

TNO-rapport**TNO 2021 R11687****Energiecontext Curaçao****Traffic & Transport**

Anna van Buerenplein 1
2595 DA Den Haag
Postbus 96800
2509 JE Den Haag

www.tno.nl

T +31 88 866 00 00

Datum	17 september 2021
Auteur(s)	Maarten Verbeek, Sara Wieclawska
Exemplaarnummer	2021-SUMS-RAP-100341611
Aantal pagina's	14 (incl. bijlagen)
Opdrachtgever	RdK / TNO
Projectnaam	Naar een Living Lab Curaçao
Projectnummer	060.40272

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor opdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst.

Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belanghebbenden is toegestaan.

© 2021 TNO

Management Summary

Curaçao wil voor haar energievoorziening de afhankelijkheid van de import van fossiele energiedragers verminderen door diversificatie en energiedragers en door het realiseren en verder benutten van lokaal beschikbare hernieuwbare energiebronnen. Dit geeft bovendien mogelijkheden voor nieuwe (hoogwaardige) bedrijvigheid.

De analyse die in dit rapport wordt beschreven, laat zien dat Curaçao een groot potentieel heeft aan duurzame energie uit zon en wind. Dit potentieel is afhankelijk van (politieke) keuzes in welke mate ruimte zal worden gebruikt voor de opwek van duurzame energie.

De voor Curaçao berekende kosten voor duurzaam opgewekte energie – Levelised Cost Of Energy– zijn 56 \$/MWh voor wind en 72 \$/MWh voor zon (indicatief). Dit is concurrerend met fossiele bronnen op de lokale (vrije) energiemarkt. Dit laat zien dat het haalbaar is om duurzaam opgewekte (groene) waterstof te produceren met deze elektriciteit voor lokale en mogelijk regionale Caraïbische afname voor bijv. transport (brandstofcellen) en voor chemische processen zoals het opwerken van waste en sargassum naar energie en producten.

Export van waterstof of e-fuels (zonder gebruik van lokale biomassa) lijkt moeilijk. Dit komt voornamelijk vanwege het feit dat de kosten van duurzaam opgewekte energie in andere delen van de wereld lager zijn dan die op Curaçao. Dit maakt de uiteindelijke prijs van waterstof en e-fuels, geproduceerd met deze elektriciteit, significant lager. Daarnaast zijn de transportkosten van e-fuels over zee laag, waardoor er een mondiale markt zal ontstaan van grote volumes voor lage prijzen.

Er is een aantal vervolgstappen te definiëren om verder uit te werken in een vervolgfase: er kan op korte termijn gekeken worden naar het gebruik van energie uit (de surplus van) het beoogde zonnepark van RdK – het Green Power House – voor de productie van groene waterstof. Deze waterstof kan worden gebruikt voor toepassingen in o.a. mobiliteit (over land en maritiem) en bij het produceren van synthetische brandstoffen. Daarnaast is het essentieel voor de succesvolle verduurzaming van Curaçao om te kijken naar een goede aansluiting van de vraag naar elektriciteit (en waterstof) en het aanbod (uit de duurzame, fluctuerende bronnen), iets wat gedaan kan worden met de Curaçao Digital Twin.

Inhoudsopgave

	Management Summary	2
1	Inleiding	4
2	Curaçao energiecontext.....	5
2.1	Energiebalans.....	5
2.2	Duurzame opwek van energie op Curaçao	5
2.3	Balans tussen energievraag en -aanbod.....	8
3	LCOE en de productie van e-fuels en waterstof.....	10
4	Potentiële vervolgstappen.....	12
5	Conclusies.....	13
6	Ondertekening	14

1 Inleiding

Op dit moment is Curaçao voor haar energievoorziening voor een groot deel afhankelijk van de import van energiedragers en van fossiele brandstofprocessen van de raffinaderij. Dat is een kwetsbare positie, sociaal en economisch. Bovendien zou politieke instabiliteit in de regio's van waaruit olie wordt geïmporteerd kunnen leiden tot verslechtering van de energiezekerheid. Daarnaast dwingt de mondiale transitie naar meer duurzame energiebronnen Curaçao tot het herzien van hun energievoorziening. Om deze redenen wil Curaçao de afhankelijkheid van olie verminderen en de uitstoot van CO₂ verlagen.

