kunnen liggen op 15%. Bij één project bleek het overigens niet mogelijk om op één stack te draaien waardoor de hele elektrolyser en de waterstofinstallatie stil kwam te staan toen één stack stuk ging. Bij doortrekken van de redenering rond deellast en afzonderlijke regeling van stacks zou bij opbouw van een systeem uit eenheden van 10 kW de minimale deellast van het systeem zelfs 0,3% kunnen zijn.

In alle gevallen zijn de elektrolysesystemen nog onvoldoende lang (stabiel) in bedrijf geweest om betrouwbare kentallen over degradatie uit de productie- en verbruikscijfers af te leiden.

4.3.4 Service en onderhoud

Ervaringen van vroege projecten op het gebied van service en onderhoud moeten niet als maatgevend worden gezien, maar zijn wel van belang om mee te nemen bij het maken van afspraken voor komende projecten. In de gevallen die het betreft, was het nakomen van afspraken door de leverancier of EPC-partij goed bij het installeren en het opleveren van de

installatie, binnen de looptijd van het (subsidie)project of de termijn die daaraan werd gesteld vanuit de subsidieregeling. Maar nadat rekeningen waren voldaan was iedereen weg en de garantie voorbij. In het vroegste project bleek een onderhoudscontract achteraf niet te betalen en was de leverancier tegelijkertijd ook niet bereid om de informatie te delen die nodig is om het zelf te doen. Het is dus zaak om garanties voor service en onderhoud goed te regelen in contracten met leveranciers en EPC-partijen. Als er nog veel ontwikkeling zit in technologie en systemen van leveranciers is het raadzaam hierbij ook afspraken op te nemen over beschikbaarheid van reserveonderdelen voor de installatie gedurende een bepaalde tijd.

Of volgende projecten hier al van hebben geleerd of ontwikkelaars zich hier gewoon meer bewust van waren is niet duidelijk, maar de ervaring in recentere projecten zijn beter. In één geval is ook meer sprake van een gezamenlijke ontwikkeling met de leverancier van het elektrolysesysteem. De partij die het systeem in praktijk brengt heeft ondertussen zoveel kennis dat die zelf als serviceverlener voor het systeem kan optreden. Een partij die uit kosten-overwegingen ook graag zelf zoveel mogelijk van het onderhoud zou willen doen geeft aan dat onderhoud van simpele zaken wel zelf kan, maar dat er nog veel (kritisch) onderhoud nodig is door de fabrikant/leverancier. De technologie is nog in ontwikkeling. Voor een ander project gaat het personeel van de partij, die de waterstofinstallatie commercieel en operationeel gaat beheren, getraind worden door de leverancier van het elektrolysesysteem en de leverancier van de compressor en de installatie voor aflevering van de waterstof. Dit om zoveel mogelijk onderhoud zelf te kunnen doen. Het personeel zal ook betrokken zijn bij het testprogramma voor oplevering van de waterstofinstallatie.

Service en onderhoud is van groot belang. Voor diverse partijen is het reden om voor leveranciers te kiezen die in Nederland of nabije landen in Europa zitten. De communicatie is

makkelijker, partijen zijn beter bereikbaar en mensen zijn sneller ter plaatse bij storingen en reparaties die zelf niet verholpen of uitgevoerd kunnen worden. Als leveranciers bijvoorbeeld in China of de Verenigde Staten zitten is dat een stuk lastiger. Op de vraag welke prestaties van de installatie in het bijzonder van belang zijn luidt het antwoord in alle gevallen: de beschikbaarheid. Het niet beschikbaar zijn door storingen of gebreken heeft een grote impact op de business case, zowel door de kosten van onderhoud en reparaties als door het gemis aan inkomsten als gevolg van het uit bedrijf zijn van de installatie. Verder is het niet goed voor het vertrouwen bij klanten als er niet geleverd kan worden.

Bij herhaaldelijke storingen of gebreken in de installatie kan het zijn dat aanpassing nodig is van het oorspronkelijk ontwerp van de installatie of onderdelen daarvan, of dat componenten moeten worden vervangen door componenten met andere specificaties. In dat geval moet er rekening mee worden gehouden dat ook alle bijbehorende technische informatie moet worden aangepast en een nieuwe “verklaring veilige ingebruikneming installatie” nodig kan zijn. Dit kan grote vertraging geven bij het weer inbedrijfstellen van de installatie en tot hoge kosten leiden.

4.3.5 RFNBO-certificering

De subsidieverlening voor waterstofprojecten op basis van elektrolyse vereist dat er hernieuwbare waterstof wordt geproduceerd. Dit is ook van belang voor de business case omdat hernieuwbare waterstof door klanten kan worden gebruikt om te voldoen aan wettelijke RFNBO-verplichtingen of om invulling te geven aan doelen op het gebied van verduurzaming. Dit betekent dat de waterstof RFNBO moet worden gecertificeerd. Hiervoor moet door een auditor van een certificeringsbureau worden nagegaan of productie van de waterstof voldoet aan de randvoorwaarden die hier vanuit Europese regelgeving aan zijn verbonden. Niet alle partijen zijn het traject voor RFNBO-certificering al gestart, maar de partijen die dat wel hebben

gedaan geven zonder uitzondering aan dat de regelgeving complex is.

Twee van de projecten zijn ondertussen gecertificeerd voor productie en distributie van RFNBO-waterstof. In één van de gevallen kwam daar de ervaring van een van de projectpartners met certificering van biobrandstoffen goed van pas. Ook hebben diverse partijen contact gezocht met RVO voor advies, waar veel kennis over het onderwerp aanwezig is. Vanwege de complexiteit van het onderwerp heeft een expert ook enkele kleine projecten ondersteund in opdracht van RVO. De lessen die hieruit zijn getrokken zullen via een handreiking beschikbaar worden gesteld. Dit is niet alleen van belang voor projectontwikkelaars maar ook voor adviserende en certificerende partijen omdat de RFNBO-certificering voor iedereen nieuw is.

Ook bij de certificering zijn er ervaringen die voortkomen uit specifieke situaties in een beginfase. In één van de projecten bleek de elektriciteit van een zonnepark, waarmee de elektrolyser gekoppeld zou worden, uiteindelijk niet te kunnen worden gebruikt omdat het park langer dan 36 maanden voor de elektrolyser in bedrijf is genomen. Het park voldoet daarmee niet aan de additionaliteitseis voor de hernieuwbare elektriciteit. Die voorwaarde was nog niet bekend bij de start van het project. Dit betekende dat een netkoppeling nodig is voor een elektrolyser die achter de meter bij een zonnepark staat. Dit leverde vervolgens weer een nieuwe uitdaging omdat het zonnepark is aangesloten op een gesloten distributiesysteem en regelgeving nog niet voorzag in het type aansluiting dat in zo'n geval nodig was voor de elektrolyser.

In een ander project is het bedrijfsmodel voor “hernieuwbare waterstof” gebaseerd op productie op momenten met de laagste elektriciteitsprijzen op de “day-ahead” markt in combinatie met een contract voor hernieuwbare stroom. Dit was een goed model bij de start van het project, maar het voldoet niet aan de

randvoorwaarden voor RFNBO-certificering. Daar is bij een netkoppeling een zogenoemde “power purchase agreement” (PPA) voor nodig van een installatie voor productie van hernieuwbare elektriciteit die voldoet aan de RFNBO-eisen. Maar zo'n PPA leidt tot hogere elektriciteitskosten waardoor de toch al lastige business case verder onder druk komt te staan. Daarbij is opgemerkt dat de certificering een hoge kostenpost oplevert voor een MKB-bedrijf.

4.3.6 Impact van beleid op markt en business case

Een frustratie die in diverse gesprekken ter sprake kwam is die van wisselend en inconsistent beleid die de business case van gerealiseerde projecten ondergraaft. Veel van de kleinere, decentrale projecten zijn mede ontstaan vanuit verwachtingen over emissievrij vervoer. In een project waarin de waterstof ook wordt afgezet via tankstations heeft de vroegtijdige afschaffing van fiscale voordelen voor waterstofauto's geleid tot een sterke afname van het aantal zakelijke rijders aan de pomp. Via de tweedehandsmarkt zijn er wel wat teruggekomen. Maar niet alleen is het aantal minder; privérijders maken ook minder kilometers en hebben dus minder waterstof nodig. Verder leiden de discussies over uitstel van de milieuzones rond steden en uitfasering van verbrandingsmotoren volgens diverse partijen tot terughoudendheid in de markt om over te stappen op emissievrije opties, waaronder waterstof. Dit belemmert niet alleen investeringen in elektrolyse, maar vermindert ook de mogelijkheid om ervaring op te doen en te innoveren.

