

AMPERE

ADVANCED MATERIALS FOR PEM ELECTROLYZERS
REDUCING COST AND ENHANCING LIFETIME
PUBLIC REPORT 2018-2019

AUTHORS: T. SCIARONE, S. TEN HOOPEN, H. JONGERDEN,
F. VAN BERKEL

SAMENVATTING

Aanleiding

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 mogelijkheid om grote hoeveelheden energie op te slaan.

Elektrolyse is nu nog echter duur; om een voldoende lange levensduur te kunnen garanderen worden dure materialen gebruikt. Actieve componenten, zoals membranen en katalysatoren die gebruik maken van inherent goedkopere materialen kunnen de grootste bijdrage aan de kostendaling leveren. Dat vergt kennis van elektrolyse en de specifieke processen die in de cel plaatsvinden, maar ook zeer specialistische kennis van polymeerchemie, katalyse, coatingtechnologie, etc. Om innovatie te versnellen, is een intensieve samenwerking tussen fabrikanten van electrolyzer en de toeleveranciers noodzakelijk.

Potentiele toeleveranciers kunnen door hun specialistische kennis en know-how bijdragen aan het verbeteren van de levensduur van de electrolyzer met goedkopere componenten. Zij missen echter de specifieke electrolyzer kennis en infrastructuur om zelfstandig ontwikkeling van componenten uit te kunnen voeren. Daarom heeft het AMPERE project tot doel een intensieve en structurele samenwerking tot stand te brengen tussen de electrolyzer-kennisdragers, i.e. de fabrikanten van electrolyzers en de kennisinstituten, en Nederlandse component toeleveranciers.

Doel van het project

Belangrijkste doelstellingen gericht op de Nederlandse maakindustrie zijn daarbij:

- Overdragen van kennis van de functionele specificaties voor de belangrijkste electrolyzer componenten
- Toegang verschaffen tot laagdrempelige kennis en infrastructuur benodigd voor het testen van componenten

AMPERE realiseert deze doelstellingen door een laagdrempelig platform voor component toeleveranciers te bieden voor het testen en karakteriseren van componenten, voortbouwend op eerdere projecten zoals ELECTRE en FlexP2G. Daarnaast heeft het project tot doel om een concrete stap te maken in de kostenefficiëntie van de electrolyzer technologie. Hydron Energy, een innovatieve Nederlandse ontwikkelaar van electrolyzers, test binnen AMPERE een verbeterde electrolyzer stack technologie op basis van innovatieve componenten die in dit project geïdentificeerd en ontwikkeld worden. PTG/e zal zich specifiek richten op de kostenverlaging van de membranen.

Resultaten

De resultaten van het project zijn:

- Een referentie membraan-electrode assemblage (MEA) en celbehuizing waarmee alternatieve innovatieve componenten van toeleveranciers getest kunnen worden;
- MEA prestatie baseline is experimenteel vastgesteld ter ondersteuning van de benchmark van alternatieve innovatieve componenten;
- Verschillende procedures om alternatieve componenten te implementeren in de referentie MEA en celbehuizing;
- Een document met functionele specificaties van de belangrijkste componenten van de electrolyzer als richtlijn voor potentiële electrolyzer component toeleveranciers;
- Overzicht van potentieel interessante polymeer klassen voor niet-fluor gebaseerde electrolyser membranen
- Synthese van geselecteerde veel belovende niet-fluor polymeer gebaseerde membranen en eerste aanzet tot het experimenteel toepassen van deze membraanmaterialen;

- Een basis voor een industriële gebruikersgroep van potentiële Nederlandse toeleveranciers is gecreëerd;
- Een roadmap om te komen tot de gewenste kosten verlaging van de waterstof die door middel van de electrolyzer wordt geproduceerd is opgesteld;

INHOUDSOPGAVE

Samenvatting	3
1. Gegevens Project	6
2. Penvoerder en Partners	7
3. Achtergrond en doelstelling van het project	7
3.1 Belang van de supply CHain	7
3.2 Barrieres voor de componentontwikkelaar en bijdrage AMPERE.....	9
4. Werkwijze en resultaten	10
4.1 Werkwijze.....	10
4.2 Results	11
WP1: Base-line cel prestatie	11
WP2: Specificatie toekomstige electrolyzer componenten	13
WP3: Implementatie en testen celprestatie	18
WP4: COMPONENT implementatie.....	21
WP5: Roadmap naar goedkopere electrolyzers.....	22
WP6: ProjectManagement.....	24
4.3 Knelpunten	25
5. Vervolgprojecten.....	25
6. Bijdrage aan de doelstelling van de regeling.....	25
7. Disseminatie.....	26

1. GEGEVENS PROJECT

Project nummer	TWAS117003
Project titel	Advanced Materials for PEM Electrolyzers Reducing cost and improving lifetime (AMPERE)
Projectleider	ECN part of TNO
Projectpartners	Hydron Energy B.V. Polymer Technology Group PTG/e Fujifilm Manufacturing Europe B.V.
Projectduur	1 Januari 2018 – 31 December 2019
Publicatie datum	13-01-2020

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 frans.vanberkel@tno.nl
Hydron Energy	Sander ten Hoopen sander.tenhoopen@hydron-energy.com
PTG/e	Timo Sciarone Timo.sciarone@ptgeindhoven.nl
Fujifilm Manufacturing Europe B.V.	Henk Jongerden Henk.jongerden@fujifilm.com

2. PENVOERDER EN PARTNERS

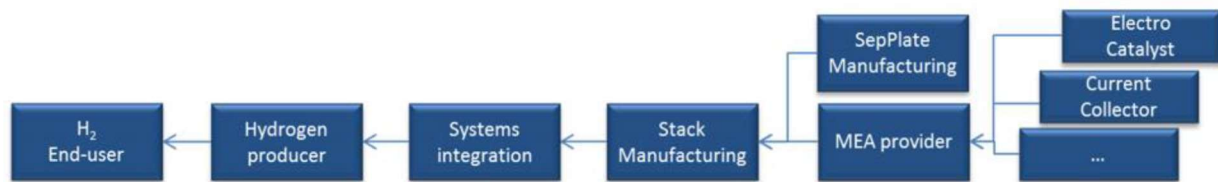
Naam	Type	Rol in project
ECNpoTNO	Kennisinstelling	ECNpoTNO draagt bij aan de definitie van de prestatie- en levensduur-testprotocollen en draagt zorg voor de experimentele screening van nieuwe componenten. Daarnaast draagt ECNpoTNO zorg voor de formulering van de component criteria en de roadmap richting kosteneffectieve electrolyser stack.
Hydron Energy	MKB	Hydron Energy zal de eisen per component opstellen ten behoeve van de Nederlandse toeleveringsketen. Daarnaast zal Hydron Energy bijdragen aan het opzetten van baseline PEMWE experimenten en het screenen van state-of-the-art commercieel verkrijgbare membranen en andere stack componenten. Hydron zal eveneens bijdragen in de business case evaluatie.
PTG/e	Kennisinstelling	PTG/e zal een overzicht verzorgen van potentiële non-fluor gebaseerde alternatieven voor de huidige kostbare fluor-bevattende membraan materialen. Test data aan nieuwe materialen gegenereerd door ECNpoTNO en Hydron Energy zullen gerelateerd worden aan materiaal eigenschappen van de nieuwe membranen. De meest veelbelovende polymeer kandidaten voor synthese op lab-schaal zal worden geselecteerd. Voor ten minste een dezer materialen zal een membraan worden gemaakt.
Fujifilm Manufacturing Europe B.V.	Grootbedrijf	Fujifilm bezit brede en diepgaande kennis en ervaring op het vlak van polymeerprocessing en het opzetten van business cases. Op basis van deze kennis zal Fujifilm bijdragen aan het onderbouwen van realistische prijsdoelstellingen en de juiste specificaties voor grote schaal fabricage van de componenten.