Voor het beter kunnen beoordelen van beslissingen over investeringen in de energietransitie op Curaçao is het noodzakelijk om te weten:

1. Wat is de energiecontext: wat is de balans tussen vraag en aanbod van energie, welke sectoren betreft de afname en is de energievraag per sector te verduurzamen?
2. Wat zijn de kosten van duurzaam opgewekte energie op Curaçao? (De Levelised Cost Of Energy (LCOE))
3. Hoe verhoudt de LCOE voor Curaçao zich tot die van andere landen en regio's?
4. Is het haalbaar om duurzaam opgewekte energiedragers zoals e-fuels en waterstof te exporteren?

Dit rapport beschrijft de resultaten van het onderzoek naar deze vraagstelling. Dit onderzoek is werkpakket 5 – brandstoflogistiek – van het project Naar een Living Lab Curaçao.

2 Curaçao energiecontext

2.1 Energiebalans

Curaçao is voor haar energievoorziening afhankelijk van de import van energiedragers en van de fossiele brandstoffenprocessen van de raffinaderij. Curaçao kan deze afhankelijkheid verminderen door diversificatie van energiedragers en door het realiseren en benutten van lokaal beschikbare hernieuwbare energiebronnen.

Op dit moment wordt de energie voor het grootste deel op fossiele basis opgewekt. Om te kunnen bepalen in welke mate Curaçao haar afhankelijkheid van fossiele energie-import uit andere landen kan beperken, moet inzichtelijk zijn hoeveel energie er op welk moment wordt opgewekt, op welke locatie, en in welke vorm (elektriciteit, diesel, propaan, biobrandstof etc.). Zodoende wordt zichtbaar waar duurzaam opgewekte energie kan worden ingezet.

Als blijkt dat een overschot aan duurzaam opgewekte energie mogelijk is, kan worden onderzocht voor welke doeleinden deze energie kan worden ingezet. Hierbij kan bijvoorbeeld worden gedacht aan nieuwe industriële processen of export van energiedragers zoals waterstof en synthetische brandstoffen (e-fuels).

2.2 Duurzame opwek van energie op Curaçao

2.2.1 *Energie-opwek*

Energie kan op Curaçao duurzaam worden opgewekt op verschillende manieren. De belangrijkste zijn vooralsnog elektriciteitsproductie met behulp van zonnepanelen en windenergie, en het verwerken van biomassa of afval (maken van biobrandstoffen of directe verbranding). Daarnaast kan oceaanwater worden gebruikt voor koeling van gebouwen. Dit laatste is strikt gezien geen energieproductie, maar is wel een duurzame vervanging van fossiele energiedragers die nu worden gebruikt voor koeling. Benadrukt wordt dat voor alle ontwikkelingen rekening moet worden gehouden met ruimtebeslag en mogelijk ook gewijzigd beleid, bijvoorbeeld ten aanzien van het kunnen terug leveren van energie uit zonnepanelen door private partijen (individueel of bedrijven).

Elektriciteitsproductie met behulp van zonnepanelen op daken – max 300 MWp

Het totale voor zonnepanelen bruikbare dakoppervlak van huizen op Curaçao is niet precies bekend. Echter, een eerste inschatting is dat het voorzien van alle woningen en gebouwen met zonnepanelen kan leiden tot een piekvermogen van ongeveer 300 MWp. Dit is bepaald door het gemiddelde piekvermogen van een beperkt aantal Curaçaose woningen die zijn voorzien van zonnepanelen, te vermenigvuldigen met het totaal aantal woningen op Curaçao.

Om dit ook werkelijk te kunnen realiseren zullen verschillende barrières geslecht moeten worden. Deze barrières zijn zowel organisatorisch / juridisch als technisch van aard. Zo zal regelgeving moeten worden aangepast om zelf energie op te wekken makkelijker en aantrekkelijker te maken en zijn er aanpassingen nodig aan het energienetwerk om de decentrale opwek van energie uit zon op daken goed aan te kunnen. Deze aanpassingen vergen aanzienlijke investeringen, die zichzelf vanuit

maatschappelijk perspectief weliswaar na verloop van tijd kunnen terugverdienen vanwege de kleinere importbehoefte van (fossiele) energiedragers.

