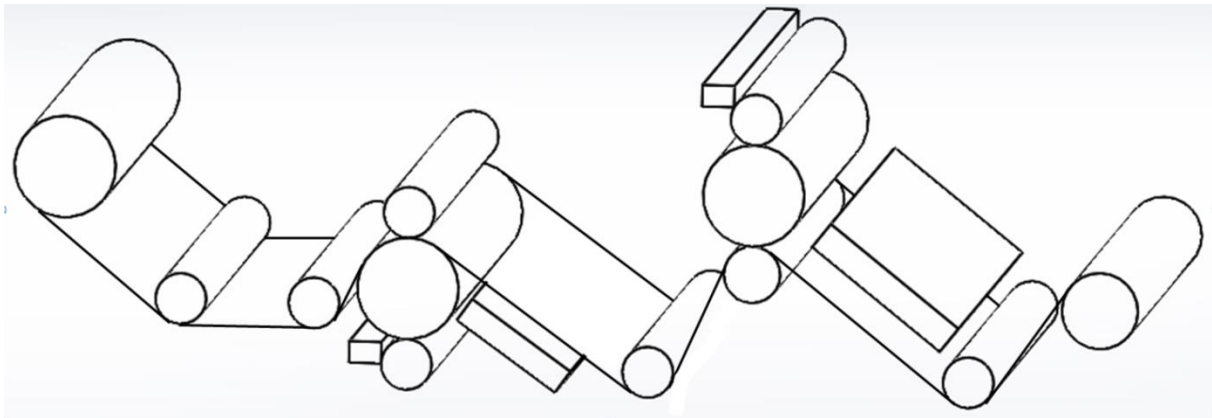


MEAPRO

Development of an advanced MEA production route for PEM electrolysers



Ministerie van Economische Zaken
en Klimaat

hydron
energy

Auteur: S.ten Hoopen

Programme line: Production of sustainable hydrogen

Locatie(s) waar het project uitgevoerd is: ECN.TNO (Petten), Hydron Energy (Noordwijkerhout)

Samenvatting

Aanleiding

De productie van waterstof doormiddel van de electrolyse van water met behulp van hernieuwbare energie, biedt veel kansen voor het toekomstige energiesysteem. Deze 'groene' H₂ kan worden toegepast als brandstof in de mobiliteitssector, als grondstof/brandstof voor de industrie en als energiedrager in grootschalige opslag van hernieuwbare energie.

Zogenaamde Polymeer Elektrolyt Membraan Water Electrolyse (PEMWE) is geïdentificeerd als een kansrijke technologie voor de productie van groene H₂. Echter, er wordt gesteld dat het huidige kostenniveau voor PEMWE te hoog is om de waterstof op prijs te laten concurreren met grijze H₂ (welke geproduceerd wordt uit aardgas doormiddel van stoomreforming). De investerings- en operationele kosten voor PEM electrolyzers dienen daarom te worden gereduceerd om levensvatbare verdienmodellen te kunnen faciliteren.

Doelstelling

Het MEAPRO project heeft tot doel om een vergaande kostenreductie van PEM electrolyzers te bewerkstelligen door de ontwikkeling van geavanceerde productietechnologie voor de vervaardiging van hét belangrijkste halffabricaat van de electrolyser stack: de membraan elektrode samenstelling (MEA).

Ongeveer 40% van de totale kosten van een PEM stack komt voor rekening van de MEA. Een reductie in de toepassing van kostbare materialen met behulp van geavanceerde productieprocessen zal derhalve direct impact hebben op de investeringskosten. Daarnaast is de prestatie en het rendement van electrolyser voor een zeer belangrijk deel gerelateerd aan de MEA technologie. Het optimaliseren van het productieproces heeft derhalve invloed op zowel de CAPEX als de OPEX van electrolyse technologie.

In het project is er pre-pilot R&D MEA productieapparatuur ontwikkeld - meer specifiek geavanceerde elektrode depositie apparatuur -, waarmee de kwaliteit en uniformiteit van de MEA's kan worden verbeterd en de kosten kunnen worden gereduceerd. Deze pre-pilot apparatuur is modulair en schaalbaar, zodat in een vervolgproject een pilot productiefaciliteit kan worden opgetuigd waarmee opschaling kan worden bewerkstelligd.