3. ACHTERGROND EN DOELSTELLING VAN HET PROJECT

3.1 BELANG VAN DE SUPPLY CHAIN

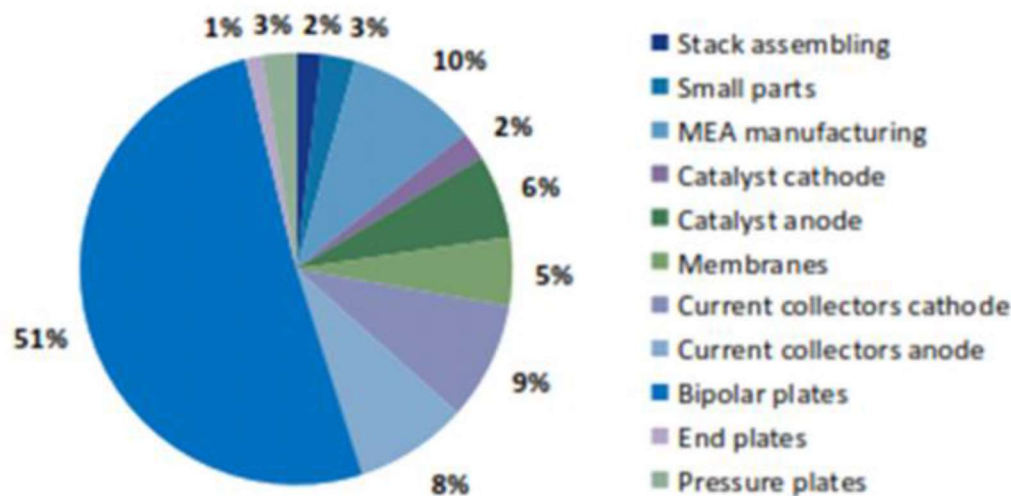
Een electrolyser stack bestaat uit verschillende componenten, zijnde een elektrolyt membraan, een bipolaire scheidingsplaat, een poreuze transportlaag en twee electro-katalysator lagen. Systeem integratie en stack fabricage wordt meestal niet uitgevoerd binnen een enkel bedrijf, die vervolgens een compleet systeem aan de klant levert. De electrolyser fabrikant koopt de stack componenten, zoals hiervoor genoemd, en systeem componenten en assembleert ze tot een electrolyser systeem. Figuur 1 toont de resulterende supply-chain voor waterstofproductie middels een elektrolyser. Essentieel voor de verbetering van levensduur en kostenefficiëntie van de electrolyser stack is de ontwikkeling en verbetering op componenten schaal. Deze verbetering op componentenschaal hangt in hoge mate af van innovatieve technologieën zoals coatingstechnologieën, nano- en microstructurele componenten en de ontwikkeling van innovatieve polymeren voor het membraan etc. Kortom, de verbetering van de

electrolyser heeft innovatie uitgevoerd door of met de betrokken bedrijven, die de componenten leveren.



Figuur 1: Supply chain voor waterstof geproduceerd door elektrolyse.

Figuur 2 toont de motivatie voor deze innovatie op component niveau. De figuur laat namelijk zien dat de componenten, die de stack fabrikant nodig heeft een groot deel van de electrolyser kosten uitmaakt. De toegevoegde waarde kan voor een groot deel gevonden worden in de supply chain.



Figuur 2. Kostenstructuur van een PEM electrolyser stack.

Tabel 1 geeft een overzicht van de belangrijkste R&D prioriteiten zoals gedefinieerd door de electrolyser gemeenschap gedurende een electrolyser degradatie workshop gehouden bij Fraunhofer ISE te Freiburg, Duitsland in 2013. De meest belangrijke prioriteiten betreffen de componenten, zoals ontwikkeld door externe toeleveranciers. Dientengevolge is het essentieel om de potentiële component toeleveranciers te betrekken in de electrolyser ontwikkeling om de innovatie te versnellen. Kortom, de focus van het project AMPERE ligt op innovatie in de supply chain voor electrolyzers:

- Om de kosten voor de electrolyser te verlagen is het belangrijk om kosten efficiënte componenten gezamenlijk met de component toeleveranciers te ontwikkelen
- Deze gezamenlijke activiteit creëert voor Nederlandse bedrijven de mogelijkheid om nieuwe producten met nieuwe markten te realiseren, aangezien een aanzienlijk deel van de toegevoegde waarde (€) in dit “upstream” deel van de supply chain ligt.

Tabel 1. Research prioriteiten voortvloeiend uit de workshop “Degradation and Durability in PEM electrolysis [First International Workshop Durability and Degradation Issues in PEM Electrolysis Cells and its Components, March 12th-13th, 2013, Fraunhofer ISE, Freiburg, Germany]

Technology Area	Critical Focus Areas	Importance	Understanding	Opportunity
Membrane	Reduce membrane thickness	9	High	High
	Membrane mechanical reinforcement	5	Medium	Medium
	Improve membrane dimensional stability	9	High	High
Catalyst	Catalyst loading reduction (O ₂)	7	Medium	High
Protection Coating	Alternate lower cost coating materials	7	Medium	High
Accelerated Life Testing	Reduce design and material validation test time	9	Low	High
	Remove barriers for new materials market acceptance	9	Medium	High

3.2 BARRIERES VOOR DE COMPONENTONTWIKKELAAR EN BIJDRAGE AMPERE

Voor de bedrijven die producten of componenten voor de electrolyser ontwikkelen zijn er verscheidene barrières. Op de allereerste plaats is electrolyse een complex en een zich snel ontwikkelend veld. Het begrip betreffende benodigdheden en eisen van het toepassen van de componenten vereist toegang tot de meest optimale kennis op dit gebied. Daarnaast hebben electrolyser stack ontwikkelaars beperkte mogelijkheid om nieuwe onbewezen materialen te testen [Personal communication with several European developers of electrolyzers (incl. ITM, Hydrogenics)].

Om nieuwe componenten te ontwikkelen hebben component ontwikkelaars toegang nodig tot test infrastructuur en diepgaande kennis van electrolyse, iets wat ze niet altijd verkrijgen in gezamenlijke ontwikkeling met electrolyser fabrikanten. Het doel van AMPERE is om bij te dragen aan het hogere doel om deze barrières te slechten door een kennis basis te creëren betreffende component criteria tezamen met een testplatform voor het efficiënt testen van componenten met gemakkelijke toegang voor de Nederlandse industrie. De betrokkenheid van de supply chain zal worden gerealiseerd door het creëren van een Industrial Interest Group, welke bestaat uit 5-10 Nederlandse bedrijven geïnteresseerd in de mogelijkheid om componenten te leveren voor de toekomstige electrolyser industrie. Tegenwoordig zal het project bijdragen aan het vaststellen van de vereisten voor de state-of-the-art toekomstige electrolyser in acht nemende de toekomstig toelaatbare kosten voor de electrolyser. Tevens zullen business cases worden ontwikkeld voor de component toeleveranciers.

De meer specifieke technologische doelstellingen voor het project zijn de volgende:

- Ontwikkeling van een referentie test cel, gebaseerd op state-of-the-art componenten en gestandaardiseerde test methoden voor snel en efficiënt testen van de nieuwe componenten.
- Het ontwikkelen en testen van een verbeterde polymere electrolyt membraan, zijnde de meest kritische component in de electrolyser cel.

4. WERKWIJZE EN RESULTATEN

4.1 WERKWIJZE

Het project is onderverdeeld in 6 werkpakketten verdeeld over de duur van twee jaren. Het eerste jaar omvat de vorming van de Industrial Interest Group, de definitie van de electrolyser component specificaties en de selectie van nieuwe componenten. Het tweede jaar omvat de implementatie van de nieuwe componenten in een enkele cel gevolgd door testen en het opstellen van een roadmap naar kosteneffectieve waterstof productie middels electrolyse. Een overzicht van de individuele werkpakketten met bijhorende doelstelling en resultaatverwachting worden getoond in tabel 2.