Elektriciteitsproductie met windturbines – max 230 MW

Momenteel staat er al een aantal windturbines op Curaçao. Er is ruimte beschikbaar om meer turbines te realiseren, mogelijk tot 200 MW. Dit vermogen zou kunnen worden opgewekt met ongeveer 66 turbines van 3,45 MW (het type dat nu op Curaçao is geïnstalleerd) of bijvoorbeeld door windturbines die aanzienlijk groter en hoger zijn (bv 6 MW) en daardoor een hogere energieopbrengst per windturbine hebben. Deze turbines zouden (grotendeels) moeten worden geïnstalleerd aan de noordkust van het eiland omdat daar de meeste wind staat.

Ook voor deze energiebron geldt dat aanzienlijke inspanningen vereist zijn om dit te realiseren. Vanwege de beperkte ruimte op Curaçao en de verschillende functies die worden gecombineerd (wonen, industrie, toerisme, natuur) zijn er verschillende belangen voor het gebruik van deze ruimte. Vanuit verschillende perspectieven zullen er daarom naar verwachting verschillen inzichten bestaan ten aanzien van het al dan niet plaatsen van meer en mogelijk grotere windturbines en de betreffende locaties.

Daarnaast kan worden onderzocht wat de mogelijkheden zijn voor wind op zee, offshore wind, met op de zeebodem verankerde windturbines of met drijvende windturbines. De beste windlocatie is de noordzijde van Curaçao en de zee is daar relatief wild en de zeebodem diep. Hierdoor zijn installatie- en onderhoudskosten voor dergelijke turbines relatief hoog. Tegelijkertijd leveren de windturbines op zee een relatief hoog vermogen, op dit moment in 2021 maximaal 15 MW per windturbine. Hoe de ratio tussen kosten en (energie)opbrengst zich verhoudt tot die van andere (duurzame) energiebronnen zal verder moeten worden verkend. Deze verhouding, tezamen met andere criteria (horizonvervuiling, effect op onderwaterleven, etc.) bepaalt of wind op zee rendabel is voor de kust van Curaçao. Offshore wind heeft een grote potentie, maar de inzet ervan buiten de kust van Curaçao is niet evident en het is wenselijk om extra onderzoek te doen naar de opbrengst, kosten en baten van offshore wind bij Curaçao in relatie tot de energieopbrengst.

Waste to Energy – max 15 MW

Naast duurzame elektriciteitsopwekking zou elektriciteit kunnen worden opgewekt via afvalverwerking. Dit zou ongeveer 15 MW kunnen opleveren (bron: National Energy Policy for Curaçao).

Tabel 1: Inschatting van de potentie aan duurzaam opgewekte energie.

Sustainable energy source	MWp
Solar roofs	300
Solar parks	55
Wind onshore	200
Wind offshore	*
Waste to Energy	15
Total	600

*Bij solar parks is alleen Isla West meegenomen. Voor offshore wind is uitgegaan van twee windturbines van 15 MW. * Hoge potentie maar niet evident, extra onderzoek is nodig.*

De som van de duurzame opwekbronnen staat in Tabel 1 weergegeven en geeft een indicatie van het potentieel.

Ocean Water Assisted Cooling (OWAC)

Zeewater kan worden gebruikt om de gebouwde omgeving te koelen. Dit is op zichzelf geen energieopwekking maar kan de behoefte aan andere energiedragers verminderen. Dit zou een energiebehoeftereductie van ca. 65 MWh/jaar kunnen opleveren (bron: National Energy Policy for Curaçao).

2.2.2 *Energievraag*

De belangrijkste sectoren op Curaçao die energie gebruiken, zijn transport, de gebouwde omgeving (huishoudens en commercieel) en industrie.

Transport en mobiliteit – 400 GWh/jaar (voor wegverkeer op elektriciteit)

In de transportsector wordt energie gebruikt door wegverkeer (personenauto's en in mindere mate bussen en vrachtauto's) en daarnaast door scheepvaart en luchtvaart. Een aanzienlijk deel van het wegtransport zou op termijn de transitie naar elektrisch kunnen maken. Elektriciteit lijkt vooralsnog de meest geschikte energiedrager vanwege het relatief hoge rendement (en daardoor relatief lage kosten) en het beperkte langeafstandsvervoer met zware voertuigen op Curaçao.