Voor Shell was de uitkomst van het beleid met betrekking tot de raffinageroute van groot belang. Enige tijd was er sprake van een ‘correctiefactor’ op die route waardoor de haalbaarheid van het project ter discussie kwam te staan. Uiteindelijk is de correctiefactor teruggedraaid maar was de keerzijde hiervan dat invulling van de RFNBO-verplichting voor de vervoersector door directe inzet van waterstof in

voertuigen minder gunstig werd. Dit is gerepareerd door een aparte verplichting voor directe inzet van waterstof in voertuigen die vanaf 1 januari 2026 oploopt tot 2 petajoule (PJ) in 2030. In beide gevallen is er echter nog geen beleidszekerheid voor de periode na 2030. Hierdoor blijft het voor bestaande en nieuwe projecten moeilijk om contracten voor langjarige afname te sluiten die nodig zijn voor financiering van projecten door banken en voldoende zekerheid dat investeringen terug kunnen worden verdiend.

Een andere ontwikkeling die is genoemd is die van emissieloze bouwplaatsen. Als gevolg hiervan wordt er groei in de markt voor waterstofgeneratoren gezien en zijn er kansen voor mobiele werktuigen op waterstof, zoals kranen, graafmachines en shovels. De Nederlandse overheid streeft via het convenant

Schoon en Emissieloos Bouwen (SEB) naar een vrijwel emissieloze bouwplaats in 2030. Het Rijksvastgoedbedrijf en andere overheden willen stapsgewijs 30% tot 70% emissieloos werken verplichten bij aanbestedingen. Hiervoor is subsidie beschikbaar. Hoewel het doel hiervan ook is om emissies van CO₂ en fijnstof te reduceren is de huidige stikstofproblematiek een belangrijke drijfveer voor deze ontwikkeling. Enige zorg bij deze positieve ontwikkeling is dan ook dat de aandacht voor het onderwerp weer verslapt als er oplossingen komen voor de stikstofproblematiek. Investeringen kunnen dan weer onder druk komen te staan. Continuïteit in beleid is nodig. De overheid als klant kan een groot verschil maken bij het op gang brengen van deze en andere markten. Een aantal keer is aangegeven dat overheden deze rol nog te veel laten liggen.

5 Kennisopbouw door de waterstofprojecten

Ondanks het beperkte aantal in Nederland gerealiseerde waterstofprojecten op basis van elektrolyse, hebben de projecten al tot de nodige kennisopbouw geleid bij verschillende partijen in de waterstofketen. Het betreft kennisopbouw rond zowel technologie als markt en regelgeving. Kennis en inzichten die zijn opgedaan in de projecten hebben onder meer betrekking op de volgende aspecten:

- › **Het functioneren van elektrolyse-systemen**, inclusief compressie van de waterstof, bij regelmatig afschakelen en weer opstarten als gevolg van directe koppeling met variabel aanbod van hernieuwbare elektriciteit, zoals van een zonnepark. Dit kan ertoe leiden dat onderdelen van het systeem snel stuk gaan. Het heeft geleid tot ontwikkeling van een nieuwe elektrolysetechnologie, aanpassing van het ontwerp van bestaande technologie en het inzicht dat in veel gevallen ook een netaansluiting nodig is zodat systemen op minimale deellast kunnen doordraaien als er onvoldoende aanbod is van elektriciteit uit het wind- of zonnepark waarmee het systeem is gekoppeld.
- › **(De complexiteit van de) Integratie**, inclusief robuuste regeling, van een elektrolyse-systeem met een buffer, een compressor, een vulstation en/of een tankstation tot een waterstofinstallatie waarmee met hoge beschikbaarheid waterstof van de juiste kwaliteit aan klanten kan worden geleverd. Het vereist gedegen engineering in de voorbereiding van de bouw en een uitgebreide testfase bij de ingebruikname van de installatie.
- › **Contracten voor bouwteamconstructies of EPC-samenwerkingsverbanden** met gebalanceerde verdeling van risico's tussen partijen als uitbesteding van ontwerp en realisatie van een installatie door een enkele EPC-partij niet haalbaar is. Door gebrek aan praktijkervaring zijn er nog diverse onzekerheden over het functioneren van elektrolysetechnologie en hernieuwbare waterstofinstallaties. Het is daarom van groot belang om vooraf een goede risicoanalyse van het project te maken en die risico's zo goed mogelijk af te dekken in contracten met prestatieafspraken, garanties en vergoedingen als prestaties achterblijven bij de ontwerpspecificaties van de elektrolyser, de overige componenten en de installatie als geheel.
- › **Het sluiten van afnamecontracten voor (hernieuwbare) waterstof** die enerzijds rekening houden met de onzekerheden in beschikbaarheid van de waterstofinstallatie en anderzijds klanten voldoende zekerheid bieden over levering van waterstof.
- › **Ontwikkeling van aansturingssoftware** voor optimalisatie van de business case voor waterstofproductie op basis van afnamepatronen, PPA-structuur, energieprijzen op de day-aheadmarkt en mogelijkheden voor het leveren van systeemdiensten op de onbalansmarkt. De looptijd van de betreffende projecten is echter nog te kort om hier concrete ervaringen en resultaten van te kunnen melden.
- › **De vergunningverlening** voor de projecten waarbij aan “beide zijden van het loket” de nodige ervaring is opgedaan. Voor

projectontwikkelaars als aanvragers van vergunningen is duidelijk geworden welke onderdelen van de omgevingsvergunning nodig zijn, en wat voor documentatie moet worden aangeleverd bij de aanvraag van de vergunning. Er zijn ondertussen wat adviseurs met ervaring die hierbij kunnen helpen. Veel van de ervaringen uit de eerste projecten zijn ingebracht in latere projecten door het raadplegen of betrekken van partijen van die eerste projecten bij de latere projecten. Door de projecten hebben ook diverse vergunningverleners bij verschillende omgevingsdiensten ervaring kunnen opdoen met het verlenen van een vergunning voor dit type waterstofprojecten. Het ontbreken van passende kaders voor toetsing van de aanvragen was daarbij een uitdaging die tot vertraging kon leiden. De ervaringen hebben bijgedragen aan de totstandkoming van de PGS40. Dit document over ‘Installaties voor de productie van waterstof door elektrolyse’ geeft duidelijke richtlijnen voor projectontwikkelaars waar een waterstofinstallatie op basis van elektrolyse aan moet voldoen en verschaft vergunningverleners een duidelijk toetsingskader voor vergunningverlening. Naar verwachting zal dit het proces van vergunningverlening verder stroomlijnen en versnellen.

- › **De keuring of certificering van elektrolysesystemen en waterstof-installaties** voor afgifte van een “Verklaring veilige ingebruikneming installatie”. Het is de verantwoordelijkheid van de exploitant/eigenaar om te garanderen dat de installatie veilig is. Om dit te kunnen onderbouwen is het van belang om een onafhankelijke instantie na te laten gaan of de installatie is ontworpen, gebouwd en getest volgens de geldende richtlijnen (vanaf nu de PGS40-richtlijnen), de relevante NEN-normen en de specificaties van de fabrikant(en).

› **De certificering van waterstof als RFNBO.**

De elektriciteit voor productie van de waterstof moet aan een aantal randvoorwaarden voldoen en het gebruik van de waterstof moet over de gehele keten gerekend tot een emissiereductie van minimaal 70% CO₂-equivalent leiden. De interpretatie van de regelgeving en de rekenregels zijn complex. Een aantal projectontwikkelaars en auditors van certificeringsinstellingen hebben met de eerste projecten ook de ervaringen op kunnen doen met de RFNBO-certificering.

