

KWR 2018.032 | Mei 2018

Power-to-X

Werken aan de energietransitie in Nieuwegein

Power-to-X

Werken aan de energietransitie in Nieuwegein

KWR 2018.032 | Mei 2018

Opdrachtnummer

40173-001

Projectmanager

Luc Palmen

Projectpartners

PitPoint, Waternet, Aveco de Bondt (dochter van VolkerWessels), Allied Waters

Kwaliteitsborgers

Frank Oesterholt, Emile Cornelissen (rapport)
Erwin Vonk (model)

Auteurs

Els van der Roest
Laura Snip
Martin Bloemendal
Ad van Wijk

Verzonden aan

Projectpartners



TOPSECTOR
WATER &
MARITIEM



PITPOINT
CLEAN FUELS



Aveco de Bondt
ingenieursbedrijf



ALLIED WATERS®

Dit project is mede gefinancierd uit de Toeslag voor Topconsortia voor Kennis en Innovatie (TKI's) van het ministerie van Economische Zaken.

Jaar van publicatie
2018

Meer informatie

Msc. Els van der Roest
T +31622937044
E els.van.der.roest@kwrwater.nl

Postbus 1072
3430 BB Nieuwegein
The Netherlands

T +31 (0)30 60 69 511
F +31 (0)30 60 61 165
E info@kwrwater.nl
I www.kwrwater.nl

KWR Watercycle
Research
Institute

KWR 2018.032 | Mei 2018 © KWR

Alle rechten voorbehouden.
Niets uit deze uitgave mag worden vervoelvoudigd,
opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand,
of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze,
hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën,
opnamen, of enig andere manier, zonder voorafgaande
schriftelijke toestemming van de uitgever.

Samenvatting

In de overgang van een fossiel naar een volledig duurzaam energiesysteem zullen opslag en transport van duurzame energie op mondiale, regionale en lokale schaal een steeds belangrijkere rol gaan spelen. In een energiesysteem met zon en wind als basis, is opslag noodzakelijk om een constante energielevering te kunnen waarborgen, zodat energie op de juiste tijd en plaats beschikbaar is. Duurzame elektriciteit, opgewekt door zonnepanelen en windturbines, zal daarom deels in andere vormen moeten worden omgezet en opgeslagen. Hiervoor zijn verschillende technologieën denkbaar, variërend van vliegwielen en batterijen tot hydropower, waterstof en warmte. Daarbij is het van belang om zowel naar opslagcapaciteit als opslagduur te kijken. In een land als Nederland, waar in de zomer meer zonne-energie wordt opgewekt terwijl er in de winter een hogere energievraag is, zal seizoensopslag van groot belang gaan zijn. Technologieën met een lange opslagduur en grote opslagcapaciteit zijn daarbij essentieel.

Om die reden is in dit Power-to-X-project onderzocht op welke wijze vorm kan worden gegeven aan een duurzaam energiesysteem in een wijk, dorp of stad waarbij – vanuit een duurzame energiebron – zoveel mogelijk door het jaar heen in de vraag naar elektriciteit, warmte en mobiliteit kan worden voorzien. Die duurzame energiebron is bijvoorbeeld een zonnepark of windpark. Het is de bedoeling dat de stroom van dit zonne- of windpark deels direct wordt gebruikt, maar ook voor een groot deel wordt omgezet in warmte en in waterstof. De duurzame elektriciteit (Power) wordt daarbij dus in andere producten (X = warmte en waterstof) omgezet, ten behoeve van een meer constante energielevering. Een ander voordeel van het Power-to-X-concept is dat hiermee netverzwaring van het elektriciteitsnet wordt voorkomen, wat anders nodig zal zijn om een overschot aan duurzame stroom te kunnen transporteren.