Een eerste orde inschatting is dat het wegvervoer ongeveer 400 GWh/jaar vraagt wanneer het volledig elektrisch is. Hierbij is rekening gehouden met 12,5% laadverliezen en 25% reductie van kilometers bijvoorbeeld door vervanging van privé naar openbaar vervoer. Naast wegvervoer wordt ook energie gebruikt door internationaal transport (scheepvaart en luchtvaart). Ten opzichte van energiebehoefte uit andere sectoren is deze behoefte erg groot. Daarnaast is de vorm van de energiedragers voor deze toepassing specifiek. Zo lijken vloeibare energiedragers in tegenstelling tot andere sectoren hier de belangrijkste energiebron te blijven.

Voor het overgrote deel van zeescheepvaart (~1900 GWh/jaar) en luchtvaart (~1150 GWh/jaar) lijkt elektriciteit geen geschikte energiedrager vanwege een beperkte actieradius. Voor een beperkt deel zouden deze modaliteiten gebruik kunnen maken van waterstof, maar hernieuwbare vloeibare energiedragers lijken de belangrijkste bron te worden. Deze vloeibare energiedragers kunnen worden gemaakt uit biomassa (biobrandstoffen) of uit elektriciteit in combinatie met koolstof of stikstof (e-fuels). Voor de luchtvaart kan biomassa worden gebruikt om bio kerosine te maken en elektriciteit en koolstof of e-kerosine te maken. Voor de zeescheepvaart lijken bio methanol (uit biomassa) of e-methanol of e-diesel (beiden uit elektriciteit en koolstof) en e-ammoniak (uit elektriciteit en stikstof) kansrijke energiedragers.

Gebouwde omgeving – 300 GWh/jaar aan elektriciteit

In de gebouwde omgeving is elektriciteit al de belangrijkste energiedrager. Vooral voor koken wordt nu nog een fossiele energiedrager gebruikt, namelijk propaan / butaan. Op termijn is de verwachting dat het energiegebruik in de gebouwde omgeving maar beperkt zal veranderen. Energie-efficiëntere airco's en verlichting zullen wel leiden tot een lagere vraag per woning (ongeveer 20% reductie), maar energievraagtoename als gevolg van de bevolkingstoename en koken op elektriciteit zullen deze afname ongeveer tenietdoen.

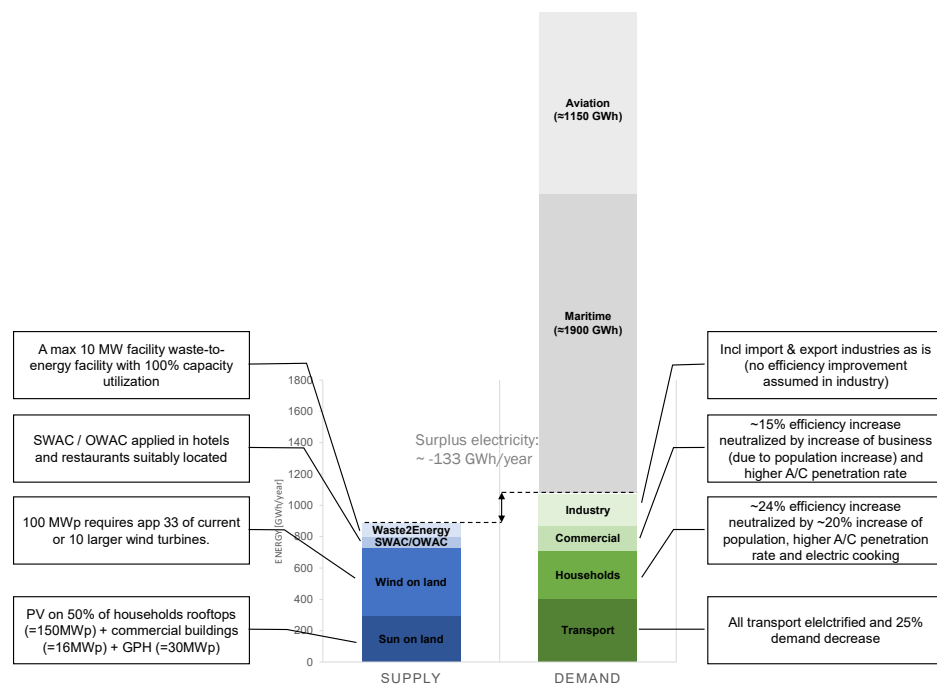
De energievraag van huishoudens zal naar verwachting daarom ongeveer 300 GWh/jaar blijven. Voor gebouwen met een commerciële functie zal dat ongeveer 165 GWh/jaar blijven bedragen.