Al deze kennis en ervaringen vormen belangrijke bouwstenen voor de verdere uitrol en opschaling van hernieuwbare waterstof-projecten in de komende jaren. Van belang is dan wel dat deze kennis en ervaringen voldoende worden ontsloten zodat volgende projecten er hun voordeel mee kunnen doen. In een aantal gevallen is er contact geweest tussen partijen voor uitwisseling van ervaringen. Ook heeft een partij geholpen bij de vergunningaanvraag van een andere partij. Opgedane kennis en ervaringen zijn verder actief gedeeld tijdens locatiebezoeken, en tijdens waterstof-evenementen en -congressen. Zo heeft bijvoorbeeld alleen al het HyStock-project in Zuidwending meer dan 500 bezoekers gehad.

Uitwisseling van kennis en ervaringen vindt echter plaats op ad-hoc basis en niet structureel. Enige uitzondering daarop is de samenwerking die Shell heeft in een gebruikersgroep met een aantal andere partijen die van dezelfde technologie gebruik maken. Deze samenwerking richt zich op het delen van inzichten en ervaringen met betrekking tot de technische en veilige integratie van de gebruikte elektrolysetechnologie in de waterstofinstallatie. In deze vroege fase van hernieuwbare waterstofprojecten zou dit type structurele samenwerking rond het ontwerpen, de bouw en het in gebruik nemen van waterstofinstallaties ook voor kleinere partijen van belang kunnen zijn.

6 Conclusies en aanbevelingen

De gesprekken over de hernieuwbare waterstofprojecten zijn een grote bron van ervaringen gebleken. Een deel is echter project-specifiek. Dit hoofdstuk geeft de conclusies en aanbevelingen op basis van de meer algemene ervaringen die in diverse projecten aan de orde zijn geweest.

6.1 Conclusies

6.1.1 Elektrolysetechnologie en elektrolysesystemen zijn nog in ontwikkeling

Partijen die een elektrolysesysteem aanschaffen moeten er rekening mee houden dat zowel de elektrolysetechnologie als de elektrolysesystemen nog geen uitontwikkeld product zijn. Er zijn nog weinig tot geen leveranciers die een gestandaardiseerd systeem aan kunnen bieden dat al een aantal keer in dezelfde vorm is geleverd en waarvoor al meerdere jaren onafgebroken praktijkervaring kan worden getoond. Dit levert onzekerheid en bemoeilijkt een goed geïnformeerde keuze.

De ontwikkelingen gaan snel. Enerzijds is dat een voordeel omdat verbeteringen in rap tempo worden doorgevoerd. Maar het is ook een aandachtspunt. Het kan ertoe leiden dat een leverancier bij gebreken aan stacks – het hart van een elektrolysesysteem – vanwege tussentijdse verbeteringen en opschalingsstappen na een aantal jaar geen vervangende stacks meer kan of wil leveren. Goede afspraken vooraf kunnen voorkomen dat de projectontwikkelaar kostbare aanpassingen aan het systeem moet maken voor een nieuwe versie van de stacks of gehinderd wordt door beschikbaarheid van nieuwe stacks.

6.1.2 Een elektrolyzersysteem bouwen is een vak apart

Het bouwen van een goed en veilig elektrolysesysteem vergt veel meer dan alleen goede stacks. Het vereist mensen die weten hoe je een systeem moet ontwerpen volgens de geldende (veiligheids)richtlijnen en hoe je bijvoorbeeld pompen, kleppen en leidingwerk moet installeren volgens de juiste normen. Die mensen moeten bovendien weten wat kwaliteitscontrole betekent en hoe die uit te voeren. Zelfs de meest gerenommeerde partijen op het gebied van elektrolyse blijken nog niet altijd over alle competenties te beschikken om systemen of modules te leveren die voldoen aan alle kwaliteits- en veiligheidseisen. Diverse projectontwikkelaars concluderen dan ook dat er nog onvoldoende industriële ervaring is in de sector. Die ervaring zal er zeker komen naarmate er meer projecten worden gerealiseerd, maar dat kost tijd. Tot die tijd is het zaak om vóór aanschaf van een systeem zo goed mogelijk zicht te krijgen op de kennis en kunde van een leverancier. Een aanbeveling is daarbij om bedrijfsbezoeken af te leggen en ter plekke in werkplaatsen rond te kijken om een beeld te krijgen van de competenties van de leverancier.

6.1.3 Het verkrijgen van de juiste informatie kost tijd

De nieuwheid van de technologie en het gebrek aan (praktijk)ervaring maken het in het algemeen nog lastig om een weloverwogen keuze te maken. Het helpt daarbij niet dat de informatie die bij het eerste contact werd geboden, vaak erg beperkt is. Het zijn veelal mooie folders of PowerPoints met rooskleurige maar weinig gedetailleerde informatie. Er zijn veel gesprekken nodig om goed inzicht te krijgen wat er komt kijken bij elektrolyse qua installatie, operationele aspecten en onderhoud. Dit is

essentiële informatie voor de business case van een project. Het vraagt om een kritische houding om die informatie op tafel te krijgen. Enige ervaring met waterstof of kennis van de technologie is daarbij van meerwaarde om de juiste vragen te kunnen stellen over zaken als opstarttijd, efficiency, regelbaarheid, deellastgedrag, afschakelprocedure, levensduur en garanties die worden gegeven. Alternatief is om een goede adviseur met ervaring in eerdere projecten te betrekken die de kwaliteit van de informatie en de praktijkervaring van aanbieders kan beoordelen en bevragen.

6.1.4 De complexiteit van systeemintegratie wordt nog vaak onderschat

Bij aanschaf van een compleet elektrolysesysteem is in principe de leverancier verantwoordelijk voor de integratie van de verschillende componenten in het systeem. Naast de stack(s) zijn componenten als kleppen, pompen, warmtewisselaars en gaszuivering op zichzelf vaak standaard-technologie. Maar de aansturing en regeling van het samenstel van de componenten tot een flexibel en tegelijk robuust systeem blijkt niet eenvoudig te zijn. Voor een waterstofinstallatie komt daar nog een laag bij voor integratie van het elektrolysesysteem met een buffer, een compressiestap en een of meerdere aflever-systemen voor de waterstof. De aansturing en regeling van het geheel is complex en een opgave die vaak wordt onderschat. Aandachtspunt hierbij is dat leveranciers, met als argument IP-bescherming, terughoudend kunnen zijn om informatie te delen die voor integratie van hun componenten in het systeem noodzakelijk is. Daarom moeten hier in een zo vroeg mogelijk stadium afspraken over worden gemaakt.

6.1.5 Nog weinig EPC-partijen met voldoende ervaring

Het is gebruikelijk dat een projectontwikkelaar een EPC-partij inhuurt voor de realisatie van een

installatie. Omdat er nog maar weinig hernieuwbare waterstofprojecten zijn gerealiseerd zijn er echter ook nog maar weinig EPC-partijen met ervaring over het hele traject van ontwerp tot en met oplevering van een kant-en-klare installatie die is getest en voldoet aan vooraf afgesproken prestatie-eisen. De beperkte ervaring bij EPC-partijen in combinatie met de beperkte praktijkervaringen met elektrolyse-systemen en de complexe systeemintegratie van een waterstofinstallatie in het algemeen, betekent dat er voor EPC-partijen aanzienlijke risico's kleven aan het aannemen van waterstofprojecten met harde deadlines en prestatie-eisen. Die risico's vertalen zich in hoge tarieven. Voor kleinere projecten kan dit tot relatief hoge kosten leiden. Er moet dan naar een alternatieve EPC-constructie worden gezocht met meerdere partijen waarmee de risico's kunnen worden gedeeld.

