

Elektrolyse: **de motor
van waterstofproductie**

Ontdek de vijf meest veelbelovende elektrolysertechnologieën en lees hoe NXTGEN Hightech bijdraagt aan de versterking van de concurrentiepositie van het Nederlandse bedrijfsleven binnen de waterstofketen.

1. Inleiding

De energietransitie is de overgang van fossiele energie naar energie uit hernieuwbare bronnen. Voor veel grote bedrijven is het verduurzamen van hun bedrijfsprocessen een topprioriteit. Waterstof speelt hierin een onmisbare rol. Maar wat maakt elektrolyzers zo cruciaal binnen deze revolutie?

Nederland beschikt over een sterke hightech-industrie en onderscheidt zich met diepgaande expertise in dunnefilmtechnologie, zoals Atomic Layer Deposition (ALD), en systeemintegratie. Met deze kennis richten we ons op veelbelovende markten, zoals de elektrolysermaakindustrie.

Binnen het NXTGEN Hightech Energy-domein ontwikkelen we elektrolyzers en aanverwante apparatuur – essentieel om concurrerende posities in de waterstofketen te veroveren en stappen te zetten richting een groenere economie.

Onze projecten sluiten aan op grote Nederlandse en Europese strategieën, zoals het Klimaatakkoord,

de Green Deal en Horizon Europe, die innovatie stimuleren voor een klimaatneutrale toekomst.

Tegen 2030 wil Nederland 3 tot 4 gigawatt aan elektrolysecapaciteit realiseren. Ook streeft de EU ernaar het aandeel hernieuwbare energie in het totale energieverbruik te verhogen naar 42,5%. Dit biedt een enorme kans voor de Nederlandse hightechindustrie om deze groeiende markt te betreden met de volgende generatie producten.

In dit whitepaper nemen we je mee in de wereld van elektrolysertechnologieën en laten we zien hoe wij bijdragen aan een duurzame toekomst.

Milou Arts
Ecosysteemontwikkelaar
Energy
NXTGEN Hightech



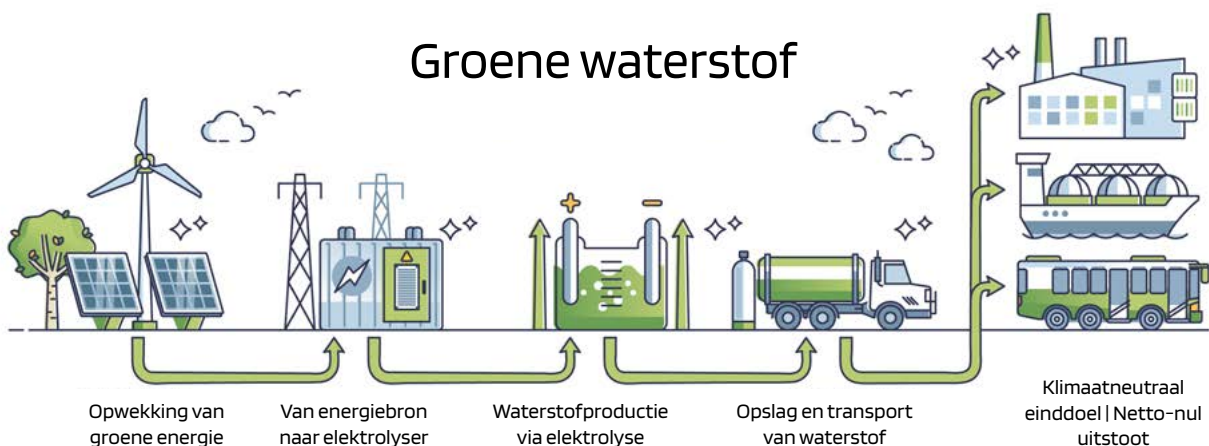
2. Elektrolyse in de waterstofketen

Elektrolyzers vormen de ruggengraat van de waterstofeconomie. Ze maken het mogelijk om groene energie om te zetten in een veelzijdige energiedrager. Van grootschalige industriële toepassingen tot decentrale oplossingen: elektrolyzers maken duurzame waterstofproductie mogelijk en helpen fossiele brandstoffen te vervangen.

Hernieuwbare energiebronnen zoals zon en wind zijn in Nederland ruimschoots aanwezig. Dat biedt vrijwel onbeperkte kansen voor waterstofproductie. Toch zijn we er nog niet.