Het Power-to-X-concept in Nieuwegein

In dit project ligt voor de realisatie van het Power-to-X-concept de focus op Nieuwegein, waar de bouw van in totaal 12 MWp aan zonnepanelen op het zogenaamde WRK-terrein (Waternet/PWN) gepland staat. Voor een klein deel kan de geproduceerde elektriciteit worden benut voor de pompen die het water van het Lekkanaal naar de duinen pompen. Maar voor het overgrote deel van de elektriciteitsproductie moet een andere toepassing worden gevonden. Daarnaast is er nieuwbouw- en renovatie in de wijk Rijnhuizen gepland, op slechts 2 kilometer afstand van het zonnepark. De koppeling tussen deze wijk en het zonnepark was onderwerp van onderzoek. In de wijk worden in de komende jaren 1200-1500 woningen ontwikkeld. Omdat nog niet duidelijk is of al deze woningen op het Power-to-X-concept kunnen worden aangesloten, is in dit onderzoek gerekend aan de warmtevraag van 900 woningen. Daarnaast wil PitPoint een waterstoftankstation gaan ontwikkelen in de regio Utrecht, met een uiteindelijke capaciteit van ca. 200 kilogram waterstof per dag, wat overeen zou komen met ca. 600 personenvoertuigen. Er wordt onderzocht of het Power-to-X concept dit tankstation zou kunnen bevoorraden. Een andere onderzoeksvraag is of uit regenwater, opgevangen van de zonnepanelen het zonnepark en de daken van de woningen, demiwater kan worden gemaakt ten behoeve van de waterstofproductie en toepassingen in de woonwijk (zoals in de wasmachine en vaatwasser). Het onderzoek focust zich op de locatie Nieuwegein, maar zou op andere locaties ook kunnen worden toegepast, waarbij kan worden afgestemd op de lokale situatie.

Het Power-to-X-concept bestaat in feite uit vier onderdelen die geïntegreerd worden tot één systeem:

Warmte - Een deel van de duurzame elektriciteit wordt in warmte omgezet via een warmtepomp, uitgaande van oppervlaktewater (of lucht) als warmtebron. Door dat juist in de zomerperiode te doen als veel duurzame elektriciteit beschikbaar is, kan de warmtepomp zo efficiënt mogelijk werken. De warmte wordt geproduceerd op een temperatuur van 40-65°C en wordt ondergronds opgeslagen in een aquifer. In de winter wordt de warmte weer naar boven gehaald om daarmee woningen of gebouwen te verwarmen.

Waterstof - Een ander deel van de duurzame elektriciteit wordt geconverteerd naar (groene) waterstof door elektrolyse van demiwater. Waterstof kent vele toepassingen, maar in dit geval ligt de focus op mobiliteit. De waterstof wordt hiervoor opgeslagen in tube trailers en kan naar een tankstation worden gebracht, waarna auto's, bussen en andere voertuigen er op kunnen rijden.

Demiwater - Voor de productie van waterstof is ultrapuur water nodig dat wordt geproduceerd uit opgevangen regenwater van de zonnepanelen. Het opgevangen regenwater wordt tot gebruik in de ondergrond opgeslagen in een aquifer. Na de productie van waterstof is er nog een overschot aan demiwater, wat ook in woningen zou kunnen worden toegepast voor bijvoorbeeld de wasmachine en afwasmachine.

Elektriciteit - Als er na omzetting in warmte en waterstof nog elektriciteit over is, kan dit aan het openbare elektriciteitsnet worden terug geleverd. Doordat een groot deel van de opgewekte capaciteit in andere producten wordt omgezet, kan de aansluitcapaciteit op het elektriciteitsnet worden verminderd en worden op die manier kosten bespaard.

Het model en de scenario's

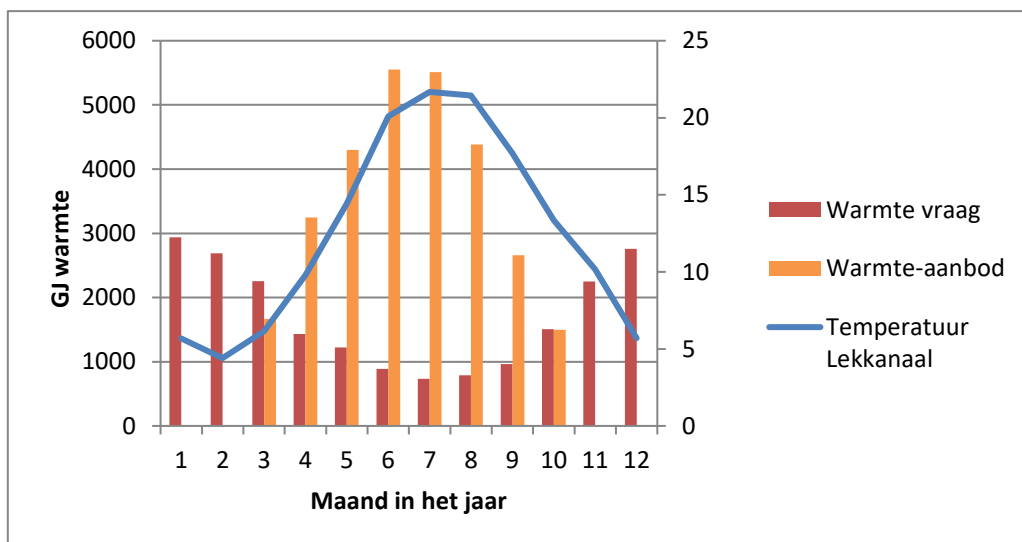
Ten behoeve van het Power-to-X-concept is een generiek dynamisch simulatiemodel ontwikkeld op uurbasis, waarin het aanbod van zon- en eventueel wind via conversie en opslag zijn gekoppeld aan de verschillende vraagpatronen voor warmte, waterstof en demiwater. Ook bestaat de mogelijkheid om stroom aan het elektriciteitsnet te leveren, of juist in te kopen. De hiërarchie voor de verdeling van de duurzame elektriciteit kan binnen het model worden gekozen en kan liggen bij de productie van warmte, of juist bij de productie van waterstof. Met het model kan zowel een energiebalans worden bepaald, als een economische analyse worden uitgevoerd.