6.1.6 Realisatie van een waterstofproject op basis van elektrolyse vergt nog een lange adem

Er zijn tal van elementen waardoor er meer tijd dan gemiddeld nodig is om tot een investerings-besluit te komen en tot daadwerkelijke realisatie over te gaan van een installatie voor productie van hernieuwbare waterstof. Het vinden van een geschikte EPC-partij en het lastige proces om te komen tot een keuze voor een leverancier van een elektrolysesysteem zijn hiervoor al genoemd. Ook de tijd die het kost voor het aanvragen en verkrijgen van een vergunning, een subsidie en/of een aansluiting op het elektriciteitsnet kan een rol spelen. Maar de meeste tijd gaat zitten in het uitwerken van een business case en het verkrijgen van voldoende zekerheid in de business case. Dat is lastig omdat enerzijds de kosten hoog zijn (apparatuur, energie en financiering), de regelgeving die moet zorgen voor een hernieuwbare waterstofmarkt nog in beweging is, en de betalingsbereidheid bij klanten beperkt is. Gebaseerd op de ervaringen van de huidige projecten bedraagt de periode tussen de start van een initiatief en de

investeringsbeslissing typisch 3 à 4 jaar. De levering van het elektrolysesysteem en de bouw van de installatie neemt daarna nog ordegrrootte 1 à 3 jaar in beslag, afhankelijk van de grootte van de installatie. De doorlooptijd tot opstarten van de installatie bedraagt dan al snel minimaal 4 à 5 jaar. Voor definitieve oplevering van een installatie of voordat een installatie op volle capaciteit kan draaien kan daar nog enige tijd bijkomen.

6.1.7 Beschikbaarheid is de voornaamste zorg

De beschikbaarheid van het elektrolysesysteem is op het ogenblik de belangrijkste parameter voor exploitanten/eigenaren van de waterstof-installaties. Het niet beschikbaar zijn door storingen of gebreken heeft een grote impact op de business case zowel door de kosten van onderhoud en reparaties als door het gemis aan inkomsten als gevolg van het uit bedrijf zijn van de installatie. Verder is het niet goed voor het vertrouwen bij klanten als er niet geleverd kan worden. De installaties kunnen in principe 24/7 beschikbaar zijn bij continubedrijf, maar dynamisch bedrijf met regelmatige starts en stops levert nog de nodige storingen die maken dat er iemand ter plekke moet zijn om het elektrolysesysteem en de rest van de installatie weer “een zetje” te geven.

6.1.8 De marktontwikkeling is nog onzeker

Zonder uitzondering hebben partijen lof voor de mogelijkheden die er zijn voor financiële ondersteuning van projecten. Tegelijkertijd geven de meeste partijen aan dat het afsluiten van langetermijn contracten met afnemers van groene waterstof op dit moment zo goed als onmogelijk is. De financierbaarheid van projecten en de business case staan hierdoor constant onder druk. Deels wordt de onzekerheid bij afnemers door de geïnterviewden geweten aan het gebrek aan consistentie van beleid. Men geeft aan dat voor het kunnen afsluiten van contracten voor langjarige afname en de ontwikkeling van een

robuuste markt voor groene waterstof, een consistent langjarig beleid voor inzet van hernieuwbare waterstof cruciaal is.

6.2 Aanbevelingen voor projectontwikkelaars

6.2.1 Bevraag zoveel mogelijk vergelijkbare projecten

Uit de ervaringen met de eerste hernieuwbare waterstofprojecten komt duidelijk naar voren dat er nog veel geleerd moet worden op het gebied van certificering, integratie van componenten en hoe systemen te opereren. Een aanbeveling aan projectontwikkelaars is daarom in ieder geval om zoveel mogelijk te rade te gaan bij partijen die een vergelijkbaar project hebben uitgevoerd om te leren van zaken die daar niet goed zijn gelopen en van zaken die wel hebben gewerkt. Bij voorkeur wordt tijdens ten minste één van deze bezoeken een referentieproject bezocht waarbij de leverancier de elektrolyser heeft geleverd, en kunnen daarbij of nadien dan vragen aan de eigenaar van deze installatie worden gesteld over de ervaringen met de bouw en ingebruikname van deze installatie.

6.2.2 ‘Keep it simple’

Houd de projectorganisatie zo simpel mogelijk en faseer de realisatie van een project zoveel als mogelijk; hoe meer aandeelhouders en stakeholders hoe complexer het wordt. Dit geldt ook voor het leveren van andere producten. Door leveren van warmte en zuurstof neemt het aantal partijen toe, neemt de technische complexiteit toe en kan ook de regelgeving die van toepassing is toenemen. Het is belangrijk om dit soort ambities te faseren.

6.2.3 Zoek snel contact met alle betrokken instanties

Treed zo vroeg mogelijk in contact met de partijen en instanties die van belang zijn en kunnen helpen om zo snel mogelijk tot een investeringsbeslissing en realisatie van het

project te kunnen komen. Dit betreft de volgende partijen:

- › **De omgevingsdienst:** Zij kunnen informatie verschaffen over de procedure die moet worden gevolgd en de bijbehorende doorlooptijden. Verder kunnen ze aangeven welke vergunningen nodig zijn en welke informatie, met wat voor detailniveau, in welke fase moet worden aangeleverd. Aanbeveling is ook om een ervaren partij met kennis op het gebied van zowel de elektrische kant als de waterstofkant te betrekken bij het opstellen van de documenten voor de vergunningaanvraag.
- › **De netbeheerder:** Deze kan informeren over de beschikbaarheid van een aansluiting op het elektriciteitsnet die nodig is en het type aansluitingen die mogelijk zijn.
- › **Het waterleidingbedrijf:** Een aansluiting op het waterleidingnetwerk is over het algemeen eenvoudiger. Maar de gecombineerde behoefte aan water als grondstof voor de waterstof en als koelwater kan aanzienlijk zijn en de plaatselijke capaciteit van de waterleiding overschrijden. Ook de kwaliteit van het water kan van belang zijn voor de bereiding van de vereiste waterkwaliteit voor elektrolyse.
- › **De bank:** Een bank kan nodig zijn voor (een bijdrage in de) financiering van het project. De bank kan daarbij ook adviseren over de garanties en contracten die nodig zijn om een project van een solide juridische basis te voorzien.
- › **Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO):** RVO kan adviseren over subsidie-instrumenten die beschikbaar zijn voor het project, inclusief toelichting van de randvoorwaarden en mogelijke consequenties daarvan voor specifieke omstandigheden van een project, zoals een gefaseerde realisatie. Bij RVO is er ook veel

kennis over de RFNBO-certificering van waterstof.

6.3 Aanbevelingen voor beleidsmakers

Diverse partijen hebben de behoefte geuit aan duidelijk en consistent beleid voor hernieuwbare waterstof dat voldoende perspectief biedt voor het kunnen sluiten van langjarige afname-contracten en het doen van investeringen in opschaling. Daarbij zou de overheid een grotere rol kunnen pakken om ontwikkeling van groene producten en diensten te stimuleren, bijvoorbeeld door in aanbestedingen voor (weg- en water)bouwprojecten en openbare diensten groene nul-emissie oplossingen (beter) te waarderen. Dit geldt echter breder dan alleen voor hernieuwbare waterstof. Het past bij de bredere oproep aan de overheid aan duidelijk en consistent stimulerend beleid voor economisch haalbare investeringen in duurzame opties met een lange terugverdientijd. De volgende aanbevelingen hebben meer specifiek betrekking op verhoging van de kansen op succesvolle projecten voor productie van hernieuwbare waterstof.

6.3.1 Verken opties voor structurele kennisdeling

Er zijn wel contacten tussen de partijen die met hernieuwbare waterstofprojecten aan de gang gaan of zijn, en er is ook gebruik gemaakt van kennis die in andere projecten is ontwikkeld. Maar dit is gebaseerd op incidentele contacten en het ontbreekt aan structurele uitwisseling van kennis en ervaringen. Voor een deel komt dit doordat partijen gebruik maken van een ander type elektrolysetechnologie, een andere leveranciers hebben of een project met een andere scope. Maar het komt ook doordat partijen erg druk zijn om de systemen in de lucht te krijgen en te houden. Dit kan ertoe leiden dat het maatschappelijk rendement van investeringen in hernieuwbare waterstofprojecten niet optimaal is.