Er wordt hard gewerkt aan de ontwikkeling van de waterstofinfrastructuur en de uitbreiding van opslaglocaties. Tegelijkertijd zetten we stappen in de verbetering van elektrolysetechnologie, zodat Nederlandse bedrijven innovatieve en concurrerende elektrolyzers kunnen ontwikkelen die aansluiten bij de behoeften van de markt.

Door nú de juiste keuzes te maken, kunnen we straks samen de vruchten plukken.



2.1 Het proces in een notendop

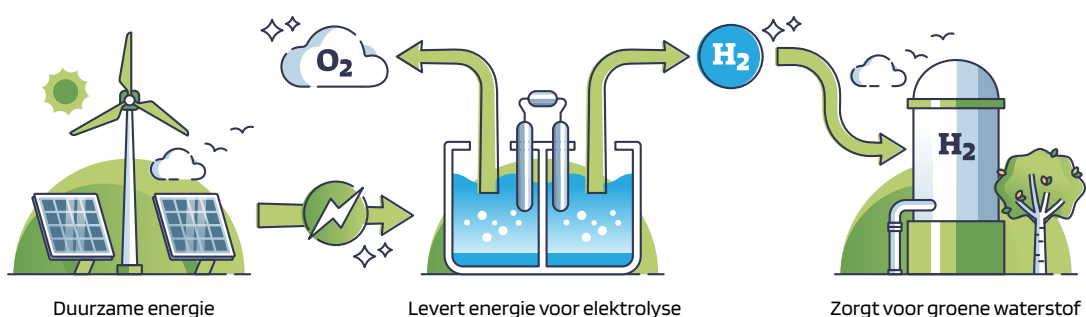
Elektrolyse is een proces waarbij water (H_2O) met behulp van elektriciteit wordt gesplitst in waterstof (H_2) en zuurstof (O_2). Wanneer die elektriciteit afkomstig is van hernieuwbare energiebronnen, zoals zon of wind, ontstaat een volledig CO_2 -vrij productieproces. Dit maakt elektrolyse tot een sleuteltechnologie voor de energietransitie en een duurzame toekomst.

Er bestaan verschillende typen elektrolyzers, elk met hun eigen voor- en nadelen. Ze verschillen bovendien in hun 'technology readiness level' (TRL), waardoor sommige pas op langere termijn

een aanzienlijk marktaandeel zullen behalen. Toch volgen alle elektrolyzers hetzelfde basisprincipe: het splitsen van water in waterstof en zuurstof. Wat verschilt, zijn de gebruikte elektrolyt en de werkingsomstandigheden.

Een alkaline-elektrolyser maakt bijvoorbeeld gebruik van een vloeibare alkalische oplossing als elektrolyt, zoals kaliumhydroxide. Dit proces vindt plaats in een basische omgeving. Een PEM-elektrolyser daarentegen gebruikt een vaste polymeer elektrolyt en werkt in een zure omgeving. Hierdoor zijn andere materialen nodig, zoals platina en iridium.

Productieproces waterstof



2.2 Een overzicht van alle technologieën

De keuze voor een type elektrolyser hangt af van de specifieke toepassing, de schaal en de beschikbaarheid van elektriciteit en warmtebronnen. Elk type draagt op zijn eigen manier bij aan een duurzame energietoekomst. In dit overzicht vergelijken we de belangrijkste kenmerken van de vijf elektrolysertechnologieën. Deze vergelijking maakt duidelijk welke technologie het beste aansluit bij de specifieke behoeften van bedrijven.

Aan het einde van dit whitepaper vind je een addendum met de verschillende types elektrolyzers en hun toepassingsgebieden.

Kenmerk	ALK	PEM	SOE	AEM	CO ₂ Elektrolyse
Principe	Vloeibare Elektrolyt	Vaste polymeer-membraam	Hoge-temperatuur keramisch membraam	Alkalisch ionenwissel-membraam	Directe CO ₂ conversie
Efficiëntie	Gemiddeld	Gemiddeld	Hoog	Gemiddeld	Gemiddeld
Materiaalkosten	Laag	Hoog (platinum, iridium)	Midden tot hoog (keramiek)	Laag	Gemiddeld
Flexibiliteit	Laag tot hoog	Hoog	Laag	Gemiddeld	Laag
Typische toepassings-voorbeelden	Industriële H ₂ -productie	Integratie van hernieuwbare energie, transport	Synthesegas koppeling met industriële warmte	Gedecentraliseerde energiesystemen	Circulaire economie-producten
Ontwikkelingsfase	Volwassen {TRL 9}	Volwassen {TRL 8-9}	Opkomend {TRL 7-8}	Opkomend {TRL 5-7}	Opkomend {TRL4-6}
Belangrijkste outputs	H ₂ en O ₂	H ₂ en O ₂	H ₂ synthesegas en O ₂	H ₂ en O ₂	Methanol, ethanol, mierenzuur, etc.