Tabel 2: Werkpakketten overzicht

WP	Korte beschrijving	Doel	Resultaten
1	Base-line cel prestatie	Het vaststellen van een prestatie base line van een PEMWE enkel-cel waartegen cellen met nieuwe componenten vergeleken kunnen worden.	- Ontwerp en constructie van een referentiecel met state-of-the-art componenten - Bepalen van de prestatie base-line
2	Specificaties toekomstige electrolyzer componenten	De minimale eisen die gesteld worden aan nieuwe toekomstige electrolyser componenten.	- Het opzetten van een Industrial Interest Group - Technische criteria per component voor toekomstige goedkopere electrolyzers - Lijst van veelbelovende innovatieve componenten - Nieuw electrolyt formulering
3	Implementatie en prestatie testen	- Het ontwikkelen van kennis en kunde om nieuwe componenten te kunnen implementeren. - Het testen van cellen met nieuwe componenten	- Aangetoonde implementatie van nieuwe componenten - Prestatie testen van cellen met nieuwe componenten
4	Component implementatie	Het creëren en beproeven van een stack op basis van de beste nieuwe componenten voorvloeiend uit WP3	- Stack met best-of-best componenten - Prestatie test van deze stack
5	Roadmap naar lage kosten electrolyzer	Het definiëren van de ontwikkelingsstappen per component tot een kosten effectieve stack in 2030.	- Roadmap naar toekomstige kosten efficiënte electrolyser
6	Project management	Management + Disseminatie project - Resultaat gedreven uitvoering van het project - Effectieve interne en externe communicatie	- Mid-term rapport - Finale rapport - Workshop voor de toekomstige component toeleverancier - Opzetten (Europees) vervolg-project.

4.2 RESULTS

WP1: BASE-LINE CEL PRESTATIE

Doel:

- Ontwerp en constructie van een referentiecel, omvattende een membraan electrode assemblage (MEA) en cel behuizing.
- Een cel prestatie baseline waarmee de prestatie van cellen met nieuwe celcomponenten wordt vergeleken.

Resultaten:

- Een referentie cel met 10 cm² elektrode oppervlak.
- Twee rapporten beschrijvende de cel prestatie baseline zoals verkregen middels twee referentie testen.

Resultaatbeschrijving:

Hydron Energy heeft het project voorzien van het stackplatform EL10 waarin een 50 x 50 mm MEA met 10 cm² elektrode oppervlak geplaatst kan worden (Zie figuur1). Dit stackplatform biedt de mogelijkheid om een of meerdere MEA's in serie te beproeven. Het stackplatform EL10 wordt op bedrijfstemperatuur gehouden door de inkomende proceswater temperatuur te regelen. Tevens is er een referentie MEA gedefinieerd, waarin MEA samenstelling en fabricagewijze zijn vastgelegd. De MEA samenstelling is op basis van een standaard Nafion membraan met een anode op basis van Iridium electro-katalysator en een cathode op basis van een platina electro-katalysator. Voor de anode poreuze transportlaag wordt een Titaan velt gebruikt en voor de kathode PTL carbon papier. Op basis van deze MEA definitie is er zowel een MEA gefabriceerd door Hydron Energy als wel door TNO.

Voor het verkrijgen van de base-line celprestatie is er een testprotocol opgesteld. Dit testprotocol omvat de volgende stappen:

- Een start procedure, waarin het stack platform wordt opgewarmd tot 80°C en de MEA wordt gestabiliseerd bij een stroomsterkte van maximaal 3 A/cm² en een celvoltage van maximaal 2200 mV.
- De anode (O₂) en kathode (H₂) gasdrukken worden vastgezet op 2 barg. De proceswatertoevoer bedraagt 1.5 mg/min.cm².
- Hierna wordt afgekoeld naar 60°C en de volgende test matrix gevolgd:
 - 60°C: 100 uur bij 1 A/cm²: 100 uur bij 2 A/cm² en 100 uur bij 3 A/cm²
 - 70°C: 100 uur bij 1 A/cm²: 100 uur bij 2 A/cm² en 100 uur bij 3 A/cm²
 - 80°C: 100 uur bij 1 A/cm²: 100 uur bij 2 A/cm² en 100 uur bij 3 A/cm²

Bij elke temperatuur en stroomsterkte wordt er een J-V curve en impedantie spectrum opgenomen. De gassamenstelling aan de anode kant wordt continue gemonitord middels GC om de mate van waterstofoversteek over het membraan te bepalen.

De resulterende baseline voor de cel prestatie wordt getoond in tabel 3. Deze baseline omvat verschillende indicatoren voor de cel prestatie als functie van stroomsterkte en bedrijfstemperatuur. De indicatoren omvatten het cel voltage, de ohmse verliezen over de cel, zoals gemeten met elektrochemische impedantie spectroscopie, en de gas oversteek over de MEA. De laatste twee

indicatoren zijn met name belangrijk als referentie voor het bepalen van de invloed van een nieuw membraan op de cel prestatie. Aangezien dit project actief aandacht besteed aan de ontwikkeling van nieuwe membraanmaterialen (Zie WP2) is dit van belang voor dit project. Tabel 3 laat ook zien dat de experimenteel verkregen cel prestatie indicatoren in dezelfde range als literatuurwaarden liggen.



Figuur 1. Het EL10 stackplatform van Hydron Energy

Tabel 3. Overzicht van de experimenteel verkregen prestatie waarden voor de baseline voor de cel prestatie zoals verkregen met de referentie cel. De onderste rij geeft de literatuur referentiewaarden weer, waarvan de referenties genoemd staan onder de tabel.

T in °C	J (A/cm ²)	Cell voltage baseline (mV)	Impedance baseline Z _{ohmic} (ohm.cm ²)	Gas cross-over % H ₂ in anode
60	1 2 3	1800 2040 2225	0,220	0,45 - 0,55
70	1 2 3	1765 1985 2165	0,195	0,45
80	1 2 3	1728 1945 --	0,185	0,3 - 0,4
Reference	2	1960 (60°C*,**) 1890 (80°C*,**) 2120 (70°C,***)	0,185-0,165 (60-80°C*) 0,210-0,185 (60-80°C**)	

*F. Fouda-Onana, International Journal of Hydrogen Energy; 41 (2016) p. 16627

** M. Chandesris, International Journal of Hydrogen Energy; 40 (2015) p. 1353

25 cm² round MEAs (Johnson Matthey) MEA-1@60: 1.99 mg/cm² of IrO₂; 1.31 mg/cm² of Ptblack; Nafion N117 (175 μm)

*** P. Trinke, Electrochemistry Communications 82 (2017) 98–102

25 cm² square MEAs (HIAT gGmbH): 2 mg/cm² of Ir-black; 1.0 mg/cm² of Ptblack; Nafion N117 (175 μm)

Doel:

- Overzicht specificaties en kosten targets voor electrolyser componenten

Resultaten:

- Overzicht van state-of-the-art electrolyser componenten plus specificaties en kosten targets voor 2030
- Overzicht van potentieel interessante polymeer klassen voor niet-fluor gebaseerde electrolyser membranen
- Synthese van geselecteerde veel belovende niet-fluor polymeer gebaseerde membranen

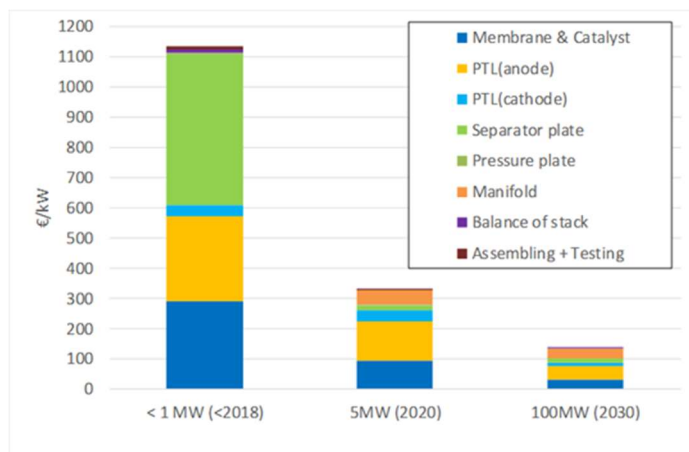
Resultaatbeschrijving:

Overzicht en specificaties electrolyser componenten

In dit werkpakket is er een overzicht gegenereerd van de electrolyser componenten, de bijhorende specificaties en beoogde kosten niveaus in 2030. Deze informatie is in WP5 gebruikt als uitgangspunt voor het opzetten van een roadmap naar innovatieve kosteneffectieve electrolyser componenten. De onderliggende rationale in deze exercitie zijn de volgende ontwikkelingsdrivers om te komen tot een kosten reductie voor de PEMWE technologie:

- Het streven naar bedrijf onder hogere stroomdichtheden (door verbeterde membranen en electro-katalysator systemen)
- Het verhogen van de bedrijfstemperatuur (door innovatieve membranen)
- De ontwikkeling van stackplatforms met hogere actieve oppervlakken
- Optimalisatie van stack design, resulterend in reductie van stackonderdelen en benodigde materialen
- Terugbrengen van arbeidskosten door introductie van automatisering in fabricage en verbeterde kwaliteitscontrole methodieken
- Optimalisatie van system design, componenten en balance-of-plant (BoP)

Figuur 2 geeft een overzicht van de stack kosten per stack component uitgedrukt in €/kW, waarbij ervanuit wordt gegaan dat de vermogensdichtheid in de orde ligt van 30 kW/m². De getoonde kosten gegevens zijn gedeeltelijk op basis van data gepubliceerd door Smolinka et al. (T. Smolinka, N.Wiebe, M. Thomassen; Cost break down and cost reduction strategies for PEM water electrolysis, 6th Euroepan PEFC and Electrolyser Forum, Lucern, Switzerland, 2017). De kostenverdeling van de state-of-the-art PEM-stack laat zien dat de scheidingsplaat, de poreuze transport laag aan de anode zijde en de MEA het zwaarstwegend zijn. Kortom, de nadruk voor kostenreductie voor de komende decennium komt op deze componenten te liggen. Het streven voor de stack kosten in 2030 komt te liggen rond 130-150 €/kW.



Figuur 2. Stack kosten plus verdeling over de verschillende componenten van 2018 tot doelstelling in 2030.

Het volgende hoofdstuk en tabel 4 geeft een overzicht van de electrolyzer stack componenten en hun specificaties op hoofdlijnen.

Tabel 4. De PEMWE electrolyser componenten en specificaties.

Electrolyser component	Specificatie 2030	State-of-the-art materiaal
Membraan	- Protonen geleiding: $> 100 \text{ mS/cm}$ - Oppervlak specifieke weerstand $< 0.1 \text{ ohm.cm}^2$ - Scheiding van gassen (voorkomen van gasoversteek): $< 0.5\% \text{ H}_2$ in O_2 (anode) - Elektrische isolatie: Geen lekstromen - Mechanische, chemische en thermische stabiliteit: Bedrijf bij $T > 80^\circ\text{C}$ - Levensduur: $> 60,000$ uur	PFSA (Perfluorosulfonzuur copolymer) bijv. Nafion, Aquivion, Flemion etc.
Elektro-katalysator (Anode/cathode)	- Elektro-katalytische activiteit: Lage Ir-inhoud $< 0.1 \text{ mg/cm}^2$ - Stabiliteit: $> 60,000$ uur - Niet-kritische grondstof: Niet-edelmetaal	Anode: Ir (oxide) Cathode: Pt/C
Poreuze Transport Laag (PTL)	- Goede electronen geleiding tussen elektro-katalysator laag en scheidingsplaat - Minimale transport weerstand van gas/vloeistof stroming van elektro-katalysator laag naar flow-field kanalen; minimale transport overpotentiaal - Corrosie resistentie: Levensduur $> 60,000$ uur - Goed elektrisch contact met de katalysator laag: Spreidingsweerstand zo laag mogelijk	Anode: Titanium fiber felt Cathode: Carbon paper
Bipolaire scheidingsplaat	- Corrosie resistentie: $> 60,000$ uur bedrijf - Elektrische geleiding/lage contact weerstand - Mechanische stabiliteit/lek dicht - Flexibiliteit/mogelijkheid om aan te passen aan dimensionele veranderingen	Meestal titanium (2-3 mm dik), mogelijk gecoat met edelmetaal

Membranen: Het Nafion membraan is de meest gebruikte standaard in de huidige PEM-electrolyzers. Voor de specificaties voor 2030 wordt er gestreefd naar verlaging van de ohmse verliezen over het membraan om te komen tot hogere efficiëntie voor de waterstofproductie. Deze ohmse verliezen betreffen de verliezen ten gevolge van de protonengeleiding in het membraan. Er mag geen elektrische kortsluiting plaatsvinden over het membraan middels elektronengeleiding. Een ander belangrijk aspect is de mate van gasoversteek over het membraan tussen anode en kathode compartiment. Deze moet ook laag zijn bij bedrijf bij relatief hoge waterstofdrukken > 50 bar. Het streven is om de hoeveelheid waterstof in zuurstof (anode) of zuurstof in waterstof (kathode) beneden 0.5 % te houden. De levensduur van het membraan zal idealiter een periode van 60,000 uur moeten bestrijken. Dientengevolge zal de chemische, mechanische en thermische integriteit gemaximaliseerd moeten worden. Bij voorkeur zal het membraan bij zo hoog mogelijke temperaturen ($80^{\circ}\text{C} < T_{\text{op}} < 100^{\circ}\text{C}$) bedreven worden om maximale energetische efficiëntie van de waterstofproductie te behalen. Een laatste aandachtspunt is te streven naar fluor-vrije materialen vanuit milieu-technisch oogpunt.

Elektro-katalysator: Vanuit kosten oogpunt maar met name de beschikbaarheid van de katalysator grondstoffen is de huidige Iridium gebaseerde anode katalysator een kritische. Iridium wordt momenteel gebruikt in PEMWE vanwege de ideale combinatie van electro-katalytische activiteit voor de zuurstof evolutie reactie en de stabiliteit onder de relatieve hoge oxidatieve chemische potentiaal en zure condities. De specificaties voor de anode elektro-katalysator in 2030 zijn tweevoudig: Het verlagen van de iridium inhoud van de katalysator laag met behoud van katalytische activiteit of zelfs het vervangen van Iridium door alternatieve katalysatoren. De kathode katalysator op basis van Pt/C is minder kritiek qua grondstof beschikbaarheid en kosten, maar ook hier wordt er gekeken naar verlaging van de edelmetaal inhoud. Voor beide katalysatorlagen wordt gestreefd naar een levensduur van > 60,000 uur, waarbij met name de corrosie resistentie aan de anode zijde cruciaal is.

Poreuze transport laag: De poreuze transport laag heeft een multifunctionaliteit: 1/ Goed elektrisch contact tussen scheidingsplaat en katalysator laag zonder significante ohmse bijdrage; 2/ Minimale transportverliezen voor de toelevering van proceswater naar de katalytisch actieve laag en afvoer van de resulterende waterstof- of zuurstofstromen. Het is moeilijk om de PTL-functionaliteit te kwantificeren, maar het komt erop neer dat de bijdrage van de PTL aan de voltage verliezen minimaal moeten zijn en bijna verwaarloosbaar ten opzichte van de ohmse verliezen over het membraan en de activeringspotentiaal van de anode electro-katalytische laag. Ook voor de PTL geldt een beoogde levensduur > 60,000 uur.

Bipolaire scheidingsplaat: De specificaties voor de scheidingsplaten omvatten de volgende zaken: 1/ Scheiding van zuurstof en waterstof in het respectievelijk anode en kathode compartiment; 2/ Elektrisch contact tussen de MEA's aan weerszijden van de scheidingsplaat met minimale voltage verliezen; 3/ Verdeling van het proceswater over de totale celoppervlak en afvoer van waterstof en zuurstof. Voor de bipolaire scheidingsplaat is de corrosie resistentie van belang om een levensduur > 60,000 uur te halen.

De aanpak om te komen tot de hierboven genoemde specificaties zal beschreven worden in de "Routekaart naar kosteneffectieve PEMWE componenten" in WP5.

In de volgende deel van WP2 ligt de nadruk op de ontwikkeling van fluor-vrije membraanmaterialen zoals uitgevoerd door PTG/e en Fujifilm.