Elektrolyzers zijn nog volop in ontwikkeling. Fabrikanten zijn daarom erg terughoudend om praktijkervaringen van installaties die ze in het veld hebben staan te delen en technische informatie te ontsluiten die in de praktijk vaak wel nodig is voor de systeemintegratie. Vanuit bescherming van “intellectual property” (IP) zullen er beperkingen zijn aan het type informatie en het detailniveau waarop informatie kan worden gedeeld. Maar op technisch vlak kan in principe allerlei informatie en ervaring gedeeld worden zonder inbreuk op echte IP. In deze fase is delen van kennis en ervaringen over technische, praktische en veiligheidsaspecten van wezenlijk belang om de leercurve zo snel mogelijk te kunnen doorlopen. Wat diverse partijen betreft, zou hier vanuit subsidieregelingen best meer aandacht voor mogen zijn.

In dit verband is de suggestie gedaan om bijvoorbeeld na te denken over pre-kwalificatie van aanbieders voor subsidieprogramma's waarbij eisen worden gesteld aan transparantie over praktijkervaringen, het beschikbaar stellen van bepaalde type technische informatie en de bereidheid om samen met klanten te werken aan verbetering en doorontwikkeling van de systemen die ze leveren. Alleen partijen die zich kwalificeren komen vervolgens in aanmerking voor gesubsidieerde projecten. Daarnaast zou van partijen die met elektrolyseprojecten aan de slag gaan of willen gaan, gevraagd kunnen worden om deel te nemen aan een gebruikersgroep waar kennis en ervaringen op structurele wijze worden gedeeld en geborgd.

6.3.2 Ontwikkel een checklist voor beoordeling van elektrolyzers en leveranciers

Vanwege de onbekendheid van leveranciers en de beperkte praktijkervaring en informatie over elektrolysesystemen die ze leveren is het voor projectontwikkelaars nog lastig om een goed geïnformeerde keuze te maken voor een systeem. In dit verband heeft het sowieso

meerwaarde als de projectontwikkelaar zelf enige ervaring met waterstof of kennis van de technologie heeft om de juiste vragen te kunnen stellen. Alternatief is om een adviseur met ervaring te betrekken, maar die zijn nog schaars en mogelijk duur. Bevindingen van partijen tot nu toe kunnen worden gebruikt om een checklist te maken die partijen met beperkte ervaring en/of middelen kunnen ondersteunen in het nagaan van informatie en bevragen van leveranciers. Dit kan helpen om beter zicht te krijgen op de expertise van de leverancier en de status en kwaliteit van het elektrolysesysteem, en zo tot een beter geïnformeerde keuze te komen voor een elektrolysesysteem. Bijlage C bevat een aanzet voor een checklist.

6.3.3 Verder onderzoek en ontwikkeling nodig

In de interviews komen een aantal terugkerende technische problemen naar voren, zowel voor de elektrolyse stack zelf als voor de BoP. Deels zijn deze problemen te voorkomen door goede engineering, zoals selectie van geschikte componenten. Maar deels zijn de problemen ook terug te voeren op lacunes in de kennis en is onderzoek nodig. Het verdient aanbeveling om in onderzoeksprogramma's onderzoeksthema's en -onderwerpen te agenderen die op basis van de bevindingen relevant zijn om tot robuustere ontwerpen en ontwerpregels te komen voor elektrolysesystemen en hernieuwbare waterstofinstallaties. Bijlage D bevat een overzicht van de thema's en onderwerpen die zijn geïdentificeerd.

Bijlage A

Beschrijving van de individuele projecten

Dit rapport bundelt de lessen uit acht representatieve Nederlandse waterstof-projecten. Deze projecten worden in hieronder kort beschreven.

A.1 HyStock (EnergyStock (Gasunie); Zuidwending)

Projectontwikkeling gestart 2016, in bedrijf 2019.

HyStock is een van de eerste Nederlandse pilotinstallaties voor de productie van hernieuwbare waterstof. In 2016 zijn de eerste plannen ontstaan voor een installatie voor productie en gebruik van waterstof. Ontwikkelaar van het project is EnergyStock, de Gasunie dochter die zich bezighoudt met (ondergrondse) opslag van energie en zich richt op het ontwikkelen van grootschalige ondergrondse waterstofopslag in zoutcavernes in Zuidwending (Groningen). De 1 MW elektrolyser installatie, geleverd door ITM Power (PEM-elektrolyse), is in 2019 in bedrijf genomen.

Waterstof is gebruikt om een boorgat voor een zoutcaverne te vullen ten behoeve van materiaalonderzoek voor ondergrondse waterstofopslag. Om waterstof als energiedrager te demonstreren zijn gelijktijdig meerdere toepassingen ontwikkeld, waaronder het gebruik van waterstof in een verbrandingsketel, verschillende voertuigen op waterstof en productie van hernieuwbare waterstof voor derden.

HyStock is een goed voorbeeld van een pioniersproject voor waterstofproductie door elektrolyse. Het project kent een aantal knelpunten: onvolwassen elektrolysetechnologie, beperkte beschikbaarheid van onderdelen, complexe vergunningstrajecten, gebrekkige ketenstandaardisatie en een R&D-achtige industrie. Tegelijkertijd is HyStock een belangrijk kennis- en demonstratieplatform met sterke veiligheidscultuur, innovatieve testcapaciteit, internationale impact en waardevolle bijdragen aan standaardisatie.

Foto: HyStock elektrolyser en tussenopslag



A.2 Groengas Asset/- Holthausen Energy Points (Amsterdam en Groningen)

Projectontwikkeling gestart 2016, eerste hernieuwbare waterstof tankstation in bedrijf in 2021, capaciteit wordt verder uitgebreid.



Foto: Detail compressiesysteem met buffers

Holthausen is gasleverancier en een vroegtijdige pionier in hernieuwbare waterstof in Nederland. Holthausen is internationaal bekend geworden met het ombouwen van voertuigen naar waterstof. Na ervaring van het bedrijven van een kleinere elektrolyse proefinstallatie in 2016-2017, richt het huidige project zich op het exploiteren van twee Holthausen Energy Points

tankstations, in Groningen en Amsterdam. Gelijk verdeelt over beide locaties bedraagt de totale capaciteit van de alkaline elektrolyzers 5 MW, met het Italiaanse bedrijf Erredue als leverancier. Naast productie van hernieuwbare waterstof voor mobiliteit ontstaat er nu vraag naar waterstof voor de industrie (waterstofpakketten) en bouwaggregaten. De projecten zijn vrijwel geheel in eigen beheer ontworpen en gerealiseerd.



Foto: Detail compressieruimte

Holthausen's grootste uitdagingen lagen in infrastructuur, subsidies, systeemintegratie en marktvertrouwen, terwijl hun succes vooral werd bepaald door eigen technische kennis, nauwe samenwerking met Erredue, ondernemerschap en een flexibel, gediversifieerd businessmodel.

Foto: Installatie voor productie van hernieuwbare waterstof bij Holthausen Energy Points in Amsterdam



A.3 SinneWetterstof (Alliander/GroenLeven; Oosterwolde)

**Projectontwikkeling gestart 2019, in
bedrijf 2024 (gedeeltelijk en tijdelijk).**

Het SinneWetterstof-project in Oosterwolde (Friesland) was een pilotproject van Alliander en GroenLeven om te onderzoeken hoe hernieuwbare waterstofproductie kan helpen bij het oplossen van netcongestie, vooral in gebieden met veel zonne-energie. In 2019 is gestart met verkenningen en het projectbesluit is genomen in maart 2020 met als doel te leren over het dynamisch bedrijven van electrolyzers, de rol van hernieuwbare waterstof bij het oplossen van netcongestie en de toepassing van waterstof in decentrale productie.

In maart 2022 werd de installatie geopend naast een groot zonnepark (132.000 panelen, 50 MWp). Een deel van de opwek van dit zonnepark werd via een kleinschalige elektrolyser (1,4 MW) omgezet in hernieuwbare waterstof, bedoeld voor regionale afnemers in mobiliteit en industrie. Het beoogde productieniveau was 100.000 kg waterstof per jaar, maar dit werd door technische en operationele uitdagingen niet gehaald. Het faillissement van de

leverancier van het elektrolyser systeem, Green Hydrogen Systems, speelde hierbij een hoofdrol.