Industrie – nul-scenario

De ontwikkeling van de energievraag van de industrie op Curaçao is sterk afhankelijk van de ontwikkelingen van de raffinaderij. Vanwege de onzekerheid van deze ontwikkelingen, is vooralsnog aangenomen dat het energiegebruik gelijk zal blijven aan het huidige gebruik. Daarnaast is er een scenario meegenomen waarbij er geen energiegebruik meer is van de industrie ten behoeve van import en export.

2.3 Balans tussen energievraag en -aanbod

Door de energievraag- en aanbod na transitie naar duurzame energiedragers te combineren, ontstaat een eerste beeld van de energiebalans van Curaçao. Wanneer wordt uitgegaan van een situatie waarin PV-panelen worden geïnstalleerd op 50% van de daken én er 100 MW aan windturbines wordt geïnstalleerd, zal de vraag naar (duurzame) elektriciteit het aanbod mogelijk nog steeds overstijgen, zie Figuur 1. Bovendien is de behoefte aan energie voor de (zeegaande) scheepvaart en luchtvaart zo groot en anders van vorm (geen elektriciteit), dat hieraan in dit scenario niet kan worden voldaan met op Curaçao opgewekte energie.

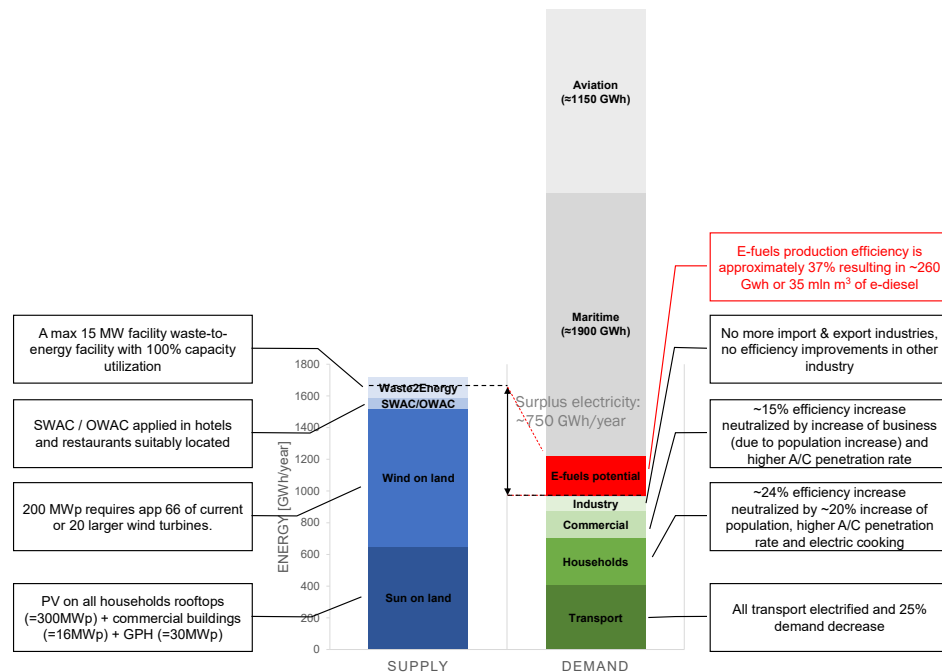


Figuur 1: Energiebalans als op 50% van alle daken PV wordt geïnstalleerd (150 MWp) en er 100 MW energie uit windturbines is.

In een scenario waarin op ongeveer alle daken PV wordt geïnstalleerd (ca. 300 MWp) en 200MW uit windturbines wordt ingezet, zal een netto energieoverschot ontstaan, zie Figuur 2.

Als eerste orde inschatting zou dat ongeveer 750 GWh/jaar kunnen bedragen¹. Als dit overschot wordt gebruikt voor de productie van e-fuels voor scheep- of luchtvaart, zou hiermee slechts een beperkt deel van de energiebehoefte van deze sectoren kunnen worden voorzien.