Ontwikkeling van koolwaterstof-gebaseerde polymeer membranen

Achtergrond: Ondanks tientallen jaren van academisch en industrieel onderzoek is nog altijd geen *fluorvrij* en commercieel bruikbaar alternatief gevonden voor de perfluorosulfonzuur gebaseerde membranen (bijv. Nafion) voor gebruik in PEM electrolyse. Dit feit geeft al aan dat de uitdagingen op de gebieden van synthese, proton geleiding en voornamelijk stabiliteit van koolwaterstof-gebaseerde materialen onder electrolytische condities, enorm zijn.

Literatuurstudie: Om een gefundeerde keuze te maken voor een kansrijk synthetisch doel voor het Ampere project, heeft Polymer Technology Group Eindhoven (PTG/e) een literatuurstudie uitgevoerd om overzicht te verkrijgen over reeds bekende koolwaterstof-gebaseerde alternatieven en de huidige technologische stand van zaken in dit veld. Het merendeel van de gerapporteerde fluorvrije materialen is gebaseerd op aromatische hoofdketens, omdat deze het meest stabiel zijn onder electrolysecondities. Verder zijn de aromatische bouwstenen veelal gesulfoneerd ten behoeve van protongeleiding.

De gevonden koolwaterstof-gebaseerde materialen kunnen grofweg worden onderverdeeld in zeven families welke worden beschreven in het literatuur overzicht: polystyreen-gebaseerde materialen, poly(aryleen ethers/sulfides), poly(arylene ether ketonen/sulfides) (PAEK/PAES), polyfenylquinoxalines, aromatische polyimides, polybenzimidazolen en poly(phenoxyphosphazenen) (PPZ). De belangrijkste bevindingen zijn als volgt:

- Gasoversteek (O_2 en H_2) door het membraan wordt beperkt door de barriere-eigenschappen ervan. Deze zijn sterk gerelateerd aan de kristalliniteit van het polymere materiaal.
- De beste proton-geleidende functionaliteit is nog altijd de sulfonzuurgroep – SO_3H . Dit impliceert dat een vorm van sulfonering, hetzij van een monomeer, hetzij van het polymeer altijd noodzakelijk is. Sulfonering van een polymeer echter is random, en leidt daardoor tot verlies van regulariteit en dus van kristalliniteit, ook bij polymeren die ongesulfoneerd wel semi-kristallijn zijn.
- Het vaak waargenomen verschijnsel van zwellen van gesulfoneerde koolwaterstof-gebaseerde membranen met water lijkt vooral verband te houden met sulfonering van de *hoofdketen*.
- Om kanaaltjes voor protongeleiding in het materiaal te creëren, zoals bekend van Nafion, zou idealiter een kristallijne hoofdketen moeten worden voorzien van flexibele zijketens met daarop sulfonzuurgroepen.

Polystyreen-gebaseerde materialen zijn verworpen gezien de kwetsbaarheid van de benzylicke posities in dit type materialen ten aanzien van zuurstof-gebaseerde radicalen. Polymeerklassen gebaseerd op condensatiepolymeren (polyimides, polyphenylquinoxalines, polybenzimidazolen) zijn eveneens als niet-kansrijk geclassificeerd vanwege de sterk hydrolytische condities gedurende electrolyse. Als meest kansrijke klassen heeft het consortium gesulfoneerde poly(aryleen ethers/sulfides) en poly(aryleen ether ketonen/sulfonen) geselecteerd.

Poly(fenyleen ethers) (PPE) bezitten nauwelijks intrinsieke kristalliniteit, waardoor gasoversteek makkelijker is. In die zin lijkt dit type polymeer juist minder geschikt voor protonuitwisselingsmembranen. Hun flexibele karakter maakt ze echter tot uitstekende kandidaten voor flexibele zijketens om proton-geleidende kanalen te vormen. Deze hypothese wordt getest in het synthetische deel van het Ampere project waar een rigide hoofdketen bestaande uit PAEK, PAES of PPZ wordt uitgerust met flexibele, gesulfoneerde zijketens.

Synthese: Commercieel verkrijgbaar PPE is gesulfoneerd volgens gangbare protocollen en leverde materiaal met sulfoneringsgraden van 2 tot 81%. De polymeren met hogere sulfoneringsgraden zijn wateroplosbaar bij normale werktemperaturen voor PEM electrolyse.

De bruikbaarheid van gesulfoneerde PPEs als zijketens is in eerste instantie getest in combinatie met een polyfosfazeenhoofdketen (PPZ). Deze hoofdketen werd verkregen door thermische ring opening van het overeenkomstige trimeer en kon na optimalisatie van de reactie- en opwerkcondities in multigram hoeveelheden zuiver worden geïsoleerd. Vervolgens werd koppeling van de gesulfoneerde PPE zijketens (als polynatriumzouten) onderzocht. Hier bleek de oplosbaarheid van de zijketens in het voor de koppeling benodigde reactiemedium onvoldoende, waardoor het beoogde hybride membraan bestaande uit een PPZ hoofdketen en gesulfoneerde PPE zijketens niet verkregen en getest kon worden.

De gesynthetiseerde gesulfoneerde PPE's zelf vormen desondanks interessante niet-gefluorideerde materialen voor protongeleidende membranen. De wateronoplosbare gesulfoneerde PPE's zijn benut voor de vervaardiging van membranen middels gecontroleerde verdamping van oplossingen in methanol of N-methyl-2-pyrrolidon. Deze membranen hebben een gemiddelde sulfoneringsgraad van < 50%. In totaal zijn 4 membranen geselecteerd en vervolgens getest door ECNpoTNO.

Om de synthetische uitdagingen met betrekking tot oplosbaarheden het hoofd te bieden, kan aan verscheidene opties gedacht worden. Zo kan de oplosbaarheid van de gesulfoneerde zijketens worden verhoogd door deze als trialkylammoniumzouten in te zetten i.p.v. als natriumzouten. Een alternatieve synthese route lijkt ook een kansrijke optie. Hierbij worden eerst ongesulfoneerde PPE zijketens aan de hoofdketen bevestigd alvorens de sulfonering uit te voeren. Gezien de beperkte tijd voor synthese binnen het Ampere project konden deze opties niet meer getest worden, maar vormen mogelijk interessante uitgangspunten voor vervolgonderzoek.



Figure 3 Voorbeeld van een membraan op basis van gesulfoneerd PPE.

Doel:

- Implementatie van nieuwe componenten in de referentie cel configuratie
- Testen van nieuwe componenten geïmplementeerd in de referentie cel

Resultaten:

- Demonstratie van implementatie van nieuwe componenten in de referentie cel
- Celtesten uitgevoerd aan nieuwe membraan materialen

Resultaat beschrijving:

Implementatie van nieuwe componenten in referentiecel

Binnen deze taak is vastgesteld in hoeverre verschillende electrolyser componenten kunnen worden geïmplementeerd in de referentie cel zoals gedefinieerd in WP1. Tabel 5 geeft een overzicht van de componenten die zijn geïmplementeerd in de referentie cel in dit project.

Tabel 5: Overzicht van geïmplementeerde componenten in de referentie cel.

Electrolyzer component	Standaard component	Vervangen door:
Membranen	Nafion117	sPEEK 730 sPPE-membranen
Elektro-katalysator	Anode: Ir (2mg/cm ²)	Anode: Verschillende Ir-bedekkingen
Poreuze transportlagen	Anode: titaan vilt	Anode: Carbon paper met Ir-electrode Anode: Poreus Ti-filter

Deze tabel laat zien dat het Nafion 117 membraan is vervangen door verschillende niet-fluor bevattende membraanmaterialen. De sulfonated polyphenylether (sPPE) membranen zijn aangeleverd door PTG/E vanuit WP2. Aangezien deze membraanfilms een variatie in dikte lieten zien binnen een sample is er voor gekozen om de electro-katalysator laag niet direct aan te brengen op het membraan maar op de poreuze transportlagen, waarbij het aanbrengen op carbon paper het makkelijkst uitvoerbaar is. Vandaar dat tabel 5 Ir-elektro-katalysator aangebracht op carbon paper in plaats van Ti-vilt laat zien.