Activiteiten

Er is allereerst een uitgebreide studie worden uitgevoerd naar geavanceerde dunne film depositie technologieën voor de applicatie van elektrode structuren. Vervolgens is er een selectie gemaakt van de meest kansrijke technologieën. Mede op basis van de geselecteerde depositie technologie is er pre-pilot R&D MEA productieapparatuur ontwikkeld. Met deze apparatuur is de receptuur en productieparameters van de MEA vervaardiging verder geoptimaliseerd. Een serie MEA's is vervolgens geproduceerd voor validatie in gestandaardiseerde electrolyse teststations. Naar aanleiding van de testresultaten is het depositieproces verder geoptimaliseerd.

Resultaten

De belangrijkste resultaten van het project zijn:

- Analyse van kosteneffectieve elektrode depositietechnieken;
- Conceptueel ontwerp pilot MEA fabricagelijnen;
- Ontwikkeling geavanceerd elektrode depositie proces;
- Validatie van pre-pilot MEA productie proces middels de productie en screening van MEA's in gestandaardiseerde test infrastructuur;

Onderliggend aan deze concrete resultaten, heeft het project geleid tot:

- Verlaging van kosten voor PEMWE stacks door kostenreductie van MEA technologie
- Kennis en kunde op het gebied van MEA productieprocessen

CONTENTS

1. Gegevens project.....	4
2. Penvoeder en consortium partners	5
3. Achtergrond en doelstelling van het project	7
4. Werkwijze en activiteiten.....	8
5. Bijdrage aan de doelstelling van de regeling.....	10
6. Disseminatie	11

1. GEGEVENS PROJECT

Projectnummer	TWAS218007
Projecttitel	Development of an advanced MEA production route for PEM electrolyzers (MEAPRO)
Penvoerder	Hydron Energy B.V.
Projectpartners	ECN.TNO Hydron Energy B.V.
Projectperiode	1 juli 2018 – 1 juli 2019
Publicatiedatum	26 juli 2019

Het project is uitgevoerd met subsidie van het Ministerie van Economische Zaken, Nationale Regelingen EZ-subsidies, Topsector Energie uitgevoerd door Rijksdienst van Ondernemend Nederland.

Contactpersonen

ECN.TNO

Frans van Berkel

vanberkel@ecn.nl

Hydron Energy

Sander ten Hoopen

sander.tenhoopen@hydron-energy.com

Menno Koeman

menno.koeman@hydron-energy.com

2. PENVOEDER EN CONSORTIUM PARTNERS

1.1 DEELNEMERS

Naam	Type	Rol in project
Hydron Energy	MKB	Brengt kennis en kunde in betreffende de vervaardiging van membraan elektrode samenstellingen (MEA) voor PEM water electrolyse. Ontwikkelt een pre-pilot MEA productieopstelling. Test MEA's, zoals vervaardigt met de pre-pilot MEA productieopstelling.
ECNpoTNO	Kennisinstelling	Brengt kennis en kunde in betreffende de productie van membraan elektrode samenstellingen (MEA) voor PEM water electrolyse. Voert een literatuurstudie uit naar depositietechnieken. Test en karakteriseert PEMWE MEA's in gestandaardiseerde testopstellingen.

1.2 KORTE BESCHRIJVING VAN DE DEELNEMERS

Hydron Energy	http://www.hydron-energy.com
Kern activiteiten	Hydron Energy is een clean-tech bedrijf dat zich richt op de ontwikkeling, productie en verkoop van geavanceerde PEM electrolyser stacks.
Competenties Hydron Energy die relevant zijn voor het project	Hydron Energy heeft innovatieve water electrolyse technologie ontwikkeld op basis van polymeer elektrolyt membranen. Het bedrijf heeft veel kennis en kunde betreffende het ontwerp, de vervaardiging en karakterisering van zogenaamde membraan elektrode samenstellingen (MEA's).
Waarom Hydron Energy deelneemt in het project?	Hydron wenst de prestatie en levensduur van haar MEA technologie verder te verbeteren, de productiecapaciteit verder op te schalen en de kostprijs van PEMWE technologie te reduceren.
Wat is de bijdrage die Hydron Energy levert aan het project?	Hydron zal een pre-pilot R&D MEA productieopstelling - meer specifiek: een geavanceerd elektrode depositie proces - ontwikkelen en realiseren waarmee de kwaliteit en uniformiteit van MEA's verder kan worden verbeterd en de kosten kunnen worden gereduceerd.
Hoe worden de projecten resultaten toegepast?	De resultaten van het project zullen worden gebruikt voor verdere optimalisatie van Hydron's MEA technologie. Verder zal het project de basis vormen het opschalen van de MEA productiecapaciteit.
ECN.TNO	https://www.tno.nl/nl/aandachtsgebieden/ecn-part-of-tno/
Kern activiteiten	De ambitie van ECN part of TNO is om samen met kennisinstellingen, bedrijven en de overheid de energietransitie te versnellen zodat Nederland in 2050 een energiehuishouding zonder CO ₂ -emissies heeft. ECN part of TNO streeft met haar onderzoekprogramma's naar een significante toename van zonnestroom, grootschalige opwekking van windstroom, een breed gedragen energietransitie, energie producerende gebouwde omgeving, CO ₂ -neutrale brand- en grondstoffen, CO ₂ -neutrale industrie en een duurzaam en betrouwbaar