Wat zijn de belangrijkste verschillen?

- **Flexibiliteit:** PEM is ideaal voor variabele hernieuwbare energiebronnen. Alkaline elektrolyse (ALK, AWE) vereist een stabielere energie-invoer, maar er wordt gewerkt aan het verbeteren van de flexibiliteit.
- **Materiaalkosten:** AEM en ALK maken gebruik van goedkopere materialen, wat ze kosteneffectiever maakt, terwijl PEM en SOE afhankelijk zijn van schaarse of dure materialen zoals iridium en keramiek.
- **Efficiëntie:** SOE blinkt uit doordat het op hoge temperatuur werkt en deze temperatuur ook behoudt tijdens het elektrolyseproces. AEM heeft momenteel een lagere efficiëntie, maar wordt verwacht uit te blinken in betaalbaarheid.

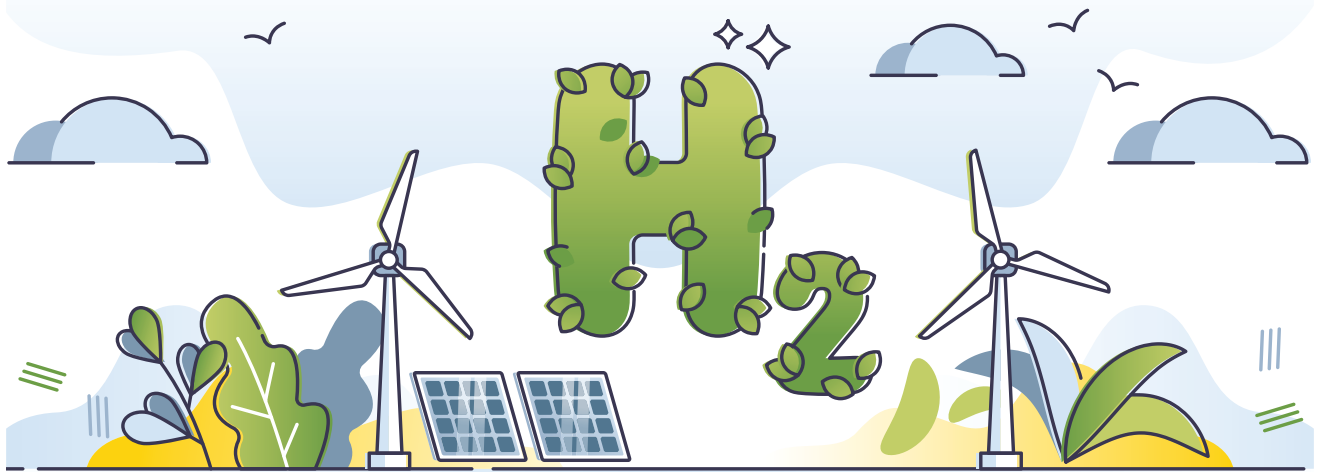
CO₂-reductie: van uitstoot naar waarde

Hoewel CO₂-elektrolyse nog in ontwikkeling is, combineert het klimaatimpact, economische waarde en circulariteit. Door CO₂ om te zetten in nuttige producten biedt het enorme kansen voor een duurzame economie. Daarom is het een belangrijk onderzoeksgebied voor ons.

CO₂-uitstoot kan zowel direct als indirect worden gereduceerd:

Directe reductie: Bij CO₂-elektrolyse wordt CO₂ uit de lucht of industriële processen gehaald en omgezet in waardevolle producten zoals brandstoffen of chemicaliën.

Indirecte reductie: Technologieën zoals ALK, PEM en AEM verminderen de uitstoot in de keten door fossiele brandstoffen te vervangen door groene waterstof, geproduceerd via hernieuwbare energie.



2.3 Drie generaties elektrolyzers: waar staan we nu en waar gaan we heen?

Voordat we kijken naar de verschillende types elektrolyzers, is het belangrijk om te weten dat we spreken over drie generaties elektrolyzers:

1. De **eerste generatie** is momenteel in gebruik bij de industrie. Dit betreft vooral Alkaline en PEM elektrolyzers.
2. De **Tweede generatie** elektrolyzers bouwt voort op de eerste, met verbeterde componenten, zoals membranen, elektrodes en coatings. Deze PEM-generatie is efficiënter dan de eerste, maar gebruikt nog steeds vaak schaarse materialen.
3. De **derde generatie** kenmerkt zich door innovatieve technologieën en nieuwe cel- en stackarchitectuur die de waterstofproductie efficiënter maken, terwijl het gebruik van schaarse en dure materialen geminimaliseerd wordt. Dit kan de inzet van elektrolyzers in de industrie en energieopslag aanzienlijk verhogen. We verwachten deze generatie vanaf 2030 op de markt.