Foto: Elektrolyser en tussenopslag

Het SinneWetterstof-project kende grote technische en organisatorische uitdagingen, voornamelijk door een onvolwassen elektrolysesysteem, problemen in de organisatie bij leveranciers en onvoldoende kennis van veiligheidsnormen en kwaliteitsborging. Toch was het project een cruciale leerervaring voor Alliander/DEP, partners en de vergunningverleners. Dankzij sterk lokaal draagvlak, snelle samenwerking en een unieke testlocatie leverde het Sinnewetterstof-project waardevolle inzichten op die direct bijdragen aan de professionalisering van Nederlandse waterstofprojecten.

Foto: Overzicht van het Sinnewetterstof- waterstofproductiesysteem



A.4 Hysolar (Hysolar B.V.; Nieuwegein)

Projectontwikkeling gestart 2019, elektrolyser installatie geopend 2024 (in 2021 is al het bijbehorende tankstation geopend).

Het Hysolar-project in Nieuwegein is een gezamenlijk initiatief van Allied Waters (een zusterbedrijf van KWR Water Research Institute), Jos Scholman en Van Kessel/Greenpoint en gericht op de keten van hernieuwbare waterstof tot het gebruik in voertuigen. Het project levert o.a. waterstof aan de emissievrije zware voertuigen van Jos Scholman maar ook via het tankstation aan andere voertuigen. De elektrolyser bevindt zich op het KWR-terrein. Het PEM-systeem, geleverd door Cummins/Accelera, is via een ondergrondse leiding gekoppeld aan een publieke waterstofinfrastructuur. Naast demonstreren van de keten wordt het project gebruikt om onderzoek te doen naar netcongestie, gebruik van water en andere innovatieve aspecten.

Betrokken partijen zijn onder andere:

- › KWR Water Research Institute (locatie-eigenaar)
- › Allied Waters/Energy LabNL (initiatiefnemer)
- › Scholman (civiel & toepassing in werktuigen)
- › Van Kessel Groep (tankstations en logistiek)
- › Cummins / Accelera (Hydrogenics) (elektrolyser-leverancier)
- › Maximator (tankstation-technologie)

Het Hysolar-project laat zien dat een kleine maar zeer gedreven groep partijen een volwaardige waterstofketen kan realiseren van productie (elektrolyser) tot eindgebruik (transport en mobiele werktuigen) met bijbehorende infrastructuur ondanks een complexe en weinig volwassen markt. De belangrijkste successen liggen in sterke samenwerking, professionele leveranciers, lokale bouwkracht en innovatieve realisatie (zoals de ondergrondse leiding). Daartegenover waren er uitdagingen rond vergunningen en regelgeving en vormen marktontwikkeling en technische optimalisatie nog belangrijke aandachtspunten.

Foto: Overzicht van het Hysolar systeem voor productie van hernieuwbare waterstof



A.5 H2 Hollandia (H2 Hollandia B.V.; Nieuw-Buinen, Drenthe)

Initiatief project 2021, realisatie verwacht 2026.

H2 Hollandia is een grootschalig groenwaterstofproject in Nieuw-Buinen (Drenthe), ontwikkeld door Novar, Avitec en Repowered. Novar is ontwikkelaar van zonneparken en heeft in 2021 het initiatief genomen om een groen waterstof project te koppelen aan een zonnepark. Het project bouwt een 5 MW-elektrolyser gekoppeld aan het 115 MWp zonnepark Vloelvelden Hollandia. De installatie moet jaarlijks ongeveer 300.000 kg hernieuwbare waterstof produceren. De waterstof wordt op locatie in tube-trailers opgeslagen en vervolgens geleverd aan o.a. mobiliteits- en logistieke toepassingen.

Betrokken partijen zijn onder andere:

- › Novar (ontwikkelaar hernieuwbare energiesystemen)
- › Avitec (civiele werken)
- › Repowered (technische modellering, businesscase, haalbaarheid)
- › Erez Energy (projectmanagement)

Engineering en bouw van de electrolyser wordt gezamenlijk uitgevoerd door Plug Power (PEM-elektrolyser en BoP), Resato (compressor en vulstation) en Summit Engineering (systeemintegratie) met ondersteuning van DNV. Het zonnepark “Vloelvelden Hollandia” is eigendom van Novar en ontstaan in samenwerking met Avitec en Avebe

H2 Hollandia is een innovatief waterstofproject achter de meter. Het project wordt gerealiseerd door een projectspecifiek bouwteam gevormd door leveranciers met verdeling van risico's tussen partijen. Het ontbreken van regelgeving voor specifieke situatie rond aansluiting op het elektriciteitsnet vormde een aparte uitdaging voor het project. Daarnaast is de onvolwassen markt voor groene waterstof nog een grote uitdaging. Het project is dankzij een sterk consortium, pragmatische aanpak en goede test- en kwaliteitsborging op weg naar succesvolle realisatie (de eerste waterstofproductie staat gepland voor Q3 2026).

Foto: H2 Hollandia project in aanbouw





Foto: Holland Hydrogen 1 project in aanbouw.

A.6 Holland Hydrogen 1 (Shell; Maasvlakte)

Opgezet: Conceptfase rond 2019–2021, Final Investment Decision in 2022, bouw in 2023–2026.

Een van Europa's grootste elektrolyser systemen in aanbouw: 200 MW alkaline systeem ontworpen voor directe koppeling aan offshore wind. Waterstof wordt geleverd aan de Shell-raffinaderij (Pernis).

Betrokken partijen zijn onder andere:

- › Shell (projectontwikkeling & toekomstige asset-operatie)
- › ThyssenKrupp Nucera (Alkaline elektrolysemODULES)
- › Worley (engineering & procurement)
- › Siemens (power electronics & integratie)
- › Havenbedrijf Rotterdam, Gasunie (aansluiting infrastructuur)

Holland Hydrogen 1 is een van de meest complexe en ambitieuze waterstofprojecten in Europa. Het project opereert in een omgeving waar technologie, regelgeving, infrastructuur en markt nog niet volwassen zijn. Het Holland Hydrogen 1 project laat zien dat grootschalige elektrolyse vooral een integratie- en systeemuitdaging is: niet de stacktechnologie, maar vooral alle 'Balance-of-Plant' en de regelgeving rond waterstofproductie en waterstof- en elektriciteitsinfrastructuur bepalen risico's, kosten en succes van het project.

A.7 H2-Go (H2-Go B.V.; Hessenpoort Zwolle)

Initiatief project 2020, realisatie en inbedrijfname is gaande.

H2-Go B.V. ontwikkelt op bedrijventerrein Hessenpoort in Zwolle een innovatieve Smart Energy Hub waarin hernieuwbare waterstofproductie wordt gecombineerd met rioolwaterzuivering. Bijproducten, zoals pure zuurstof en warmte, kunnen worden ingezet voor efficiëntere waterzuivering en energiebesparing.

Betrokken partijen zijn onder andere:

- › H2-Go B.V.
- › Een Engineering partij
- › Waterschap Drents Overijsselse Delta (WDODelta)
- › STOWA – ondersteunt het onderzoek op de rioolwaterzuiveringslocatie. [\[WDODelta.nl\]](https://www.wdodelta.nl)
- › REACT-EU – verstrekt subsidie voor de elektrolyser en het onderzoeksproject.

De 1,2 MW elektrolyser van H-TEC (nu Quest One) die hernieuwbare stroom omzet in waterstof en pure zuurstof kan circa 500 kg H₂ per dag leveren, gecomprimeerd tot 550 bar voor mobiliteit en industriële toepassingen. Najaar 2022 zijn de voorbereidingen op de RWZI-locatie gestart. In 2023 zijn de elektrolyser (1,2 MW) en overige componenten geïnstalleerd, maar vanwege technische problemen en verschillen van inzicht tussen partijen over contractuele verplichtingen is ingebruikname van de installatie nog niet afgerond.

H2-Go is een schoolvoorbeeld van de uitdagingen van eerste generatie waterstofprojecten, waarin elektrolysesystemen en contractvorming rond uitbesteding van ontwerp, inkoop en bouw van groene waterstofprojecten nog onvoldoende volwassen zijn. Het project wordt gekenmerkt door een projectontwikkelaar met een sterke 'het kan wel mentaliteit' en is uniek in de mogelijkheden voor verwaarding van de bijproducten zuurstof en restwarmte. Maar de haalbaarheid moet nog blijken in de praktijk.