	energiesysteem. De innovatieprogramma's van ECN part of TNO bestrijken alle relevante onderdelen van de energietransitie. Dagelijks werken er 700 toponderzoekers van ECN part of TNO aan het versnellen van de energietransitie.
Competenties ECN.TNO die relevant zijn voor het project	ECN.TNO ruime kennis en ervaring op dit gebied van de ontwikkeling van duurzame energietechnologie. Voor het MEAPRO project is de kennis en kunde die is verkregen in het langlopende ECN programma m.b.t. PEM technologie, bijzonder relevant. ECN.TNO heeft een geavanceerde elektrochemisch laboratorium (Faraday lab) waar geautomatiseerde testen kunnen worden uitgevoerd aan electrolyse cellen en stacks.
Waarom ECN.TNO deelneemt in het project?	ECN.TNO breidt het Faraday lab in Petten de komende periode sterk uit met faciliteiten om samen met industriële partners aan innovatieve oplossingen te werken. Electrolyse is niet alleen een onmisbare schakel in de verduurzaming van onze energievoorziening, maar biedt ook enorme kansen voor het Nederlandse bedrijfsleven.
Wat is de bijdrage die ECN.TNO levert aan het project?	ECN.TNO draagt bij aan de totstandkoming van een conceptueel ontwerp van een pilot PEMWE MEA productielijn. ECN.TNO voert tevens een literatuurstudie uit naar geavanceerde depositietechnologie. Verder test en karakteriseert ECN.TNO MEA's welke gedurende het project door Hydron vervaardigd zijn met behulp van de ontwikkelde R&D productietechnologie.
Hoe worden de projecten resultaten toegepast?	De toekomstige electrolyzers moeten efficiënter werken, meer produceren, bestaan uit goedkopere materialen en dus aantrekkelijk zijn om te gebruiken. ECN.TNO werkt hiervoor samen met fabrikanten van electrolyzers en hun toeleveranciers. Maakbedrijven kunnen nieuwe materialen, componenten en toepassingen met TNO ontwikkelen en testen onder verschillende condities.

3. ACHTERGROND EN DOELSTELLING VAN HET PROJECT

GROENE WATERSTOF

Grootschalige inzet van duurzame bronnen zoals wind en zon is alleen mogelijk als tijdelijke overschotten opgeslagen kunnen worden of omgezet in andere energiedragers. In Europese scenario's wordt het omzetten van elektriciteit in waterstofgas via elektrolyse gezien als één van de meest kansrijke mogelijkheden om grote hoeveelheden energie op te slaan.

De investeringskosten voor elektrolyse apparatuur zijn momenteel hoog, mede door de toepassing van kostbare materialen welke benodigd zijn om een voldoende lange levensduur te kunnen garanderen. Tevens is door het ontbreken van voldoende schaalgrootte het kostendrukkend effect van "Economies of Scale" nog niet volop gerealiseerd.

Meer dan de helft van de investeringskosten voor waterstofproductiesystemen op basis van de elektrolyse van water, komt voor rekening van de elektrochemische membraanmodule, ook wel electrolyser stack genoemd. Een electrolyser stack bestaat uit een 'stapel' van elektrochemische cellen. Deze cellen bestaan uit verschillende componenten zoals: separator platen, afdichtingen, proton-geleidende membranen, elektroden en stroomcollectoren. Het hart van een zogenaamde Polymeer Elektrolyt Membraan (PEM) cel omvat een geavanceerde membraan-elektrode-samenstelling (MEA). Figuur 1 illustreert de kostenverdeling van een PEM electrolyser stack. Circa 40% van de totale kosten voor een stack zijn toe te wijzen aan de MEA.

