

CAPEX - elektrolyzers

Onder deze categorie vallen alle kosten voor water-elektrolyzers – de daadwerkelijke machines waarin water met behulp van groene stroom gesplitst wordt in waterstof en zuurstof. In deze categorie worden de productiekosten van alle soorten elektrolyzers in beschouwing genomen: alkaline, PEM en innovatieve nieuwe technieken (zoals AEM en SOEC). De balance of plant (de ondersteunende componenten die de elektrolyser laten draaien) valt onder CAPEX – projecten en niet onder deze categorie.

Let op: de efficiëntieverbetering die kan ontstaan door innovatie van elektrolyzers valt onder elektriciteitskosten, omdat een elektrolyser die een conversie-efficiëntie heeft van bijv. 85% in plaats van 75% minder elektriciteit zal hoeven in te kopen om eenzelfde hoeveelheid groene waterstof te produceren.

Op dit moment wordt de contributie aan de LCOH volgens RHyCEET geschat op €1,43/kg groene waterstof.

Geïdentificeerde besparingsopties:

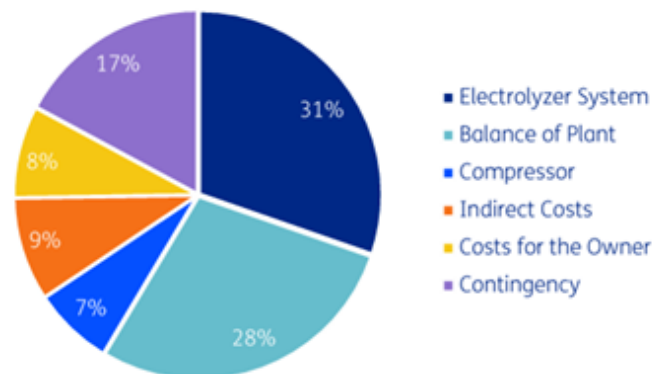
- **Kostprijsverlaging van elektrolyzers door toename van de productiecapaciteit van elektrolyzers en componenten binnen Europa.** Denk hierbij aan seriematige productie en verdere automatisering van elektrolyzers en componenten.
- **Kostprijsverlaging van elektrolyzers door toename van de productiecapaciteit van elektrolyzers en componenten buiten Europa.** Denk hierbij met name aan importeren van elektrolyzers uit bijv. China, die mogelijk qua initiële investering goedkoper zijn maar die op gebied van kwaliteit/duurzaamheid van de waardeketen/strategische afhankelijkheid minder aantrekkelijk kunnen zijn.
- **Kostprijsverlaging van elektrolyzers door het gebruik van zeldzame aardmetalen (CRM's) en andere schaarse en dure grondstoffen te vermijden.** PEM-elektrolyzers specifiek vereisen grote hoeveelheden iridium, platina en palladium. Dit zijn dure grondstoffen waarvan de bevoorradingsketen gemakkelijk verstoord kan worden.
- **Kostprijsverlaging van elektrolyzers door verhogen stroomdichtheid.** Door deze te verhogen kan een elektrolyser op een hoger vermogen draaien, en kan dezelfde asset dus meer stroom omzetten in waterstof. De verhoging van de stroomdichtheid heeft wel invloed op de efficiëntie en de degradatie van het systeem, maar dat is mogelijk te mitigeren door andere materialen te gebruiken en goed te koelen.

Deze besparingen kunnen vooral door producenten van elektrolyserstacks en -componenten worden gerealiseerd. Universiteiten en onderzoeksinstituten, en nationale of Europese innovatieprogramma's kunnen hier een faciliterende rol in spelen door nieuwe en verbeterde technologie en materialen te ontwikkelen.

CAPEX - projectkosten

Onder deze categorie vallen alle projectkosten die niet de kosten zijn voor het elektrolyzersysteem. Denk hierbij aan de balance of plant (de ondersteunende componenten die de elektrolyser laten draaien) en compressoren. Maar bijvoorbeeld ook aan bouwkosten voor fabrieken, en aan arbeidskosten op projectniveau: aangenomen en ingehuurde ingenieurs, technici, projectmanagers en vergunningsadviseurs.

Op dit moment wordt de contributie aan de LCOH volgens RHyCEET geschat op €3.49/kg groene waterstof.