Toekomstbestendige elektrolyzer: efficiënter en duurzamer

De kosten van een elektrolyzerstack dalen naarmate de productie meer geautomatiseerd wordt en op grotere schaal plaatsvindt. Kosten zijn uiteraard belangrijk, maar voor eindgebruikers zijn ook andere kenmerken cruciaal bij de keuze voor een elektrolyzer. Denk aan betrouwbaarheid, veiligheid en de efficiëntie waarmee een elektrolyzer kan worden ingezet. Innovatie moet er daarnaast voor

zorgen dat het gebruik van kritieke grondstoffen (CRM), platinagroepmetalen (PGM) en PFAS (in afdichtingen en membranen) zoveel mogelijk wordt vermeden.

Kansen voor Nederland in de nieuwe elektrolyse generaties

Nederland is een hotspot voor waterstofgebruik en -productie, wat een enorme marktkans biedt voor onze eigen apparatuurproductie. Het Nederlandse ecosysteem streeft ernaar een sterke positie te verwerven in de toeleveringsketen van de volgende generatie elektrolyse-stacks, componenten en aanverwante apparatuur. De wereldmarkt voor de huidige (eerste generatie) elektrolyse-stacks wordt gedomineerd door 5-10 spelers, maar de tweede en derde generaties bieden kansen om deze markt te doorbreken.

Hoe zorgen we ervoor dat we deze kansen verzilveren?

Door als start-ups, gevestigde bedrijven en onderzoeks- en kennisinstellingen samen te werken aan onderzoek en ontwikkeling van deze nieuwe technologieën. We kunnen een sterk ecosysteem in Nederland opzetten door gebruik te maken van de kennis en expertise van de Nederlandse hightechsector, bijvoorbeeld uit de semiconductor- en automotive-industrie. Met geautomatiseerde, grootschalige high-precision productie van stacks kunnen we de betrouwbaarheid, levensduur, efficiëntie, flexibiliteit en duurzaamheid aanzienlijk verbeteren, terwijl de kosten worden verlaagd, vooral voor de geproduceerde waterstof (LCOH).

3. NXTGEN Hightech: de aanjager van innovatie

Het NXTGEN Hightech nationaal groeifonds-programma geeft een flinke impuls aan de ontwikkeling van nieuwe technologieën en aan het ecosysteem. Dit programma bestaat uit diverse domeinen, waaronder het energiedomein. Binnen dit domein richten drie projecten zich op het verbeteren van elektrolyzers en streven ze naar nieuwe control points in de markt.

Energy project 7, 'Phoenix Alkalina', richt zich, onder leiding van VDL, op het ontwikkelen van een nieuwe tweede generatie elektrolyser. In Energy

project 8, 'Third Generation Electrolyzers', werkt een consortium onder leiding van TNO aan de ontwikkeling van de derde generatie elektrolyzers. In Energy project 10, 'Zero Emission Fuels', een spin-off van de TU Delft, wordt gewerkt aan de ontwikkeling van een zonneveld-elektrolyser.

Over deze projecten vertellen we je graag meer, want hier vindt innovatie plaats en bouwen we aan een sterk ecosysteem. Er wordt gewerkt aan technologie, producten en machines die we nodig hebben in de wereld van morgen.

3.1 Project Phoenix Alkalina

VDL Hydrogen Systems maakt deel uit van het NXTGEN Hightech programma en werkt samen met Nederlandse partners aan de ontwikkeling van een nieuwe alkalische elektrolyser die efficiënter en betaalbaarder is. Door slimmere ontwerpkeuzes te onderzoeken, kan de efficiëntie van de elektrolyser worden verhoogd. Daarnaast worden componenten ontwikkeld die niet alleen efficiënter zijn, maar ook tegen lagere kosten geproduceerd kunnen worden. Een belangrijk focuspunt is de verbetering van membranen en elektroden, die 50% van de kosten bepalen.