Bovendien zijn de prestaties en de levensduur van een electrolyser stack in hoge mate gerelateerd aan de samenstelling van de MEA. Naast de toegepaste materialen in de MEA, wordt de productietechnologie gezien als de sleutel tot het bereiken van hoge prestaties en lange levensduur. Aangezien de MEA-productietechnologie goed is voor ~ 10% van de totale stackkosten, is het duidelijk dat de optimalisatie van zowel materialen als het productieproces kan leiden tot aanzienlijke kostenreductie (en prestatieverbetering).

KOSTENREDUCTIE DOOR TOEPASSING VAN GEAVANCEERDE PRODUCTIETECHNOLOGIE

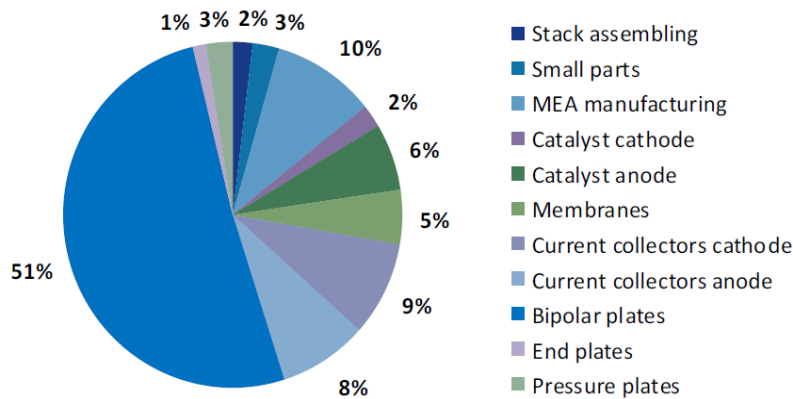
Het MEAPRO project heeft tot doel om een vergaande kostenreductie van PEM electrolyzers te bewerkstelligen door de ontwikkeling van geavanceerde productietechnologie voor de vervaardiging van hét belangrijkste halffabricaat: de membraan elektrode samenstelling (MEA).

Het is de bedoeling dat het project de 'bouwstenen' zal identificeren en valideren voor de realisatie van een pilot MEA-productielijn die de kosten van PEM-elektrolysetechnologie op termijn aanzienlijk zal verlagen.

De meer specifieke technologische doelstellingen van het project zijn onder meer:

- Ontwikkeling en inventarisatie van kosteneffectieve elektrode-depositietechnieken;
- Ontwikkeling en realisatie van R&D-productieapparatuur gericht op depositie van elektrokatalytische materialen;
- Productie van een batch MEA's met behulp van de ontwikkelde pre-pilot R&D-productieapparatuur;
- Beproeven en kwalificeren van geproduceerde MEA's in gestandaardiseerde testapparatuur;
- Inzichtelijk maken van dwarsverbanden tussen productieparameters, prestaties en levensduur van MEA's;

PEM Stack Cost Breakdown



Figuur 1 kostprijsverdeling van een PEM stack [FCH-JU study - 2014]

4. WERKWIJZE EN ACTIVITEITEN

Het MEAPRO project is onderverdeeld in 4 werkpakketen. Voor een beknopte beschrijving van de werkpakketen zie onderstaande tabel.

WP	Korte beschrijving	Doel	Resultaten
1	Literatuurstudie naar geavanceerde depositie-technologieën	<ul style="list-style-type: none"> Ontwikkeling en inventarisatie van kosteneffectieve elektrode-depositietechnieken Conceptueel ontwerp voor een pilot MEA productielijn 	<ul style="list-style-type: none"> Literatuurstudie depositie-technologieën Identificatie kansrijke technieken Conceptueel ontwerp voor een roll-to-roll pilot MEA-productielijn
2	Ontwikkeling en realisatie van pre-pilot R&D-productie-apparatuur	<ul style="list-style-type: none"> Ontwikkeling en realisatie van pre-pilot R&D-productieapparatuur voor PEMWE MEA's Productie van een batch MEA's met de ontwikkelde pre-pilot R&D-productieapparatuur 	<ul style="list-style-type: none"> Realisatie van pre-pilot R&D-productieapparatuur voor PEMWE MEA's. Productie van MEA's Screening van geproduceerde MEA's Optimalisatie van het de procesparameters van het productieproces
3	Testen en validatie van MEA's	<ul style="list-style-type: none"> Validatie van prestatie van MEA's welke met de R&D productieapparatuur zijn vervaardigd Ontwikkeling van verbanden tussen procesparameters en prestaties van de MEA's. 	<ul style="list-style-type: none"> Testresultaten Optimalisatie van procesparameters
4	Project management	<ul style="list-style-type: none"> Project uitgevoerd op tijd en binnen budget op tijd en binnen budget Documentatie van bevindingen 	<ul style="list-style-type: none"> Management/coördinatie Eindverslag Disseminatie