Foto: Overzicht van H2-Go installatie voor productie van hernieuwbare waterstof



A.8 Experience Center (XINTC; Kootwijkerbroek)

Initiatief project 2022, realisatie 2024.

Het XINTC Experience Center is een demonstratie- en testfaciliteit voor de productie van hernieuwbare waterstof in Kootwijkerbroek. Het toont XINTC's elektrolysetechnologie in de praktijk, direct gekoppeld aan een zonnepark en zonder gebruik van vermogenselektronica, zoals omvormers, of batterijen.

Het doel is om het elektrolysesysteem van XINTC in werking te tonen onder realistische zonneomstandigheden, inclusief fluctuerend aanbod van elektriciteit. Daarnaast wordt het Experience Center gebruikt voor rondleidingen, werkbezoeken en sectorevenementen, waaronder bezoeken georganiseerd voor en door GroenvermogenNL, Fieldlab H₂ Agri en internationale delegaties.



Foto: Modulair opgebouwde elektrolyser XINTC

Het Experience Center is een demonstratieproject dat de technologie van XINTC als volwaardig commercieel systeem presenteert. Hiermee wil XINTC de geclaimde voordelen van de XINTC-technologie, zoals de zeer grote flexibiliteit om met wisselend aanbod van stroom en de directe connectie met het zonnepark, effectief in de praktijk laten zien.

Foto: XINTC elektrolysesysteem inclusief tussenopslag en compressie-unit



Bijlage B

Vragenlijst voor interviews

B.1 Voorbereiding van het project

- › Aanleiding en scope van het project:
 - Wat was de aanleiding voor het project; wat is de rol van elektrolyser en waterstof?
 - Hoe zijn jullie tot de specificaties, de grootte van het project gekomen?
- › Keuze leverancier elektrolyser:
 - Hoe hebben jullie je georiënteerd in het aanbod aan elektrolyzers?
 - Hoeveel aanbieders zijn benaderd, en wat was de “kwaliteit” van de aanbiedingen?
 - Hoe makkelijk of lastig is het om een keuze te maken, en waardoor komt dat?
 - Waar let je op bij het maken van een keuze; wat zijn doorslaggevende aspecten? (Efficiency, levensduur, bedieningsgemak, service, garantie, circulariteit, ...)?
 - Waarom is de keuze gemaakt voor PEM of waarom voor alkali?
 - Welke informatiebronnen waren bij dit proces nuttig, welke informatie was niet of moeilijk te vinden?
 - Hoe beoordelen jullie de documentatie die door de leverancier is opgeleverd?
- › Uitvoering door eigen mensen versus uitvoering door contractors:
 - Welke fases zijn er in de ontwikkeling van het project te onderscheiden en welk type partijen waren betrokken bij de verschillende fases van het project?
 - Welke rollen en taken hadden de verschillende partijen, en hoe verliep de communicatie? (Haalbaarheid, ontwerp, vergunningen, bouw, ...)?
- › Engineering fase
 - Hoe kwamen de belangrijkste keuzes voor het ontwerp (Lage druk vs. hoge druk, buiten vs. binnen, etc.) tot stand en Wie was daarvoor verantwoordelijk?
 - Wie heeft de kostenschatting van het systeem gemaakt en was de scope van de kostenschatting duidelijk voor alle partijen?
 - Is er informatie die pas laat in het project op tafel kwam, en die tot vertraging heeft geleid? Was er informatie die je graag eerder in het project beschikbaar had willen hebben om keuzes voor ontwikkeling van het project of de elektrolyser te maken?
 - Liepen er processen parallel die beter sequentieel uitgevoerd hadden moeten worden of omgekeerd?
- › Vergunningverlening:
 - Hoe is de vergunningverlening verlopen, m.n. i.r.t. het aspect waterstof?
 - Hoe was het contact met betrokken instanties, o.a. brandweer en vergunningverlener?
 - Wat was het kennisniveau van deze partijen?
 - Waren er naast de specifieke zaken rond waterstofveiligheid andere punten die een belangrijke rol speelden in de vergunningsverleningen (emissies, geluid, ...)?
 - Welke informatiebronnen waren belangrijk tijdens het de veiligheidsanalyse en de vergunningverlening? Welke informatie ontbrak?
- › Financiering en subsidieverlening
 - Hoe is het project gefinancierd en wat zijn de ervaringen met financiering en subsidieverlening?

- Zijn er wensen en aandachtspunten op het gebied van financiering en subsidieverlening? Welke?

B.2 Bouw van de installatie

- › Leverancier elektrolyser, andere leveranciers en contractors:
 - Wat zijn ervaringen met het vinden van een aannemer/installateur met de juiste (waterstof) ervaring; is dat van belang?
 - Wat zijn de ervaringen met het nakomen van afspraken door leveranciers en contractors?
 - Zo niet, had je dat van tevoren kunnen weten of waren er van tevoren signalen die je achteraf beter snapt?
 - Achteraf bezien, welke afspraken in het contract met de leveranciers en contractors hadden vooraf scherper moeten worden gemaakt?
- › Waren er onverwachte mee- en tegenvallers tijdens de bouw (ervaringen, aandachtspunten, verrassingen?)
- › Wat zijn de ervaringen met het vinden van de juiste materialen en componenten met de juiste specificaties? Zijn er specifieke ervaringen met de onderlinge afstemming van componenten op elkaar?
- › Wat zijn de ervaringen met de beschikbaarheid en levertijd van materialen en componenten?

B.3 Inbedrijfstelling en operatie van de elektrolyser

- › Commissioning:
 - Hoeveel weken waren er gepland voor commissioning, en hoe lang heeft het werkelijk geduurd?
 - Welke partij was primair verantwoordelijk voor de commissioning?
 - Functioneert de installatie nu helemaal zoals gepland en gewenst?
 - Hoe belangrijk waren de prestaties van de installatie voor dit project en hoe zijn deze

vastgelegd? Welke aspecten (bijvoorbeeld efficiency, beschikbaarheid, etc.) zijn in het bijzonder van belang?

- Wat waren of zijn de aandachtspunten bij de commissioning en nu tijdens de operationele fase; wat functioneert goed en waar zitten de knelpunten?
- Werden afspraken vanuit de leverancier nagekomen?
- Wat hebben jullie geleerd in deze fase?
- › Certificering waterstof:
 - Zijn er al ervaringen met het certificeren van waterstof als RFNBO, en zo ja, wat zijn de ervaringen met het kiezen en contracteren van een erkend certificeringsschema en een auditor voor het certificeringsproces?
- › Eerste ervaringen operationele aspecten:
 - Voldoet het elektriciteitsverbruik aan de verwachtingen, hoe hoog is het en is er inzicht in waar het verbruik precies zit?
 - Zijn er al kentallen voor degradatie?
 - Zijn er ervaringen met dynamisch bedrijf en wat zijn die ervaringen?
 - Wat is het niveau aan minimale deellast van de installatie?
 - Welke andere ontwerpkeuzes zouden er nu gemaakt worden op basis van de ervaring met het bedrijven en O&M van de installatie?
 - Worden redenen voor ongeplande downtime bijgehouden? Wat zijn belangrijke componenten of mechanismen die leiden tot afschakelen?

B.4 Tot slot

- › Waarvan vind je achteraf dat jullie het heel goed hebben gedaan?
- › Waarvan vind je achteraf dat jullie iets anders hadden moeten aanpakken?
- › Welke lessen zou je een bedrijf dat nu net start met een elektrolyseproject nog meer willen meegeven?
- › Welke informatie over/uit andere projecten zou voor jullie relevant zijn? Welke informatie kunnen jullie zelf delen?

Bijlage C

Checklist voor leveranciers (aanzet)

Het beschikbaar stellen van een checklist voor het beoordelen van leveranciers heeft zowel mogelijk voor- als nadelen en dient goed te worden overwogen. Ook de vraag wie verantwoordelijk zou moeten zijn voor een dergelijke checklist valt niet binnen het bestek van dit onderzoek. Anderzijds hebben de interviews wel zoveel informatie opgeleverd voor zo'n checklist dat het zinvol is om hier een overzicht te geven van de onderwerpen die bij zo'n checklist zouden moeten horen op basis van de gedeelde ervaringen. Het opstellen en implementeren van een volledige lijst is een apart project. De onderstaande lijst vormt een eerste aanzet.