Samenwerking binnen project Phoenix Alkalina

Naast de ontwikkeling van de nieuwe elektrolyser werkt Magneto aan een nieuwe generatie elektroden. Deze elektroden worden getest in de nieuwe elektrolyser en dragen bij aan

verbeterde prestaties en kostenvoordelen. Met de testresultaten kan Magneto toekomstige stack-OEM's laten zien welke resultaten zijn behaald. Op deze manier helpt het project meerdere bedrijven om een sterkere positie in de markt te veroveren.

Toekomstvisie en opschaling

Met de hulp van NXTGEN is al een 50 kW elektrolyser gebouwd. In 2026 staat de opschaling naar 500 kW gepland, gevolgd door 15 MW testopstellingen. Het uiteindelijke doel is de bouw van een fabriek die jaarlijks 1 GW aan elektrolyzers produceert. De productie van groene waterstof is een speerpunt binnen de topsector energie. Door het bouwen van efficiënte en kostengunstige elektrolyzers zal VDL, samen met de Nederlandse maakindustrie, een sleutelrol spelen en een essentiële bijdrage leveren aan een duurzame toekomst.



3.2 Project Derde Generatie Elektrolyzers



De tweede generatie elektrolyzers (van onder andere VDL Hydrogen Systems) is in aantocht. Maar om de waterstofproductie verder te optimaliseren, is een radicale doorbraak nodig: de derde generatie elektrolyzers. Deze derde generatie elektrolyzers vormen een belangrijke kans voor de Nederlandse industrie om zich te (blijven) onderscheiden op de internationale elektrolysemarkt.

Wat kenmerkt de derde generatie elektrolyzers?

Atoomdikke lagen en bijzondere structuren op nanoschaal zijn nodig om de gewenste prestaties te behalen. Ook op grotere schaal, van micro-poreuze lagen tot stromingskanalen, zijn structuren en geometrieën nodig die perfect passen bij het optimale proces. Zo kunnen het energiegebruik, het materiaalgebruik en de kosten worden gereduceerd.

Synergie in hightech productietechnologie

Binnen de ontwikkeling van elektrolyzers wordt gewerkt aan verschillende technologieën, waarbij de focus van Energie 8 in lijn ligt met de

Technology Readiness Level (TRL) en de verwachte marktintroductie. De nadruk ligt eerst op PEM en AWE, waar Bosch en VDL al een tweede generatie technologie hebben ontwikkeld. De volgende stap richt zich op de belangrijkste uitdagingen voor de derde generatie: voor AWE betreft dit een 3D-structuur, PGM-vrije Ni-katalysatoren en een ontwerp dat geoptimaliseerd is voor productie.

Voor PEM ligt de nadruk op het verlagen van de iridiumbehoefte door een combinatie van 3D-structuren en dunnefilmcoatings zoals ALD, (s) ALD en spark ablation. SOE-technologie richt zich op kostenreductie en levensduurverlenging door dunnefilmttechnologie, wat operationeel efficiënter werken bij lagere temperaturen mogelijk maakt. Daarnaast wordt gekeken naar AEM en CO₂-elektrolyse, waarbij synergieën in productietechnieken worden benut om controlepunten voor de Nederlandse maakindustrie en OEM's te verankeren. Hierbij wordt een gerichte aanpak gevolgd op basis van precisieproductie en kwaliteitsnormen uit de halfgeleider- en automotive-industrie, evenals de unieke dunnefilm apparatuur en productiemethoden zoals (s)ALD en spark ablation.

Samenwerking en innovatie

COVAL, Powall, SparkNano en VSParticle zijn innovatieve bedrijven die in staat zijn unieke structuren en coatings te maken. In het project werken zij samen met gevestigde industriële partners zoals Bosch, Demcon, Magneto en VDL. TNO heeft een grote technische inbreng en coördineert het project. Met zes PhD's brengen drie universiteiten (TUD, TU/e, UT) een groot aantal uitermate innovatie ideeën en benaderingen in het project. Kortom, een mooi consortium dat in staat is om een bijdrage te leveren in die belangrijke stap naar groene energievoorziening in 2030.



VDL en Bosch

VDL en Bosch sturen de technologieontwikkeling aan voor Alkaline- en PEM-elektrolyzers. Beide bedrijven werken samen met hun NXTGEN Hightech-projectpartners aan de ontwikkeling van de derde generatie technologieën. Voor Alkaline betekent dit een integrale focus op het zo laag mogelijk maken van de LCOH. Voor PEM betekent dit een aanzienlijke vermindering (factor ~20 of meer ten opzichte van de 2020-referentie) van het iridiumgebruik, evenals een sterk verbeterd operationeel rendement van de stack. Deze innovaties verbeteren de marktpositie voor beide technologieën en alle bijbehorende NXTGEN Hightech-projectpartners.