Opgemerkt dient te worden dat een overschot van duurzaam opgewekte elektriciteit zo goed mogelijk moet worden aangewend om curtailment (duurzame energieproductie actief verminderen) te voorkomen. Het ligt voor de hand om hiervoor een proces naar waterstof of mogelijk e-fuels na te streven, zodat de overtollige energie later alsnog nuttig kan worden gebruikt.



Figuur 2: Energiebalans als op ongeveer alle daken PV wordt geïnstalleerd (300 MWp) en er 200 MW energie van windturbines is.

Om volledig zelfvoorzienend te zijn (buiten de energiebehoefte van internationale lucht- en scheepvaart) zijn aanzienlijke inspanningen vereist voor het realiseren van zonnepanelen en windturbines. Dit is niet enkel een technische uitdaging, maar zeker ook op het gebied van organisatie, wetgeving, financiën en draagvlak.

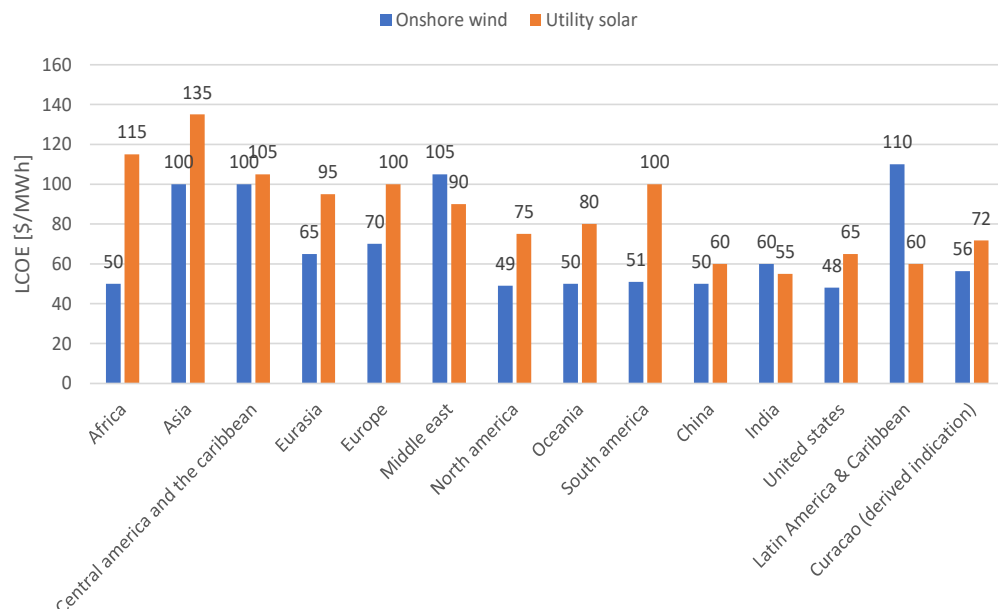
¹ Hierbij is geen rekening gehouden met onbalans tussen vraag en aanbod in tijd en plaats, omdat hiervoor een uitgebreide analyse voor moet worden verricht waarin bijvoorbeeld keuzes worden gemaakt voor de hoeveelheid (tijdelijk) opslagcapaciteit van elektriciteit.

3 LCOE en de productie van e-fuels en waterstof

Synthetische brandstoffen geproduceerd met elektriciteit, ofwel e-fuels, kunnen een belangrijke rol spelen in het terugdringen van de CO₂-uitstoot luchtvaart, scheepvaart en mogelijk ook voor zwaar wegtransport over lange afstand. E-fuels zullen naar verwachting een belangrijk deel van de energiebehoefte invullen voor internationale en intercontinentale lucht- en scheepvaart. Voor scheepvaart zou dit bijvoorbeeld e-methanol of e-diesel kunnen zijn, voor de luchtvaart e-kerosine.

De productiekosten van e-fuels zijn sterk afhankelijk van de kosten voor het opwekken van elektriciteit. Deze kosten worden ook wel aangeduid als de 'Levelized Cost Of Energy' (LCOE). De LCOEs vertegenwoordigen de gemiddelde kosten per eenheid opgewekte energie. Daarin wordt rekening gehouden met het bouwen en exploiteren van een energie-installaties zoals windturbines of PV-panelen. Kort door de bocht kan worden gesteld dat locaties met een hoge zonne- of windintensiteit een potentieel lage LCOE hebben.