Ter aanvulling van de membraanmaterialen aangeleverd vanuit WP2 is ervoor gekozen om ook een commercieel verkrijgbaar niet-fluor bevattend membraan materiaal mee te nemen in de membraan evaluatie. Dat is het sulfonated polyetheretherketon (sPEEK E-730) materiaal van Fumatech geworden. Dit membraan heeft een dikte van 30 micron, oorspronkelijk ontwikkeld voor directe methanol PEM brandstofcel.

Testresultaten aan alternatieve niet-fluor bevattende membranen

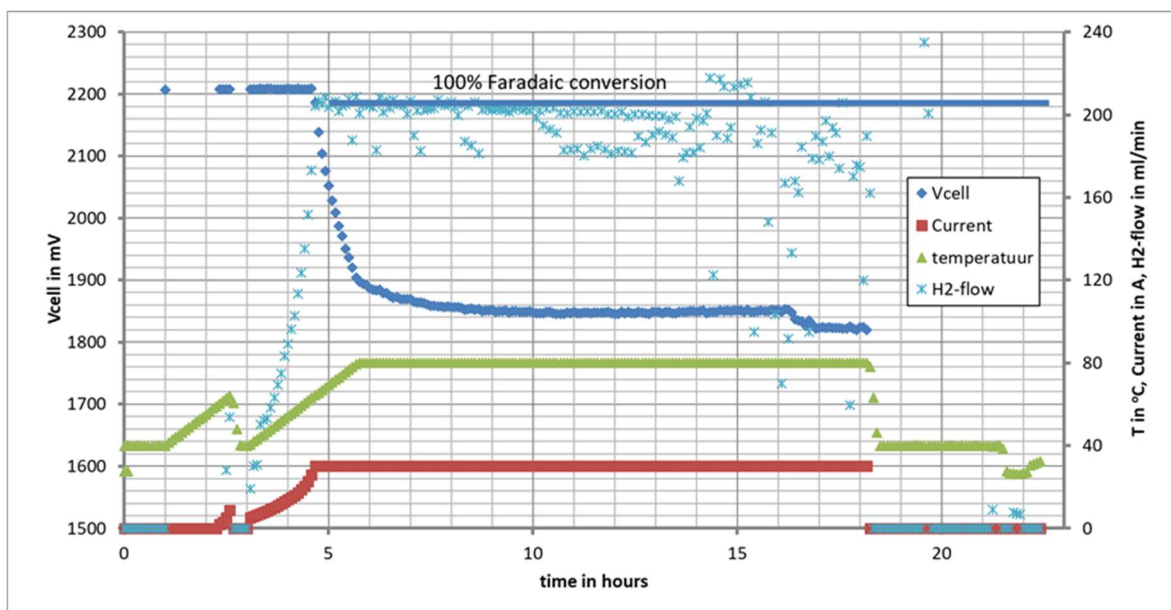
Hieronder volgt een beschrijving van de celtesten uitgevoerd aan respectievelijk sPEEK en sPPO membranen.

Celtesten aan sPEEK:

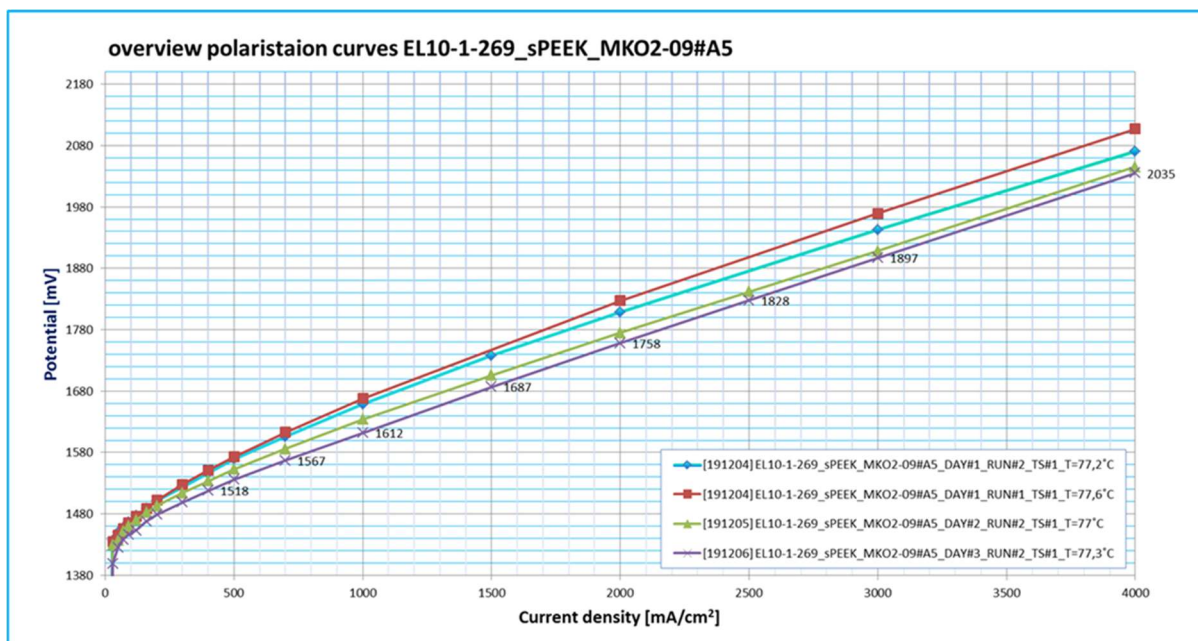
Er zijn verschillende MEA's op basis van sPEEK E-730 gemaakt waarbij een variatie is aangebracht in de wijze waarop de anode is aangebracht op het membraan. Er zijn twee MEA's gemaakt door TNO en door

Hydron Al deze cel configuraties zijn getest. De belangrijkste testen qua resultaat zijn TNO-1 en Hydron 2. Deze worden hieronder besproken.

Figuur 4 geeft een overzicht van de celtest meting TNO-1. In deze figuur staan de bedrijfstemperatuur, ingestelde cel voltage en resulterende stroom plus waterstroom uitgezet tegen de tijd. De figuur laat zien dat gedurende de temperatuurstijging naar de bedrijfstemperatuur van 80°C de stroom uiteindelijk uitkomt op 3 A/cm² (30 A voor een elektrode oppervlak van 10 cm²) bij een cel voltage van 1850 mV. De resulterende waterstroom van 210 ml/min correspondeert met een faradaïc efficiëntie van 100%. Echter na een test periode van 10 uur neemt de faradaïc efficiëntie af, uiteindelijk resulterend in een compleet falen van de cel na 16-18 uur bedrijf. De metingen bij Hydron Energy laten een vergelijkbaar beeld zien: Figuur 5 toont een J-V curve waaruit blijkt dat het cel voltage van 1880-1960 mV bij een stroomsterkte van 3 A/cm² inderdaad overeen komt met de waarden gemeten voor meting TNO-1. Ook deze meting resulteerde in een falen van de cel na ongeveer 18 uur bedrijf. Het post-test materiaal van de meting TNO-1 toonde een ernstige aantasting van de morfologie van het SPEEK membraan op het actief elektrode oppervlak. De seal rand was nog steeds intact. De conclusie uit deze metingen is dat het SPEEK materiaal geschikt is voor de elektrolyse van water, maar dat de stabiliteit zeer te wensen overlaat. Verdere analyse van de oorzaak van degradatie is nodig binnen eventuele vervolgprojecten.



Figuur 4. Celtestmeting van de SPEEK membraan gebaseerde celconfiguraties, zoals uitgevoerd bij TNO.



Figuur 5. J-V curve van een sPEEK gebaseerde celconfiguratie zoals gemeten in experiment Hydron-2.