ACTIVITIETEN EN RESULTATEN

In werkpakket 1 is er door ECN.TNO een uitgebreide literatuurstudie uitgevoerd naar kansrijke technieken voor de depositie van elektrokatalytisch materiaal op verschillende substraten. Daarnaast is door de partners een conceptueel ontwerp gemaakt van een pilot productielijn voor de roll-to-roll fabricage van MEA's.

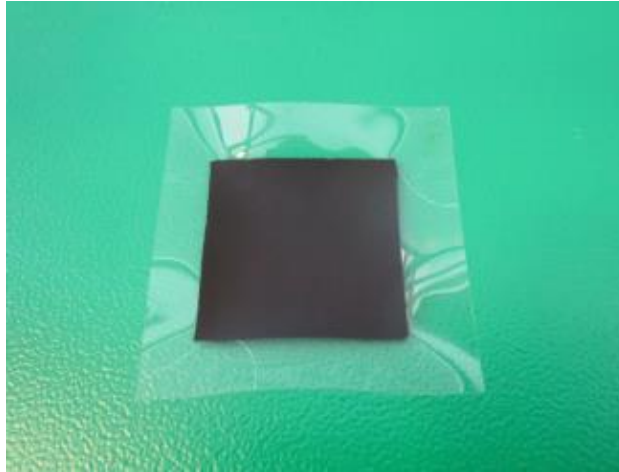
De literatuurstudie heeft een identificatie van kansrijke depositietechnieken voor PEMWE MEA vervaardiging opgeleverd. Zowel 'natte' als 'droge' depositieprocessen zijn bestudeerd. De verschillende Key Performance Indicators (KPI's) van de verschillende technieken, bijvoorbeeld homogeniteit van de gedeponeerde laag, zijn gewogen en gerangschikt. Drie natte depositietechnieken zijn geïdentificeerd als zeer kansrijk voor de vervaardiging van elektrodes voor PEMWE cellen.

De geïdentificeerde depositietechnieken zijn vervolgens als uitgangspunt gebruikt voor het conceptuele ontwerp van een roll-to-roll MEA productielijn. Naast de daadwerkelijke depositie van elektrokatalytisch materiaal op membraan of andersoortige dragers, zijn de overige sub-processen van MEA vervaardiging gedefinieerd voor een roll-to-roll productielijn. De volgende functionele modules zijn gedefinieerd voor de lijn:

- Inkt bereiding
- Elektrode depositie
- Drogen
- Stansen
- Samenvoegen
- Stansen

Het is de verwachting dat met een geoptimaliseerde roll-to-roll MEA productielijn, de kostprijs van PEMWE MEA's met 40% kan worden verlaagd. Deze kostprijsreductie is gerelateerd aan (1) lagere variabele kosten door mechanisering/automatisering en efficiëntere productie, (2) lage productie verliezen (LEAN manufacturing) (3) lagere belading elektrokatalytisch materiaal door verbeterde depositie, leidend tot meer homogene/uniforme lagen (4) economies of scale.

In werkpakket 2 is er door Hydron pre-pilot R&D productieapparatuur ontwikkeld voor de depositie van elektrokatalytisch materiaal. Allereerst is er een programma van eisen opgesteld voor de apparatuur. De functionele vereisten zijn gedeeltelijk gebaseerd op Hydron's huidige productieproces voor MEA's. Daarnaast zijn de bevindingen die zijn opgedaan in WP1 meegenomen in het ontwerp voor de apparatuur. Er is veel nadruk gelegd op de mogelijkheid om het depositieproces te kunnen opschalen en te kunnen toepassen in een roll-to-roll lijn. Mechanisering/automatisering van de depositie was hierbij een vereiste. Ook diende de depositietechniek uitzicht te bieden op prestatieverbetering van de MEA door betere verdeling en structurering van katalytisch materiaal. In samenwerking met een gespecialiseerde contractor is de R&D productieapparatuur gerealiseerd en geïnstalleerd in Hydron's MEA laboratorium. Na een korte periode van inregelen van de apparatuur en aanpassen van de katalytische inkt, is het onderzoek gestart naar de optimale procesparameters voor de depositie. Er zijn gedurende WP2 meer dan 100 MEA's geproduceerd. Deze MEA's zijn door Hydron gescreend op prestatie in gestandaardiseerde testapparatuur. Op basis van de screening resultaten van de geproduceerde MEA's, zijn de procesparameters van de R&D apparatuur verder geoptimaliseerd.