Met dit model zijn verschillende scenario's doorgerekend. Het eerste scenario '*Wijk, zon, warmte prioriteit*' bevat gegevens over de casus in Nieuwegein op basis van 8,7 MWp aan zon, waarbij warmtelevering aan woningen prioriteit heeft. In het scenario '*Wijk, zon, waterstof prioriteit*' ligt de focus juist bij het produceren van zoveel mogelijk waterstof, waarbij ook stroom uit het net kan worden ingekocht. In het scenario '*Wijk, zon én wind*' zijn vijf windturbines aan de berekeningen toegevoegd, zodat de productie van waterstof met een factor zeven kan worden vergroot. Ten slotte is de woonwijk opgeschaald tot een *Stadsdeel* waarbij voornamelijk de invloed van schaalgrootte op de economische analyse is onderzocht.

Power-to-X voor een woonwijk

In alle scenario's kan op jaarbasis aan de vraag naar warmte en waterstof worden voldaan, met de opwekking van ca. 7400 MWh aan zonne-energie uit het zonnepark. Regenwater opvang op de zonnepanelen en op de daken van woningen is ruim voldoende voor de beoogde waterstofproductie en voor het voorzien van de woningen met een tweede waterkwaliteit via een demiwaternet. Er is zelfs regenwater over om in de zomer te gebruiken voor besproeiing van gewassen of gras.

In de zomermaanden kan met een warmtepomp van 2,5 MW, die gebruik maakt van het water van het Lekkanaal als warmtebron en elektriciteit van het zonnepark, voldoende warmte worden geproduceerd en opgeslagen op 65 °C in een aquifer, om in de winter aan de warmtevraag van de woonwijk te kunnen voldoen. De warmtevraag van de 900 woningen per jaar is 20,4 TJ. Om aan deze warmtevraag te voldoen is er 28,8 TJ aan warmte in het aquifer opgeslagen, hetgeen betekent dat tijdens opslag en transport 30% warmteverlies optreedt. Alleen zonne-energie is hiervoor dus voldoende, maar het is ook een optie om een deel van de elektriciteit uit het elektriciteitsnet te onttrekken om het energieniveau van de aquifer op peil te houden, zoals in het scenario 'Wijk, zon, waterstof prioriteit'. Figuur 1 laat duidelijk zien dat de opslag van warmte de mismatch tussen vraag en aanbod van zonne-energie wegneemt. Ook wordt de warmte efficiënter geproduceerd in de zomer dan in de winter, omdat de temperatuur van het Lekkanaal dan beduidend hoger ligt.



FIGUUR 1 WARMTEVRAAG EN WARMTEAANBOD (LINKER Y-AS) IN 'WIJK, ZON, WARMTE PRIORITEIT' SCENARIO, INCLUSIEF DE TEMPERATUUR VAN HET LEKKANAAL (BRON VOOR DE WARMTEPOMP), OP DE RECHTER Y-AS.

In elk scenario wordt op jaarbasis meer dan voldoende waterstof geproduceerd (ca. 85 ton) om aan de vraag van een tankstation van 200 kg/dag te voldoen. Er is zelfs sprake van een overschot aan waterstof (van ca. 15 ton). In het scenario 'Wijk, zon, warmte prioriteit' bestaat echter wel een tekort aan waterstof in de winter, wat aangevuld kan worden door of stroom uit het net in te kopen, of waterstof in te kopen van derden.