In Figuur 3 zijn gemiddelde LCOEs opgenomen van een aantal regio's in de wereld². Dit zijn gemiddelde LCOEs van projecten die zijn ondernomen in deze regio's. Dat dit gemiddelde LCOEs zijn betekent dat er projecten zijn uitgevoerd met hogere en lagere LCOEs dan deze gemiddelden. De LCOEs voor Curaçao zijn afgeleid van de gegevens van Latin America & Caribbean en aangepast op basis van de zonne- en winduren op Curaçao. Hieruit komt een indicatieve LCOE voor Curaçao voor zon- en windenergie op Curaçao van respectievelijk 56 en 72 dollar per MWh.



Figuur 3: Gemiddelde LCOEs van onshore wind en zon in verschillende regio's. LCOEs voor Curaçao zijn afgeleid uit de waarden van Latin America & Caribbean. Uiterst rechts staan de LCOEs van Curaçao aangegeven. Bron: Irena – 2019.

² Irena cost database 2019.

De LCOE van Curaçao zijn daarmee gunstiger dan die in veel andere landen en werelddelen. Dit komt door de relatief hoge (jaargemiddelde) windsnelheden en relatief veel zonne-uren. Hieruit kan worden geconcludeerd dat de kosten van duurzaam opgewekte elektriciteit op Curaçao relatief laag kunnen zijn. Dit vereist wel dat de wind- en zonneprojecten een minimale schaalgrootte hebben en dat goed wordt onderhandeld over de installatie en exploitatiekosten.

Op een aantal locaties waar nog meer zon- en winduren zijn, zoals in woestijngebieden, kunnen de LCOEs lager liggen dan de gemiddelde LCOEs weergegeven in Figuur 3. Hetzelfde geldt voor locaties met potentieel veel en gemakkelijk beschikbare ruimte waar een schaalvoordeel geldt. Op dergelijke locaties kunnen e-fuels worden geproduceerd tegen relatief lage kosten. Aangezien de transportkosten voor (vloeibare) e-fuels, maar een beperkt deel uitmaken van de totale ketenkosten en er over de hele wereld behoefte aan zal zijn, zal het een mondiale markt worden. Op prijs zal Curaçao in deze markt voor e-fuels naar verwachting lastig kunnen concurreren met dergelijke locaties met lagere LCOEs en minder schaalgroottebeperkingen.

Ten opzichte van (vloeibare) e-fuels kent waterstof relatief hoge transportkosten (vanwege lage energiedichtheid). Het is daarom wenselijk om waterstof te gebruiken dicht in de buurt waar het geproduceerd wordt (tenzij er een infrastructuur voor pijpleidingen is). Bovendien zijn waterstofproductiekosten minder gevoelig voor schaalgrootte doordat de belangrijkste kostenposten (electrolyser en opslag) ongeveer lineair schalen met de productiecapaciteit.

De hoge transportkosten van waterstof en beperkte gevoeligheid voor schaalgrootte in combinatie met een relatief gunstige LCOE, maken dat de productie van waterstof een goede optie zou kunnen voor Curaçao. Voorwaarde is dan wel dat er een duurzaam energieoverschot is en dat er een goede toepassing voor de waterstof is. Mogelijke toepassingsgebieden voor waterstof zijn transport (in brandstofcellen of verbrandingsmotoren van zware wegvoertuigen) of de chemische industrie, bijvoorbeeld bij het verwerken van afval en Sargassum.

Kortom: Curaçao heeft gunstige condities om voor een goede LCOE duurzame elektriciteit te produceren. Deze elektriciteit óf de waterstof gemaakt met deze elektriciteit kan goed lokaal worden ingezet. De prijs van synthetische brandstoffen zal echter door de kleine schaal, te hoog zijn om op korte termijn succesvol te kunnen worden geëxporteerd.

4 Potentiële vervolgstappen

Uit deze resultaten is een aantal vervolgstappen te definiëren om verder uit te werken in een vervolgfase.