Procentmatige verdeling van alle CAPEX-kosten uit RHyCEET

Geïdentificeerde besparingsopties:

- **Verlagen kosten balance of plant en compressoren door standaardisatie en automatisering.** Net als elektrolyzers kunnen ook deze componenten goedkoper worden als ze grootschaliger worden geproduceerd.
- **Verlagen kosten voor engineering en projectkosten van groene-waterstoffabrieken door standaardisatie van fabriekontwerp en/of onderdelen van de fabriek.** Door één fabrieksontwerp op meerdere plaatsen (in Nederland of elders) toe te passen kan een bedrijf zorgen dat er minder tijd en arbeidsuren in projecten hoeven te worden geïnvesteerd.
- **Verlagen projectkosten door versnelling van doorlooptijd vergunningsaanvragen.** Dit kan bijvoorbeeld door informatievoorziening door lokale overheden en omgevingsdiensten, en uitwisseling van kennis en best practices tussen bedrijven en overheden en overheden onderling.
- **Verlagen bouwkosten door reduceren van toepassing van dure bouwmaterialen.** Materialen als staal en beton zijn duur, dus door deze minder te gebruiken kan de CAPEX naar beneden worden gebracht. Dit moet uiteraard niet ten koste gaan van functionaliteit van de fabriek of van veiligheid.
- **Verlagen projectkosten door clustering van verschillende elektrolyserprojecten in conversieparken.** Als verschillende elektrolyserprojecten op dezelfde locatie worden ontwikkeld, kan infrastructuur voor de projecten tegelijk worden aangelegd (en/of gedeeld) en kunnen ruimtelijke en vergunningsprocedures gezamenlijk worden doorlopen. Dit zorgt voor lagere infrastructuurkosten en een kortere doorlooptijd van het project.

Deze besparingen kunnen deels door groene-waterstofproducenten zelf worden gerealiseerd. Voor clustering in conversieparken is samenwerking tussen producenten en betrokkenheid van clusterpartijen (zoals havenbedrijven) en netbeheerders nodig. Voor versnelling van doorlooptijd van vergunningsaanvragen kunnen lokale overheden, omgevingsdiensten en clusterpartijen een faciliterende rol spelen.

Elektriciteitskosten

Onder deze categorie vallen alle beleidsmaatregelen en technische innovaties die de absolute kosten van hernieuwbare (RFNBO) elektriciteit verlagen, en het aandeel van elektriciteitskosten in de totale productiekosten van waterstof (LCOH) verder terugdringen.

Op dit moment wordt de contributie aan de LCOH volgens RHyCEET geschat op €5.20/kg groene waterstof.

Geïdentificeerde besparingsopties:

- **Verlagen elektriciteitskosten per kg geproduceerde waterstof door verbetering van het rendement van elektrolyzers door innovaties.** Producenten van elektrolyzers werken aan het stapsgewijs verbeteren van de waterstofopbrengst. Momenteel ligt deze op 60-70% efficiency, hetgeen nog veel energie- en omzettingsverlies betekent. Verbetering van de nu gangbare alkaline- en PEM-technieken of verdere ontwikkeling van nieuwe efficiëntere technieken kan dit rendement verhogen, waardoor de elektriciteitskosten per kg geproduceerde groene waterstof omlaag gaan.
- **Verlagen elektriciteitskosten door indirecte kostencompensatie voor ETS-kosten.** Het Europese systeem van emissiehandel (EU ETS) verplicht Europese elektriciteitsproducenten om emissierechten aan te kopen voor hun CO₂-uitstoot. De kosten hiervan berekenen zij door in de elektriciteitsprijzen. Tegelijkertijd onderkent de EU het risico dat bepaalde energie- intensieve bedrijfstakken die door het ETS een hogere energierekening hebben, hun productie verplaatsen naar een land buiten de Europese Unie. Daarom laat de EU ruimte voor kostencompensatie, waar bedrijven via een regeling aanspraak op kunnen maken. In Nederland is deze regeling vanaf 2025 echter niet meer beschikbaar.
- **Verlagen elektriciteitskosten door verruimen Europese verplichtingen voor additionaliteit en temporele correlatie.** De eerste groene-waterstofprojecten zouden gebruik kunnen maken van een zogenaamde phase in period voor additionaliteit en temporele correlatie. In deze periode hoef je nog geen ongesubsidieerde groene stroom te gebruiken, en hoef je niet voor elk draaiuur aantonen dat je genoeg groene stroom hebt maar mag dat nog op maandbasis. Deze phase in period loopt echter binnenkort af; door deze te verlengen kunnen de eerste groene-waterstofprojecten goedkopere elektriciteit aanschaffen.
- **Verhogen aantal toegestane draaiuren door het bereiken van een aandeel van 90% hernieuwbare elektriciteit op het Nederlandse stroomnet.** Op enig moment in de toekomst produceren we in Europa zo veel hernieuwbare stroom met zon en wind, dat vanaf dan groene-waterstoffabrieken volcontinu (RFNBO-gecertificeerde) groene waterstof kunnen produceren, waardoor ze meer vollasturen kunnen draaien en geen gebruik meer hoeven te maken van PPA's voor additionele groene stroom. Dit maakt de kostprijs voor elektriciteit lager. De vraag is wanneer dit moment bereikt wordt. Dit moment kan naar voren worden gehaald door op Europees niveau de drempel van 90% naar 80% te verschuiven.