SparkNano, VSParticle en Powall

Deze bedrijven ontwikkelen en schalen dunne-filmdepositieapparatuur en/of innovatieve katalysatoren. SparkNano en VSParticle werken aan ultradunne coatings en 3D-elektrodestructuren om het rendement en de levensduur van elektrolyzers te verbeteren. Powall richt zich op katalysatoren voor PEM- en Solid Oxide-elektrolyzers. Samen zorgen ze ervoor dat nieuwe technologieën tijdig klaar zijn voor grootschalige toepassingen.



HyGear

HyGear richt zich op het analyseren van de huidige en toekomstige waterstofmarkten. Ze monitort de markt en vertaalt klantbehoeften uit verschillende segmenten naar systeem- en componentenspecificaties voor elektrolysesystemen, waaronder Alkaline, PEM, AEM en SOE. HyGear bouwt in dit project een prototype voor het testen van derde generatie stacks, voert validatietests uit en onderzoekt ook stacks voor de omzetting van N_2 en CO_2 . Hiermee levert HyGear een belangrijke bijdrage aan de ontwikkeling en toepassing van innovatieve elektrolysertechnologieën.



3.3 Project Zero Emission Fuels

Zero Emission Fuels (ZEF), een spin-off van de TU Delft, ontwikkelt innovatieve micro-plants die zonne-energie direct omzetten in methanol, een duurzame brandstof. Deze compacte systemen worden gekoppeld aan zonnepanelen en zetten lokaal opgewekte energie efficiënt om in methanol. Bijzonder aan deze technologie is de directe omzetting van zonnestroom in waterstof, waardoor er geen netaansluiting nodig is.

Binnen het NXTGEN Hightech project wordt hard gewerkt aan het doorontwikkelen en testen van de micro-plant. Tegelijkertijd wordt een geautomatiseerde productie- en assemblagelijijn opgezet om de micro-plants op grote schaal te kunnen produceren. De meeste Nederlandse waterstofprojecten richten zich op de inzet van grootschalige elektrolyzers, maar ZEF integreert een kleinschalige alkaline elektrolyser in hun micro-plants. Dit unieke concept vervangt grote, gecentraliseerde fabrieken door duizenden kleinere units.

ZEF gaat de zonne-elektrolyser ook los op de markt brengen. Het unieke aan dit systeem is dat de alkaline elektrolyser direct aan zonnepanelen kan worden bevestigd. Door het nieuwe design kan de modulaire elektrolyser de dynamische stroomoutput van het zonnepaneel volgen. Zo kan goedkope zonnestroom direct worden gebruikt voor de groene waterstofproductie zonder dure vermogenslektronica. Door installatie in standaard zonne-farms kunnen ook de installatie- en inbedrijfnamekosten drastisch worden verlaagd.

Door kleine, modulaire systemen te bouwen, is geautomatiseerde assemblage mogelijk, waardoor kwaliteitscontrole is gewaarborgd en de kosten

van de elektrolyser worden verlaagd. In fieldlabs en pilots met klanten kunnen de systemen zonder grote investeringskosten langdurig worden getest. Deze gedecentraliseerde aanpak biedt niet alleen schaalvoordelen en flexibiliteit, maar verlaagt ook de installatiekosten aanzienlijk. ZEF laat hiermee zien hoe innovatieve elektrolyse technologie de energietransitie kan versnellen en versterken.



Talent van de toekomst

Ondertussen hebben al meer dan 400 studenten van verschillende opleidingen praktijkervaring opgedaan bij ZEF en geleerd over elektrolyse en het ontwerp van micro-plants. Hiermee dragen ze bij aan de ontwikkeling van het ecosysteem en wordt tegelijkertijd een talentenpool voor de energiesector opgebouwd. Deze aanpak zorgt voor een voortdurende instroom van nieuwe kennis en frisse perspectieven, wat de groei en innovatie binnen het waterstofecosysteem versterkt.

4. Afsluiting

Grootschalige en kleinschalige elektrolyseprojecten vullen elkaar uitstekend aan in de energietransitie. Grootschalige elektrolyzers, zoals die van Bosch en VDL, zijn essentieel voor de productie van grote hoeveelheden waterstof in Nederland, die nodig zijn voor industrie, grootschalige opslag en internationale export. Ze zorgen voor de basisinfrastructuur en benutten schaalvoordelen om de kosten van waterstofproductie op termijn te verlagen.