C.1 Basisbeoordeling van leverancier en organisatie

- › Leverancier kan aantoonbaar relevante ervaring tonen met vergelijkbare projecten. Referentieprojecten benoembaar en verifieerbaar.
- › Leverancier heeft stabiele financiële positie en bewezen continuïteit in engineering, support en documentatie. Leverancier groeit niet sneller dan zijn organisatieproces aankan (geen extreme opschaling of hoge personeelsswissel).
- › Klanttevredenheid over leverancier tijdens commissioning en operationele fase.

C.2 Technische volwassenheid en prestaties

- › Werkelijke prestaties (kg/uur, efficiency, beschikbaarheid, waterstofzuiverheid) zijn

onderbouwd met meetdata, niet alleen brochurewaarden.

- › Installatie functioneert aantoonbaar onder dynamische condities (start-stop, fluctuaties door zon/wind). De installatie is gestandaardiseerd en gevalideerd als compleet geïntegreerd systeem.
- › Lekdichtheid is aantoonbaar gevalideerd (H₂ leak testing).
- › Geleverde systeem voldoet aan CE, ATEX, PED en andere relevante normen van toepasbaar op het beoogde land en is volledig gedocumenteerd.
- › Veiligheidsfuncties (SIL niveaus, shutdown logica, ontluchting, purge systemen) zijn helder beschreven. Besturingssystemen zijn transparant, toegankelijk en integratievriendelijk (open protocollen, duidelijke interfaces).

C.3 Documentatie en kwaliteit van informatie

- › Complete en actuele technische documentatie wordt geleverd (handleidingen, onderhoudsvoorschriften, reserve-onderdelen lijsten).
- › Leverancier levert volledige set P&ID's, regelstrategie, interlock beschrijvingen en datasheets.
- › Voor oplevering is er een volledige "as built" set beschikbaar.
- › Leverancier heeft een gestandaardiseerd FAT /SAT proces en deelt testrapporten van eerdere projecten.
- › Typecertificering of platformbenadering aanwezig (herhaalbaarheid, minder maatwerkkrisico's).
- › Heldere scope afbakening: wat is turnkey, wat niet (om verrassingen tijdens integratie te voorkomen)?

- › Plan voor commissioning, inclusief aanwezigheid van deskundige engineers op locatie.
- › Duidelijk O&M plan inclusief reserveonderdelen, responstijden en lange-termijn servicecontracten.

C.4 Operationele robuustheid en onderhoudbaarheid

- › Beschikbaarheid van kritische onderdelen is gegarandeerd voor minimaal 10 jaar.
- › Heldere procedures voor reinigen, droogprocessen, gasmanagement, stack swap procedures.

- › Systeem kan veilig en snel herstarten na storingen of spanningsuitval.
- › Datalogging geschikt voor analysedoeleinden en storingsanalyse.
- › Geen vendor lock-in voor datatoegang.
- › Duidelijke prestatiegaranties (availability, efficiency, ramping behaviour).
- › Heldere afspraken over aansprakelijkheid, hersteltermijnen, garantievoorwaarden en boeteclausules.
- › Transparantie over update-beleid, softwareversies, design changes en retrofit mogelijkheden.

Bijlage D

Suggesties voor nader onderzoek en ontwikkeling

D.1 Versnelde stresstesten (AST) van stacks

De levensduur van stacks die bedreven worden op basis van intermitterende hernieuwbare energieprofielen of aan- en afschakelen op basis van prijssignalen moet langer en beter voorspelbaar. Daarvoor is het nodig versnelde levensduur testen (accelerated stress tests of AST's) te ontwikkelen die in het lab en in veldtesten gebruikt kunnen worden om het gedrag onder daadwerkelijke omstandigheden te voorspellen. Dit vereist een veel beter inzicht in de degradatiemechanismen en de invloedsfactoren. Ook onderzoek naar andere belastingen, zoals impact van drukpulsen, is nodig.

D.2 Compatibiliteit van materialen en coatings

Zowel de hoge zuiverheid van de elektrolyt in een PEM elektrolyser als het zeer basische alkali dat als elektrolyt gebruikt wordt in de AWE, stellen hoge eisen aan de materialen. Verificatie van de geschiktheid van materialen en coatings die gebruikt worden aan de hand van corrosie- en brosheidsstudies zijn nodig om problemen in het bedrijf van het systeem te voorkomen en de levensduur van de stacks te verhogen. Ook verbindingen zoals lasverbindingen verdienen aandacht.

D.3 Effecten van besmetting en onzuiverheid

Onzuiverheden zoals opgeloste ionen hebben een sterke impact op de levensduur van stacks. Beter ontwerp van elektrolyser systemen vergt

onderzoek naar de benodigde zuiverheid en naar de daadwerkelijk behaalde zuiverheden in veldtesten. Op basis van die kennis is het mogelijk verbeterde filtratie- en zuiveringsstrategieën te ontwikkelen.

D.4 Betrouwbaarheid van Balance-of-Plant (BoP) componenten

Een opvallend thema is dat als de stacks acceptabel presteerden, BoP-componenten vaak leiden tot downtime. Ook hier speelt in veel gevallen het dynamische gedrag een rol. Pompen en vloeistofbehandeling onder dynamische werking leidt in sommige gevallen tot cavitatie en drukpulsen. Dergelijke problemen kunnen voorkomen worden door bestudering en modellering van het dynamisch gedrag van vloeistoffen in en rond deze apparaten. Noodzakelijk is ook een betere faalanalyse van drogers en scheiders en vereenvoudigde en/of verbeterde gasreinigingsarchitecturen.

D.5 Engineering practices

Naast onderzoek, is het ook nodig om te komen tot meer algemeen geaccepteerde ontwerpregels voor elektrolyse systemen, waarbij het belangrijk is dat de engineering voldoende rekening houdt met de specifieke en afwijkende eigenschappen van waterstof en zuurstof waar het gaat om lekkage, veiligheid en corrosie. Een aantal specifieke issues werden geïdentificeerd door de geïnterviewden.

- › Kleppen en instrumentatie moeten specifiek geschikt zijn voor zuurstof/en of waterstof, de corrosieve omstandigheden en

wisselende condities behorende bij regelmatig opstarten en afschakelen.

- › Betrouwbaarheid van druk-, stroom- en waterstofzuiverheidssensoren onder wisselende omstandigheden.
- › Het ontwerp van het systeem met betrekking tot conditionering van de cellen en het membraan tijdens stilstand (nathouden, stikstofspoeling).
- › De aansturing van het hele waterstofproductiesysteem inclusief de interactie tussen componenten zoals compressoren, vulstations, eventuele buffers, etc. en het elektrolyse systeem.
- › Identificatie van optimale "minimaal stabiele werkvensters" om mechanische schade te voorkomen.
- › Tijdig laten aanleveren van alle documentatie door toeleveranciers die een onafhankelijke keuringsinstantie nodig heeft voor de veiligheidskeuring en vrijgave van de installatie.

Intern gebruik
Energy & Materials Transition

Radarweg 60
1043 NT Amsterdam
www.tno.nl

Dit is een publicatie van:

Rijksdienst voor Ondernemend Nederland
Prinses Beatrixlaan 2 | 2595 AL Den Haag
Postbus 93144 | 2509 AC Den Haag
T +31 (0) 88 042 42 42
[Contact](#)
www.rvo.nl

Deze publicatie is tot stand gekomen in opdracht van het het ministerie van Economische Zaken en Klimaat.

© Rijksdienst voor Ondernemend Nederland | juni 2026
Publicatienummer: RVO-110-2026/RP-DUZA

De Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO) stimuleert duurzaam, agrarisch, innovatief en internationaal ondernemen. Met subsidies, het vinden van zakenpartners, kennis en het voldoen aan wet- en regelgeving. RVO werkt in opdracht van ministeries en de Europese Unie.

RVO is een onderdeel van het ministerie van Economische Zaken en Klimaat.