- **Elektriciteit- en Waterstofproductie op Curaçao: uitrol en planning**
Curaçao kan duurzame elektriciteit en waterstof gaan produceren voor lokale toepassing: de plannen hiervoor worden steeds concreter. In een vervolgproject zal moeten worden gekeken naar preciezere business cases, schaal en planning met in acht neming van de huidige elektriciteitsinfrastructuur.
- **Het gebruik van duurzame elektriciteit en waterstof op Curaçao: matching van vraag en aanbod en het opslagvraagstuk**
Wanneer de transitie wordt gemaakt naar alternatieve energiebronnen, vooral bronnen die fluctuerend zijn zoals wind en zon, is het essentieel de vraag en het aanbod op elkaar af te stemmen. Op momenten dat er veel duurzame elektriciteit wordt geproduceerd, maar deze niet nuttig kan worden ingezet omdat er op dat moment geen vraag is of omdat de elektriciteit niet naar de locatie kan worden getransporteerd waar deze wordt gevraagd, kan het waardevol zijn om deze energie op te slaan. Hiervoor zijn verschillende mogelijkheden, zoals waterstof, maar ook (stationaire) batterijen. Of waterstof de gunstigste manier is om deze surplus (tijdelijk) op te slaan kan verder worden onderzocht door een aantal verschillende configuraties van het energiesysteem te testen in de digital twin. Waarbij de onder andere de kosten en veiligheid van opslag in de vorm van waterstof worden vergeleken met opslag in batterijen. Bovendien zou dit inzicht kunnen geven in de hoeveelheid waterstof die kan worden geproduceerd.
- **De potentie van offshore wind**
Zoals eerder beschreven heeft Curaçao in het noorden van het eiland gunstige condities voor offshore wind. De potentie is niet verder onderzocht in deze studie. Het is nuttig om te kijken naar de opties van de productie van elektriciteit door middel van wind op zee.
- **De transitie van Curaçao op lange termijn**
Zoals hierboven al genoemd zijn transport (in brandstofcellen of verbrandingsmotoren van zware wegvoertuigen) en de chemische industrie (bijvoorbeeld bij het verwerken van afval en Sargassum) potentiële toepassingsgebieden voor waterstof op Curaçao. Echter zijn er meerdere mogelijke toepassingen van waterstof. Verder zal de energievraag van Curaçao over de jaren veranderen, zal innovatie zorgen voor veranderingen en zal de mondiale markt voor waterstof zich gaan vormen. Er is hier een korte termijn en een lange termijn visie noodzakelijk voor een optimale verduurzaming van Curaçao.

5 Conclusies

- Curaçao heeft een groot potentieel aan duurzaam opgewekte energie uit zon en wind en kan op termijn waarschijnlijk zelf in haar eigen duurzame energie voorzien (afgezien van internationale lucht- en scheepvaart). Om dit te realiseren, zijn aanzienlijk inspanningen vereist die zowel politiek, juridisch, organisatorisch als technisch van aard zijn.
- De voor Curaçao berekende kosten voor duurzaam opgewekte energie – de Levelised Cost Of Energy– zijn 56 \$/MWh voor wind op land en 72 \$/MWh voor zon op land (indicatief). In vergelijking met andere locaties zijn deze LCOEs relatief gunstig, maar niet de laagste in de wereld.
- De combinatie van beperkte opschalingsmogelijkheden (ruimte) en LCOEs die niet de laagste zijn in de wereld, zal het voor Curaçao waarschijnlijk moeilijk zijn om op prijs concurreren in een mondiale e-fuels markt.
- Indien er een nuttige toepassing kan worden gevonden voor waterstof en er (op momenten) meer duurzame elektriciteit wordt geproduceerd dan gebruikt, kan energieopslag in de vorm van waterstof vanuit kostenperspectief interessant zijn. Vanwege de hoge transportkosten is import van waterstof relatief duur. Bovendien is de productie van waterstof maar beperkt gevoelig voor schaalgrootte, die beperkt is op Curaçao. Daarnaast is de LCOE op Curaçao relatief gunstig. Mogelijke toepassingsgebieden voor waterstof zijn transport (in brandstofcellen of verbrandingsmotoren van zware wegvoertuigen) of de chemische industrie, bijvoorbeeld bij het verwerken van afval en Sargassum.

6 Ondertekening

Den Haag, 17 september 2021

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'J. Dezaire', with a stylized flourish at the end.

Jeroen Dezaire
Research Manager SUMS

TNO

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'M. Verbeek', with a stylized flourish at the end.

Maarten Verbeek
Auteur