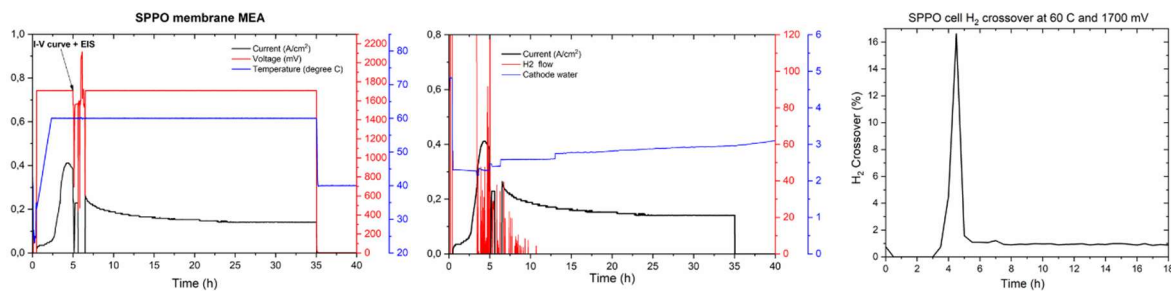
Celtesten aan sPPE

Vier testen zijn uitgevoerd aan sPPE gebaseerde celconfiguraties. Figuur 6 geeft de testresultaten van een van deze testen, zoals uitgevoerd bij TNO. Deze figuur laat zien dat de meting potentiostatisch is uitgevoerd bij een cel voltage van 1700 mV bij een temperatuur van 60°C. Gedurende de eerste 5 uur loopt de stroom op tot 0.4 A/cm², daarna neemt deze significant af tot een waarde van 0.15 A/cm². In de periode van 3-10 uur is er ook een waterstof flow signaal, alhoewel deze zeer instabiel is en tevens ver beneden een faradaïc efficiëntie van 100%. Op het moment dat de stroomsterkte zijn maximum behaalt van 0.4 A/cm² is er ook een significante H₂-oversteek zichtbaar (rechter figuur). J-V curven tonen aan dat de open cel spanning bij 0 A/cm² ver beneden de theoretisch open cel spanning is. De impedantiemetingen tonen een ohmse weerstand van ongeveer 0.7 ohm.cm², hetgeen ver boven de referentiewaarde van 0.22 ohm.cm² bij 60°C is (Zie tabel 3). De verkregen elektrochemische data suggereren dat er waterstof wordt geproduceerd gedurende een zeer korte periode. Echter de waterstof productie gaat gepaard met een significante waterstof oversteek over het membraan. De impedantiedata suggereren een relatief hoge membraanweerstand en dat de protonen geleiding nog verdere verbetering behoeft. De verkregen signalen rond de bedrijfstijd van 5 uur lijken erop te wijzen dat;

- 1/ Waterstof wordt gedurende 5-6 uur aantoonbaar gevormd.
- 2/ Het membraan lijkt zeer permeabel voor waterstof oversteek
- 3/ Er is geen significante oversteek van water van anode naar kathode

Concluderend lijkt het membraan slechts voor zeer korte tijd te functioneren. Post test materiaal laat zien dat het membraan ernstig is aangetast qua morfologie op het actief electrode oppervlak. De seal is nog steeds intact. Voor sPPE geldt evenzeer dat verdere analyse van de reden van de degradatie benodigd is binnen mogelijke eventuele vervolgprojecten.

De andere drie experimenten met andere sPPE-membranen tonen zelfs geen waterstof productie.



Figuur 6. Test resultaten aan een SPPE-gebaseerde celconfiguratie. De linker figuur toont de bedrijfstemperatuur, cel voltage en stroom dichtheid. De middelste figuur toont de water oversteek van anode naar kathode over het membraan en de waterstof flow. De rechter figuur toont de waterstof cross-over van kathode naar anode uitgedrukt in percentage waterstof in de anode flow.

WP4: COMPONENT IMPLEMENTATIE

Doel:

- Demonstratie van nieuwe electrolyzer componenten(membranen) in een korte stack (3-5 cellen)

Resultaten:

- Geen stack testen, maar bijdrage in experimentele evaluatie nieuwe membraanmaterialen

Resultaat beschrijving:

Werkpakket 4 had tot doel om de in WP3 ontwikkelde / geïdentificeerde materialen te integreren in een short stack met een opgeschaald actief oppervlak. Daartoe zou Hydron's EL25 electrolyser stack worden ingezet. Een multi-cel EL25 zou vervolgens worden onderworpen aan een duurttest van 1000 uur. Omdat er in voorgaande projecten (ELECTRE, NEXTGENP2H2) veel testdata is verkregen m.b.t. state-of-the-art prestatie en levensduur van PEM electrolyser technologie, zou er een goede mogelijkheid zijn ontstaan om de nieuwe materialen te vergelijken met de benchmark materialen.

Helaas zijn de proeven zoals beoogd, niet uitgevoerd in WP4. De reden hiertoe is gelegen in het niet (op tijd) beschikbaar komen van nieuwe elektrolyt/membraan materialen. Het ontwikkelingstraject voor het nieuwe membraan is erg intensief gebleken. De beschikbaarheid van membraanmateriaal van voldoende kwaliteit was onvoldoende om de stap te maken van enkelcel "screening" proeven, naar het testen van multi-cel stack configuraties.

Vanwege het voorgaande zijn er in WP4 andere activiteiten verricht. Zo heeft Hydron een electrode-systeem ontwikkeld en beproefd voor een commercieel beschikbaar koolwaterstof gebaseerd membraan. Er zijn testen uitgevoerd met verschillende typen PTL en GDL structuren.

Doel:

- Roadmap voor ontwikkeltraject richting 2030 voor kosten effectieve innovatieve electrolyser componenten

Resultaten:

- Rapport met roadmap voor kosteneffectieve elektrolyser componenten

Resultaat beschrijving:

Figuur 2 laat de kostenontwikkeling per elektrolyser component zien met streven naar waterstofproductie kosten < 2 euro/kg waterstof. De voornaamste kosten reductie is benodigd voor de scheidingsplaat, de anode poreuze transportlaag en de MEA, resulterend in 2030 in stack kosten van 130-150 €/kW. De beoogde specificaties per component zijn al behandeld in WP2. Hieronder volgt een overzicht van de aanpak om te komen tot de kosten reductie en beoogde specificatie.

Membranen:

	<i>PFSA</i>	<i>Thin PSFA</i>	
Aanpak	-Nafion/ -Aquivion	-Reinforced mem Recombination. Cat.	Hydrocarbon F-free
Tijdslijn	2019	2022	2028
Kosten ontwikkeling €/kW	60-120 €/kW	30-50 €/kW	< 20 €/kW

Het membraan is op dit moment het duurste onderdeel van de MEA. In de eerste fase tot 2022 leidt het dunner maken van PFSA-gebaseerde membranen tot de snelste reductie in kosten. Dit betekent dat wel dat de oversteek van gas over het membraan vermeden dient te worden. Dit kan gebeuren door het toepassen van korte zijketen ionomer in PFSA gebaseerde membrane en door de introductie van gas oversteek barrières in de vorm van graphene of dunne film van transitie metaal oxide nano-deeltjes. Een andere mogelijkheid is het gebruik van een recombinatie katalysator in de laag hetgeen wel weer een effect heeft op de overall waterstof productie efficiëntie. Het gebruik van dunnere membranen leidt tevens tot kosten reductie.

In parallel met deze ontwikkeling zal er een ontwikkeling van fluor-vrije membranen uitgevoerd worden met als doel te komen tot verhoging van de protonengeleiding of de mogelijkheid PEMWE te bedrijven bij hogere bedrijfstemperaturen (> 80°C) waardoor de protonengeleiding toeneemt. Dit vereist wel membraanmaterialen die bestand zijn tegen de hogere temperaturen. De beoogde polymeer materialen voor deze membranen zijn op basis van koolwaterstoffen.

