

Samenvatting Next Level Solid Oxide Elektrolyse

In deze haalbaarheidsstudie wordt het opschalingspotentieel voor Solid Oxide Elektrolyse (SOE) onderzocht en geëvalueerd voor drie industriële toepassingen. Er wordt gesuggereerd dat opschaling mogelijk is door de stroomdichtheid te verhogen met een factor 2, het oppervlak van de cellen te vergroten met een factor 8 en modules groter te maken van ca 2 tot 9 MW. Als gevolg hiervan zou een aanzienlijke verlaging van investeringskosten (CAPEX) en ruimtebeslag kunnen worden bereikt, mogelijk een factor 4.

In het "Next Level SOE" project hebben ISPT en TNO in samenwerking met Air Liquide, BP en OCI een haalbaarheidsstudie uitgevoerd naar de technologie van Solid Oxide Electrolysis Cells (SOEC). Het procesintegratieproces, het opschalingspotentieel en de technisch-economische aspecten van SOEC-technologie zijn geëvalueerd. Deze haalbaarheidsstudie richt zich op drie scenario's van drie verschillende industriële partners met drie verschillende toepassingen van SOEC:

- Waterstofproductie in een bestaande ammoniakfabriek op de OCI Chemelot-locatie in Nederland;
- Syngas- en groene waterstofproductie geïntegreerd met blauwe waterstof en downstream e-brandstoffen als conceptstudie voor een mogelijke BP-locatie;
- Koolmonoxideproductie bij Air Liquide, op de Rozenburg Rotterdam-locatie.

Via procesintegratie kan overtollige stoom worden gebruikt. De kwaliteit van stoom en koolstofdioxide is belangrijk om de elektroden te beschermen. Op systeemniveau is het stroomverbruik bepaald, inclusief de stacks, warmte integratie, luchttoevoer en compressie (zie Tabel S1). Ook de vraag naar koelwater is belangrijk, omdat dit ongeveer 10% van het energieverbruik van de stack kan zijn.

Table S1. Summary electricity consumption for the use cases

Electricity consumption	Stack	Other	System
Use case OCI hydrogen	80 MW	12 MW	92 MW
Use case BP 1 hydrogen	462 MW	74 MW	536 MW
Use case BP 2 syngas	786 MW	124 MW	910 MW
Use case Air Liquide carbon monoxide	17 MW	3 MW	20 MW

Op systeemniveau bedraagt de efficiëntie (LHV) 83% voor waterstofproductie, 82% voor CO₂-reductie en 92% voor syngasproductie (zie Tabel S2). De efficiëntie wordt gedefinieerd als Energie (in product)/Totale energieverbruik. In het geval van SOEC en een stackefficiëntie van 100% kan de systeemefficiëntie worden vereenvoudigd tot het stroomverbruik van de stack gedeeld door het

totale stroomverbruik. Het verschil in specifiek stroomverbruik is voornamelijk te wijten aan verschillen in eigenschappen en conversierendement.

Table S2. System efficiencies for the use cases

Based on use case		OCI and BP 1	Air Liquide	BP 2
		Steam electrolysis	CO ₂ reduction to CO	Co-electrolysis to syngas
Conversion	kWh/kg product	33.3	2.7	7.1
Compression	kWh/kg product	2	0.2	0.5
e-heaters	kWh/kg product	3.2	0.3	0.6
AC/DC (97%)	kWh/kg product	1.5	0.1	0.2
Total	kWh/kg product	40.0	3.3	8.4
System efficiency	LHV (%)	83%	82%	92%

Het specifieke stroomverbruik van het SOEC-systeem voor stoomelektrolyse is 40 kWh/kg waterstof en voor waterelektrolyse is dit ongeveer 50 kWh/kg waterstof of hoger. De systeemefficiëntie (LHV) voor elektrolyse bij hoge temperatuur zou daarom meer dan 20% hoger zijn dan typisch bij elektrolyse met lage temperatuur met AWE- en PEM-technologie. In het geval van stoomgeneratie (HHV) is het specifieke energieverbruik 8 kWh/kg waterstof hoger. Het potentieel voor kostenverlaging is het resultaat van technologische verbeteringen om hogere stroomdichtheden, grotere productieschaal en opschaling te bereiken. De stroomdichtheid is een belangrijke kostenfactor (CAPEX), omdat bij hogere stroomdichtheden minder SOEC-oppervlak nodig is voor dezelfde output. Er wordt verondersteld dat technologische innovatie de stroomdichtheid tegen 2030 kan verdubbelen, van typisch 0,7 naar 1,5 A/cm². De productieschaal zal naar verwachting aanzienlijk groeien, wat de kosten van stackproductie zal verlagen. Een belangrijke kostenverlaging vindt plaats bij opschaling via:

- grotere celoppervlakken en grotere stacks;
- meerdere cellen en stacks per 'hotbox';
- grotere modules.