Tegelijkertijd bieden kleinschalige oplossingen, zoals de micro-plants van ZEF, flexibiliteit en decentralisatie. Ze maken directe koppeling met hernieuwbare energiebronnen mogelijk, zoals zonneparken, zonder afhankelijkheid van een netaansluiting. Vooral in zonrijke gebieden is dit ontzettend interessant. Bovendien kunnen ook afgelegen locaties en kleinere toepassingen profiteren van groene waterstof en duurzame brandstoffen zoals methanol.

Samen vormen deze benaderingen een complementair systeem en beide zijn onmisbaar voor een robuuste en toekomstbestendige energiemix. Daarnaast zien we dat de Nederlandse maakindustrie niet alleen uitblinkt in het produceren van hightech materialen, componenten en machines die nodig zijn voor de productie van elektrolyzers, maar ook bekendstaat om haar uiterst betrouwbare en precieze productiestandaarden. Met name in de Semicon- en Automotive-industrie heeft Nederland een sterke reputatie opgebouwd als producent van hoogwaardige en nauwkeurige technologieën.

Om ook deze bedrijven te helpen om hun technologie op de juiste schaal te bewijzen én de juiste versnelling te kunnen maken, zijn programma's zoals NXTGEN Hightech van onschatbare waarde.



5. Addendum

Vijf verschillende elektrolyse technieken verder uitgezocht

1. Alkaline Elektrolyse (ALK)

Hoe werkt het?

Alkaline elektrolyse maakt gebruik van een vloeibare elektrolyt (meestal kaliumhydroxide) en elektroden van nikkel of staal. Tijdens het proces wordt een elektrische stroom door de elektrolyt geleid, wat water splitst in waterstof (H_2) en zuurstof (O_2).

Voor wie is deze technologie interessant?

Alkaline elektrolyse is kosteneffectief en betrouwbaar, wat het ideaal maakt voor grootschalige toepassingen in stabiele productieomgevingen. Deze technologie is robuust en heeft decennia aan industriële toepassing.

- **Chemische industrie:** Voor de grootschalige productie van ammoniak, methanol en andere chemische producten.

- **Energiebedrijven:** Bij grootschalige waterstofproductie voor energieopslag of als brandstof.
- **Staalindustrie:** Voor het vervangen van cokes door waterstof als reductiemiddel.

Voordelen:

- Lage kosten per geproduceerde kilogram waterstof.
- Gebruik van algemeen beschikbare materialen (geen edelmetalen).
- Bewezen technologie met een lange levensduur.

Nadelen:

- Minder geschikt voor dynamische belasting (zoals variabele wind- en zonne-energie).
- Relatief lage energiedichtheid en efficiëntie.

Meer weten over dit project? Bekijk dan [hier](#) de NXTGEN projectpagina inclusief video.

2 Proton Exchange Membrane (PEM) Elektrolyse

Hoe werkt het?

PEM-elektrolyse gebruikt een dunne polymeren membraan als elektrolyt, met platina en iridium elektroden aan beide zijden. De elektriciteit splitst water in waterstof en zuurstof, terwijl de protonen door de membraan bewegen.

Voor wie is deze technologie interessant?

PEM biedt flexibiliteit en hoge prestaties, waardoor het perfect is voor sectoren die afhankelijk zijn van variabele energie-invoer en snelle schakeling vereisen. PEM werkt efficiënt bij lagere temperaturen en heeft een compact ontwerp.

- **Energiebedrijven:** Voor koppeling aan zonnepanelen en windmolens, vanwege de flexibiliteit in belasting.
- **Transportsector:** Voor waterstoftankstations en mobiele toepassingen.
- **Industrie:** Bij productieprocessen die snel moeten opschalen en afschalen.

Voordelen:

- Hoge dynamische respons, ideaal voor variabele energiebronnen.

- Compact en geschikt voor stedelijke toepassingen.
- Hoge zuiverheid van de geproduceerde waterstof.

Nadelen:

- Duurder door het gebruik van schaarse edelmetalen zoals platina en iridium.
- Kortere levensduur van membranen onder extreme bedrijfsomstandigheden.

Toepassingsvoorbeeld:

In Veghel bij Fluidwell is een 120 kW PEM elektrolyser-systeem ontwikkeld voor decentrale waterstofproductie. Het systeem is sinds juni 2024 operationeel. Dit is een eerste prototype waar uiteindelijk een product uit moet rollen in de vorm van een vermarktbaar elektrolyzersysteem met een capaciteit van 100 – 500 kWe.

Er zijn plannen om een nieuwe productiehal te bouwen met een output van 1.000 systemen van 100 kW per jaar in 2032.