Elektro-katalysator:

Aanpak	<i>Ir/IrOx-NP</i>	<i>Low Ir/IrOx</i>	<i>Non-PGM</i>
Tijdlijn	2019	2022	2028
Kosten ontwikkeling €/kW	26 €/kW	3-5 €/kW	< 2 €/kW

Vanuit kosten oogpunt maar met name de beschikbaarheid van de katalysator grondstoffen is de huidige Iridium gebaseerde anode katalysator een kritische. Iridium wordt momenteel gebruikt in PEMWE vanwege de ideale combinatie van electro-katalytische activiteit voor de zuurstof evolutie reactie en de stabiliteit onder de relatieve hoge oxidatieve en zure condities. Om het gebruik van iridium te verlagen of zelfs te vermijden worden de volgende twee routes voorgesteld:

- Ontwikkeling van anode katalysatoren met lage Ir-inhoud: Hiertoe worden core-shell formuleringen ontwikkeld waarbij het Iridium als zeer dunne film wordt aangebracht op drager materialen, waarbij de Iridium dichtheid terug gebracht kan worden van de huidige 2 tot 0.02 mg/cm². Een voorbeeld van deze ontwikkeling is het nano-supported thin film concept van 3M waarbij de Ir-dichtheid met een factor 10 is teruggebracht. Deze ontwikkeling wordt wereldwijd op diverse wijzen opgepakt.
- Ontwikkeling van anode katalysatoren zonder edelmetaal: deze ontwikkeling staat nog in de kinderschoenen en begint wereldwijd steeds meer aandacht te krijgen.

De cathode katalysator op basis van Pt/C is minder kritiek qua grondstof beschikbaarheid en kosten, maar ook hier wordt er gekeken naar verlaging van de edelmetaal inhoud. In de PEM brandstofcel wereld worden al opmerkelijke verlaging in edelmetaal inhoud met een factor 50 aangetoond.

Poreuze transport laag:

Aanpak	<i>Ti-PTL</i> <i>No MPL</i>	<i>Ti-PTL</i> <i>Coated-Ti-MPL</i>	<i>Coated-SS-PTL</i> <i>Coated-Ti-MPL</i>	<i>Coated-SS-PTL</i> <i>Coated-SS-MPL</i>
Tijdlijn	2018	2020	2022	2025
Kosten ontwikkeling €/kW	280 €/kW	200 €/kW	100 €/kW	< 45 €/kW

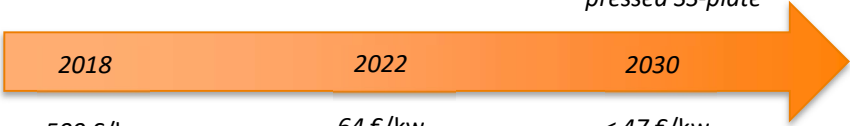
Belangrijke ontwikkel aspecten aan deze component zijn de volgende:

- Verlaging van de kosten: Vervanging van titanium door goedkopere roestvaste staalsoorten draagt bij aan kostenverlaging. Er is dan wel een zeer goede corrosie beschermende coating nodig aangezien roestvast staal meer corrosie gevoelig is dan titanium.
- Verbetering van elektrisch contact tussen PTL en elektro-katalytische laag: Een PTL met een gradiënt in deeltjes grootte en porie afmeting met fijne structuur dicht bij de katalysator laag resulteert in betere elektrische contact met elk katalysatordeeltjes in de katalysator laag. Deze fijnere PTL morfologie kan ook verkregen worden door gebruik te maken van zogenaamde “Mesoporous Layer (MPL)”. Een grovere deeltjesgrootte en porie afmetingen aan de scheidingsplaat zijde resulteert in betere massatransport voor watertoevoer en zuurstofafvoer.

Aan de kathode kant wordt carbon paper met een carbon gebaseerde MPL gebruikt als PTL. Deze behoeft voornamelijk geen verdere verbetering qua kosten en functionaliteit.

Bipolaire scheidingsplaat:

Aanpak	<i>Thick Ti-plate</i>	<i>Generation 1: Thin coated SS-plate</i>	<i>Generation 2: Thin coated deep pressed SS-plate</i>
Tijdslijn	2018	2022	2030
Kosten ontwikkeling €/kW	500 €/kW	64 €/kW	< 47 €/kW



De scheidingsplaten bestaan momenteel meestal uit een 2-3 mm dikke titanium plaat waarin een flow-field is gefreesd. Vaak worden deze platen aan de anode zijde nog gecoat met een edelmetaal laag ter bescherming tegen corrosie. Deze platen zijn kostbaar (Zie figuur ...). Om tot kostenverlaging gekomen wordt er gekeken naar roestvast staal als vervangend materiaal. Dit heeft dan eveneens een corrosie beschermende coating zoals een TiO₂/Nb-coating (Sci. Rep. 7 (2017) 44035). Een verdere kosten verlaging betreft het dunner maken van de scheidingsplaat en het verkrijgen van een flow field door de dunne staalplaat diep te trekken.

WP6: PROJECTMANAGEMENT

Doel:

- Dagelijks projectvoortgangsbewaking, rapportage en controle van project financiën
- Disseminatie van de project resultaten

Resultaten:

- Mid-term report

- Final report: Vertrouwelijk en openbaar
- Een Industrial Interest Group is geformeerd en de eerste bijeenkomst van deze groep heeft plaatsgevonden op 12 Maart 2019

Resultaatbeschrijving:

Het AMPERE project werd gecoördineerd door TNO. Regelmatig terugkerende project voortgangvergaderingen zijn georganiseerd om de voortgang te monitoren, resultaten te bespreken en vervolgstappen te definiëren. Zaken op detailniveau werden tevens naast deze voortgangvergaderingen telefonisch of middels email afgehandeld.

Er is vanuit AMPERE een zogenaamde “Industrial Interest Group” (IIG) geïnitieerd, waarin belangrijke spelers in de toeleverketen zitting hebben. Als kick-off van deze IIG is er in het vijfde kwartaal van de projectduur een workshop georganiseerd waar 50 industriële, overheid en academische stakeholders aanwezig waren.

4.3 KNELPUNTEN

Het voornaamste knelpunt in het project wordt gevormd door het feit dat de ontwikkeling van nieuwe membraanmaterialen een intensief traject is gebleken. Het gevolg hiervan is dat de ontwikkelde membranen nog niet van de beoogde kwaliteit zijn met name ten aanzien van levensduur. Dit heeft ertoe geleid dat de beoogde stacktesten in WP4 niet uitgevoerd konden worden. Deze WP4 activiteiten van met name Hydron Energy en TNO zijn vervangen door extra inzet in WP1 ten aanzien van optimalisatie referentiecel configuratie en in WP3 om extra metingen uit te voeren aan commercieel verkrijgbare sPEEK membranen.

5. VERVOLGPROJECTEN

Met het huidige AMPERE consortium zal er gekeken worden naar nieuwe mogelijkheden om te komen op een vervolgproject op het gebied van electrolyzer membraan ontwikkeling.

In het kader van de ontwikkeling van de anode katalysator laag (Lage Ir-inhoud) en de bijbehorende poreuze transportlaag (Verbeterde interactie met de katalysatorlaag) is er reeds een project binnen TKI waterstof call met als acronym “INCOME” (INnovative COmponents & Materials for Electrolysis) toegekend.

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

AMPERE project heeft een concrete bijdrage geleverd aan de hierboven beschreven doelstelling. Er is veel kennis en kunde ontwikkeld betreffende het ontwikkelen van nieuwe koolwaterstof gebaseerde membranen. Alhoewel dit nog niet heeft geleid tot een volwaardig membraan product vormt de verkregen kennis en ervaring een uitermate goed uitgangspunt voor eventuele vervolgprojecten ten behoeve van membraanontwikkeling. De gecreëerde roadmap voor de electrolyser ontwikkeling op component niveau richting 2030 vormt een uitgesproken bijdrage in het vormen van een beeld voor de daadwerkelijke opties voor kostenreducties ende aanpak om deze te realiseren. De roadmap beoogd een reductie in kosten op stack niveau van 1200 €/kW naar rond de 130-150 €/kW in 2030.

7. DISSEMINATIE

Gedurende de duur van het project zijn verkregen resultaten en ervaringen gedeeld op verschillende gelegenheden:

- Mondelinge presentatie bij de ECCM, June 2018, Den Haag, Netherland: “Lowering the time-to-market of PEMWE”; F.P.F. van Berkel, Sander ten Hoopen and Arend de Groot
- Poster presentatie bij de International Conference on Electrolysis, June 2019, Loen, Norway: “PEMWE developments at ECN part of TNO”; Frans van Berkel et al.