De kostenbesparingen kunnen worden gerealiseerd door een samenwerking van marktpartijen (producenten elektrolyzers en andere technische installaties, producenten groene waterstof, energiebedrijven, netbeheerders, financiers) en overheidspartijen (Rijk, regionale overheden, ACM, Europese Commissie)

Infrastructuurkosten

Onder deze categorie vallen de geïdentificeerde besparingsopties die de infrastructuurkosten voor elektriciteit en waterstof significant kunnen verlagen. Hierbij moet worden opgemerkt dat vanwege het gesocialiseerde model voor aanleg van infrastructuur in Nederland kosten- en baten niet altijd goed worden belegd. De besparingsopties moeten zodanig vertaald worden dat deze resulteren in kostprijsdaling voor groene waterstof, en dat deze besparing niet voor rekening van eindgebruikers komt.

Op dit moment wordt de contributie aan de LCOH volgens RHyCEET geschat op €2,36/kg groene waterstof.

Geïdentificeerde besparingsopties:

- **Verlagen elektriciteitsnetwerktarieven door doorvoeren locatiegebonden korting bij plaatsing van elektrolyzers bij aansluitingen van duurzame energieopwekking**, zoals wind op zee. Door de afname dicht bij de aansluitingen te brengen wordt verzwaring van het verdere netwerk vermeden. Tevens kan worden gedacht aan het delen van een aansluiting met de producten. Voor de wind op zee aanlanding zou dit zover moeten kunnen gaan tot het delen van de aansluiting op het hoogspanningsstation.
- **Verlagen elektriciteitsnetwerktarieven door toepassen groepscontracten voor gezamenlijke ontwikkeling elektrolyzers en windparken op zee**. Door afname te bundelen en af te stemmen op de leveringsprofielen van het gekoppelde windpark op zee wordt het elektriciteitsnetwerk en de elektriciteitsmarkt ontlast, netverzwaringen voorkomen en benodigde opslag beperkt.
- **Verlagen elektriciteitsnetwerktarieven door gebruik tijdsduurgebonden aansluit- en transportovereenkomst (ATR-85)**. Door het inzetten van alternatieve transportrechten kan de schaarse ruimte op het net efficiënter benut worden en meer ruimte worden gecreëerd voor (duurzame) aangeslotenen. Deze flexibiliteit zou zich moeten terugvertalen in de nettarieven.
- **Verlagen waterstofnettarieven door koolstofarme waterstof en geïmporteerde waterstof goede toegang (en markt) te geven tot die infrastructuur**. Hiermee kunnen de volumes worden verhoogd waardoor de gesocialiseerde kosten kunnen worden gereduceerd/verdeeld over een groter volume waardoor de prijs per eenheid daalt.

De kostenbesparingen kunnen worden gerealiseerd door een samenwerking van marktpartijen (producenten groene waterstof, infrastructuurpartijen en netbeheerders, havenbedrijven, afnemers groene waterstof, financiers) en overheidspartijen (Rijk, regionale overheden, ACM)

Operationele kosten

Onder operationele kosten vallen alle kosten die gemaakt worden voor operatie van een groene-waterstoffabriek die niet onder elektriciteitskosten of infrastructuur vallen. Hieronder vallen o.a. de arbeidskosten die nodig zijn om de fabriek te opereren en de onderhouds- en vervangingskosten van (onderdelen van) elektrolyzers. Tenslotte vallen alternatieve inkomstenstromen dan de verkoop van waterstof hier ook onder, omdat deze helpen om de business case van de waterstof te stutten.

Op dit moment wordt de contributie aan de LCOH volgens RHyCEET geschat op €1.22/kg (inclusief vervangingskosten van (onderdelen van) elektrolyzers).