Een voorgesteld opgeschaald SOE-ontwerp omvat een typische stackgrootte tot 100 kW en een aanzienlijk opgeschaalde herhalende module van 9 MW. Als voorbeeld van opschaling wordt een stack voorgesteld met ongeveer 60 grote cellen van 800 cm² en 16 stacks in 1 hotbox van 1,5 MW. Verdere bundeling van 6 hotboxes leidt tot een herhalende module van 9 MW. Voor grootschalige toepassingen kunnen deze modules worden gerangschikt in een systeemontwerp van ongeveer 90 MW met alle benodigde ondersteunende systemen zoals vermogenelektronica, zuivering en compressie. Een voorgestelde opgeschaalde hotbox van 1,5 MW, bestaande uit 16 stacks van 94 kW, is besproken met verschillende leveranciers. Het blijkt dat grote stacks

inderdaad acceptabel en gewenst zijn. Er is echter geen duidelijke visie op de ideale opgeschaalde grootte van een hotbox met het oog op pragmatische operationele en onderhoudseisen. Daarom wordt in deze studie ook een alternatief SOE-ontwerp voorgesteld, met ongeveer 160 cellen per stacks van 250 kW. De hotbox van 1,5 MW en de module van 9 MW blijven hetzelfde. De voorgestelde verdeling met beide configuraties lijkt logisch op basis van indicatieve betrouwbaarheidsberekeningen, maar heeft meer testen en gegevens op praktijkschaal over faalkansen.

De totale investeringskosten (TIC) worden in deze studie geschat op ongeveer 4.800 €/kW in 2020 en 1.200 €/kW in 2030 op basis van literatuur en technische factoren. Vanwege beperkte informatie over de kosten van stacks en balance of stacks, bleek een specifieke kostenschatting moeilijk te zijn. Er wordt gesuggereerd dat een CAPEX-verlaging met een factor 4 kan worden bereikt door opschaling, massaproductie en innovatie van cel- (of stack)componenten. Voor een conceptuele elektrolysefabriek van 800 MW, zoals die nodig zou zijn voor het BP-scenario, zouden 289 modules van elk 9 MW nodig zijn (voorzien van SOE-specifieke infrastructuur zoals transformatoren, stoom en gasleidingen, een compressorstation en gaszuivering). Voor een fabriek van 100 MW, zoals in het geval van OCI, zouden ongeveer 11 modules van 9 MW nodig zijn. Voor een fabriek van 20 MW, zoals in het geval van AL, zouden minstens twee modules van 9 MW nodig zijn. Er is meer aandacht nodig voor dynamische prestaties, betrouwbaarheid en degradatie van stacks. Dit zou moeten worden opgenomen in het ontwerp en de strategie voor bediening en onderhoud.

Vanuit een duurzaamheidsoogpunt is de oorsprong van de overtollige stoom belangrijk en moet deze in overeenstemming zijn met de RFNBO-vereisten volgens de gedelegeerde Handelingen 27 en 28 van de Hernieuwbare-Energierichtlijn (RED) II. De lessen die zijn geleerd uit dit project tonen aan dat lagedrukstoom kan worden gegenereerd uit restwarmte en niet noodzakelijkerwijs stoom met hoge/middelhoge druk vereist is. Bovendien is het voordeel dat de kwaliteit van de gegenereerde stoom meer consistent zou zijn met de kwaliteitseisen aan de voeding naar de SOEC.

Er is een routekaart opgezet voor de ontwikkeling van SOEC-technologie in dit decennium. Als volgende stap wordt voorgesteld om een pilot plant te ontwikkelen om de technologie op een schaal van 5 tot 10 MW te demonstreren.

Dit project is uitgevoerd met ondersteuning vanuit de nationale EZK en LNV subsidies, TSE Studies 2021 (Referentienummer RVO: TES221009).