3 Solid Oxide Elektrolyzers (SOEC)

Hoe werkt het?

SOEC werkt bij temperaturen tussen 500–800°C, gebruikmakend van keramische membranen. Deze hoge temperaturen verhogen de efficiëntie, vooral als restwarmte uit industriële processen wordt gebruikt. Bovendien kan SOEC waterstof en syngas (een mix van waterstof en koolstofmonoxide) produceren via co-elektrolyse van H_2O en CO_2 .

Voor wie is deze technologie interessant?

SOEC is de meest efficiënte technologie en perfect voor integratie in industriële processen waar restwarmte beschikbaar is.

- **Chemische industrie:** Voor syngasproductie, een grondstof voor brandstoffen en plastics.
- **Staal- en cementindustrie:** Voor gebruik van industriële restwarmte en CO_2 -reductie.

Voordelen:

- Hoge efficiëntie door gebruik van warmte.
- Geschikt voor grootschalige toepassingen in de industrie.
- Productie van syngas, wat direct bruikbaar is voor synthese van chemicaliën zoals methanol.

Nadelen:

- Hoge investeringskosten.
- Complex onderhoud en kortere levensduur bij lage belasting.

Toepassingsvoorbeeld:

Het MegaSyn Project gebruikt SOEC om syngas te produceren uit CO_2 en water, wat wordt gebruikt in duurzame chemische processen.

4 Anion Exchange Membrane (AEM) Elektrolyse

Hoe werkt het?

AEM-elektrolyse gebruikt goedkope membranen en elektroden die geen edelmetalen bevatten. De techniek werkt op basis van hydroxide-ionen die door de membraan bewegen, met lagere operationele kosten als gevolg.

Voor wie is deze technologie interessant?

Betaalbaarheid en modulariteit maken AEM aantrekkelijk voor kleine tot middelgrote toepassingen.

- **Decentrale energieproducenten:** Voor kleinschalige toepassingen.
- **Gemeenten:** Voor lokale energieopslag in woonwijken.

Voordelen:

- Goedkoop en duurzaam, door gebruik van niet-schaarse materialen.
- Ideaal voor kleinschalige en modulaire systemen.

Nadelen:

- Lagere efficiëntie en levensduur vergeleken met PEM.
- Minder ontwikkeld en nog in opkomende fase.

Toepassingsvoorbeeld:

Het Nederlandse H2 Hollandia-project zet AEM-elektrolyzers in voor decentrale waterstofproductie.

5 CO_2 -Elektrolyse

Hoe werkt het?

CO_2 -elektrolyse zet CO_2 direct om in waardevolle producten zoals methanol of ethyleen. Het proces maakt gebruik van diverse niet-edelmetalen katalysatoren en vereist elektriciteit, zuivere CO_2 en water.

Voor wie is deze technologie interessant?

Dit is een unieke oplossing voor CO_2 -reductie en gericht op circulaire waardeketens. De technologie is nog in de onderzoeksfase en daardoor nu nog niet commercieel inzetbaar.

- **Chemische industrie:** Voor productie van methanol, plastics en andere producten.
- **Energiebedrijven:** Voor circulaire brandstofproductie.

Voordelen:

- Directe CO_2 -reductie.
- Geschikt voor circulaire economie.

Nadelen:

- Hoge energiekosten.
- Nog in vroege ontwikkelingsfase.

6. Over NXTGEN Hightech

Dit project wordt mede mogelijk gemaakt door een bijdrage uit het Nationaal Groeifonds programma NXTGEN Hightech. Dit programma gaat met ruim 330 partners, in meer dan 60 projecten en in zes essentiële domeinen, een significante bijdrage leveren aan de structurele en duurzame economische groei in Nederland én oplossingen bieden voor de grote maatschappelijke uitdagingen op het gebied van de energietransitie, gezondheid, veiligheid en voeding. Inclusief de bijdrage van € 450 miljoen uit het Nationaal Groeifonds, gaat NXTGEN Hightech tot 2030 ongeveer € 1 miljard investeren. We gaan daarmee in Nederland een

internationaal toonaangevend ecosysteem voor hightech equipment realiseren, dat in ieder geval tot de top drie van Europa behoort en een extra bijdrage levert aan het Nederlandse BNP van € 6 tot 11 miljard per jaar. We gaan een nieuwe generatie hightech machines en apparatuur ontwikkelen voor de toekomstige generatie Nederlanders: onze kinderen.

Voor meer informatie, kijk ook op www.nxtgenhightech.nl, of volg ons op LinkedIn (Energie | NXTGEN Hightech)