Geïdentificeerde besparingsopties:

- **Verlagen operationele kosten door verbeteren betrouwbaarheid elektrolyzers en andere fabrieksonderdelen.** Dit draagt op meerdere manieren bij aan een kostenbesparing; de vervangingskosten van elektrolyzers zijn lager, de draaiuren van de fabriek zijn hoger en arbeidskosten voor onderhoud worden vermeden.
- **Genereren extra inkomsten door de verkoop van flexdiensten.** Elektrolyzers kunnen bijdragen aan de flexibilisering van het energiesysteem door het afvangen van pieken in stroomproductie en het faciliteren van energieopslag. Hiermee kan een extra inkomensstroom worden aangeboord.
- **Genereren extra inkomsten door de verkoop van zuurstof en warmte.** Deze restproducten van elektrolyse kunnen een eigen waarde vertegenwoordigen; zuurstof kan in de industrie worden gebruikt als grondstof en restwarmte kan dienen als voeding voor stadswarmtenetten of industriële warmtenetten.

Voor deze kostenbesparingsopties moeten groene-waterstofproducenten samenwerken met respectievelijk producenten van elektrolyzers, netbeheerders en afnemers van zuurstof en warmte.

Financiering en WACC

De financieringskosten van een project zijn de totale kosten die een bedrijf maakt om geld aan te trekken voor de investering. Dit omvat de rente op leningen (vreemd vermogen), het rendement dat investeerders verwachten op hun eigen vermogen en de verhouding tussen vreemd en eigen vermogen. Hoe hoger de risico's van een project, hoe hoger de financieringskosten, omdat geldverstrekkers en investeerders een hogere vergoeding vragen voor het geïnvesteerde kapitaal. Optimaliseren van de financieringskosten gebeurt doorgaans pas wanneer er zicht is op een sluitende business case.

In RHyCEET staan op dit moment geen LCOH-kosten voor financiering, deze zijn uitgesmeerd over de andere categorieën. Slimmere financieringsconstructies kunnen de kosten voor alle andere categorieën naar beneden brengen. De base case gaat uit van een WACC (weighted average cost of capital, kapitaalkosten dus) van 9.5%¹.

Geïdentificeerde besparingsopties:

- **Verlagen risico op tijdige aansluiting op infrastructuur.** Naarmate er meer zicht is op beschikbare elektriciteit- en waterstof infrastructuur neemt het risico af. Hierdoor kunnen de kapitaalkosten worden verlaagd o.a. omdat er (meer) schuldfinanciering aangetrokken kan worden. Timing van aansluiting op elektriciteitsnet en waterstofbackbone gelijktijdig met de oplevering van het elektrolyseproject is cruciaal.
- **Verlagen kredietrisico van de waterstofafnemer en verzekeren van afname.** Op het moment dat afname van waterstof gegarandeerd is door harde toezeggingen van afnemende partijen of kaderstellend beleid gaat het risico voor de groene-waterstofproducent naar beneden, waardoor de kapitaalkosten worden verlaagd. Het verlagen van het kredietrisico zou via nieuwe garantie instrumenten mogelijk gemaakt kunnen worden. Waar waterstofafnemers niet de benodigde langjarige contracten aan kunnen gaan zou eventueel een langere termijn van afname verzekerd kunnen worden.
- **Performance garanties van elektrolyserleveranciers.** Leveranciers kunnen technologie- en constructierisico's adresseren waardoor een hoger aandeel vreemd vermogen mogelijk is en verschaffers van eigen vermogen potentieel een lager rendement kunnen vragen. Performance garanties kunnen betrekking hebben op o.a. de efficiëntie, degradatie, beschikbaarheid, stack vervanging, vertragingen in constructiefase.
- **Verlagen risico's in sourcingstrategie voor elektriciteit.** Hoe robuuster de sourcingstrategie hoe lager de financieringskosten. De ontwikkeling van een Corporate Power Purchase Agreement (cPPA) garantiefonds is een van de opties die hieraan kan bijdragen. Voor veel zakelijke afnemers ontbreekt de vereiste kredietwaardigheid om lange termijn financiering mogelijk te maken. Hier kan een cPPA-garantiefonds een cruciale rol spelen door het kredietrisico te verlagen en de financierbaarheid van projecten te verbeteren.

Aangezien de financieringskosten een reflectie zijn van de (gepercipieerde) risico's, hangt het handelingsperspectief in deze af van de partij die het risico draagt. Alle partijen die actief zijn in de waterstofketen (zowel marktpartijen als overheden) hebben hier invloed op.

¹ De base case gaat uit van een WACC van 9.5% op basis van een equity share van 67% met een required rate of return van 12% en een debt share van 33% tegen een interest rate van 6%. Het TNO-model lijkt daarnaast uit te gaan van projectfinanciering, terwijl balansfinanciering ook aannemelijk is, met name voor de eerste elektrolyseprojecten. Onderstaande maatregelen hebben met name impact op financieringskosten wanneer een projectfinancieringsaanpak wordt gehanteerd.