Figuur 2: Voorbeeld van een 'catalyst coated' membraan met een actief oppervlak van 10 cm²

In werkpakket 3 is er een batch MEA's geproduceerd door Hydron met behulp van de R&D productieapparatuur. De procesparameters zijn bij deze samples gevarieerd, teneinde inzicht te verkrijgen in de correlatie tussen procesinstellingen en prestatie. De MEA's zijn vervolgens door ECN.TNO beproefd op prestatie en levensduur op gestandaardiseerde teststations. De verkregen resultaten zijn geanalyseerd en hebben geleid tot vergaand inzicht in het depositieproces.

De werkzaamheden van werkpakket 4 bestonden uit management, coördinatie en verslaglegging. Het project is uitgevoerd volgens de oorspronkelijke planning en binnen het gedefinieerde budget.

KNELPUNTEN

Er zijn geen wezenlijke (technische) knelpunten ondervonden tijdens de uitvoering het project. Wel dient vermeld te worden dat het 'inregelen' van de R&D productieapparatuur langer duurde dan vooraf bedacht was. Ook de optimalisatie van het proces naar aanleiding van de testresultaten van de MEA's is erg complex gebleken, omdat de invloed van de procesinstellingen op de prestatie niet altijd eenduidig was.

In WP1 is de beoogde evaluatie van 'droge' depositietechnieken door ECN.TNO achterwege gelaten vanwege onder meer doorlooptijd en kosten.

5. VERVOLGPROJECT

Met de succesvolle afronding van het MEAPRO project, is de weg geplaveid voor een vervolgproject waarbij opschaling van MEA productietechnologie centraal staat. Consortiumpartners ECN.TNO en Hydron zijn voornemens om een pilot MEA productielijn te ontwikkelen op basis van een flexibel ingericht roll-to-roll proces.

Tevens zal Hydron middels doorlopend onderzoek het depositieproces verder optimaliseren. De nadruk van deze optimalisatie zal liggen op het verminderen van de katalysator belading, het verbeteren van prestatie en levensduur, en het verder verlagen van de kostprijs van de MEA.

6. BIJDRAGE AAN DE DOELSTELLING VAN DE REGELING

Het doel van de Programmalijn Waterstof is: "het ondersteunen van onderzoeks- en ontwikkelingsprojecten die bijdragen aan het realiseren van kostenreductie voor de inzet van waterstof als energiedrager in verschillende toepassingen (industrie, mobiliteit, energiesector en gebouwde omgeving) in 2030 door het verlagen van de investeringskosten en operationele kosten van bestaande en nieuwe technologie en systemen voor productie, transport, opslag en toepassing".

Het MEAPRO project heeft een concrete bijdrage geleverd aan de hierboven beschreven doelstelling. Er is veel kennis en kunde ontwikkeld betreffende PEMWE MEA productietechnologie. Hiermee is de kennispositie voor Nederland op dit sterk uitgebreid. Het project heeft ook geleid tot een kostprijsreductie voor electrolyser MEA's: er is een reductie van 15% gerealiseerd t.o.v. Hydron's State-of-the-Art technologie. Verder is de prestatie van Hydron's MEA's verbeterd. Omdat tijdens het project belangrijke inzichten zijn verworven inzake de relatie tussen productieparameters en prestatie/levensduur, is het de verwachting dat er nog uitzicht is op verdere verbetering.

6. DISSEMINATIE

Medewerkers van ECN.TNO hebben kennis uitgewisseld over MEA technologie op een de IEA – ANNEX 30 workshop voor electrolyser componenten (Hannover, maart 2019). Hydron heeft kennis uitgewisseld met gespecialiseerde contractors en toeleveranciers betreffende de vereisten aan materialen en halffabricaten.

Door het vertrouwelijke karakter van het MEAPRO project, heeft er geen publieke disseminatie van de projectresultaten plaatsgehad.