In het onderzoek is de CO₂-emissie reductie bepaald door de functie van de producten uit Power-to-X te vergelijken met de CO₂-emissie van de op dit moment meest gebruikelijke invulling van die functie. Duurzame warmte is hiervoor vergeleken met warmte uit aardgas

via een cv-ketel, rijden op waterstof is vergeleken met het rijden op benzine en voor stroom is een gemiddelde waarde van CO₂ emissie van stroom in het Nederlandse elektriciteitsnet gebruikt. Hieruit blijkt dat bij het realiseren van een Power-to-X-systeem in een woonwijk 5-10% meer CO₂ kan worden bespaard dan wanneer de groene stroom uit de zonnepanelen alleen in de vorm van elektriciteit zou zijn gebruikt. Wanneer veel waterstof wordt geproduceerd (*scenario 'Wijk, zon én wind'*), neemt dit verschil af, en wordt er minder CO₂ bespaard in vergelijking met direct gebruik van de groene stroom. Voor warmte is de CO₂ besparing dus relatief groter dan voor waterstof, maar daarbij zijn andere vormen van uitstoot (bijv. NO_x en fijnstof) niet meegenomen.

De investeringen voor het Power-to-X-project op de schaal van 900 woningen en een tankstation van 200kg/dag zijn ca. 13 miljoen euro (zie Tabel 1). In deze kosten zijn de investeringen voor het zonnepark zelf niet meegenomen, omdat de investering hiervoor onafhankelijk van het project wordt gefinancierd. In plaats daarvan is gerekend met een inkoopprijs voor elektriciteit, die is meegenomen in de jaarlijkse kosten. De investeringen voor een waterstoftankstation zijn wel meegenomen. De jaarlijkse inkomsten uit de verkoop van warmte, waterstof en demiwater liggen rond de 1,2 miljoen euro, en de kosten voor onderhoud, inkoop van stroom en transport van waterstof zijn ca. 0,3 miljoen euro per jaar. Als prioriteit wordt gegeven aan waterstof en stroom uit het elektriciteitsnet wordt ingekocht, verlaagt dit de terugverdientijd van 15,5 naar 14 jaar. Als ook vijf windturbines aan het project worden toegevoegd (investering opnieuw niet meegenomen, maar verrekend in de stroomprijs) ten behoeve van een sterk toenemende waterstofproductie, dan zijn de investeringskosten ca. 27 miljoen euro en halveert de terugverdientijd van het project. De onzekerheidsmarges in deze eerste economische analyses zijn 30%, en zullen in het vervolgproject nauwkeuriger worden gemaakt.

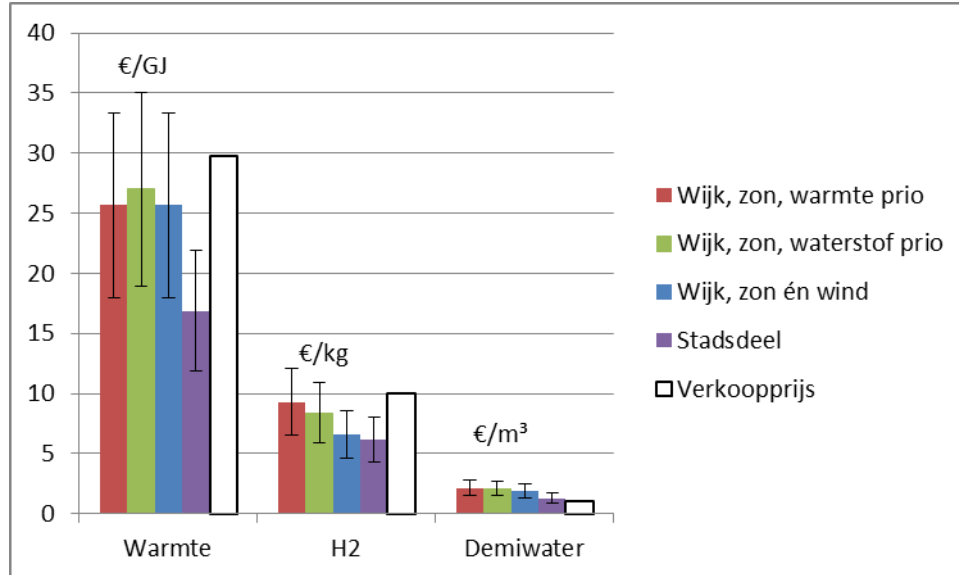
Bij het toepassen van het Power-to-X-concept op een stadsdeel zorgt de toegenomen schaalgrootte voor aanzienlijk lagere productieprijzen (zie Tabel 1 & Figuur 2). Met 8 windturbines van 3,2 MW en 60MWp aan zon kan de volledige energievoorziening voor verlichting, apparaten, mobiliteit en warmte worden vervuld voor 10.000 huishoudens. Daarnaast kan voor 90% van de huishoudens demiwater voor vaatwasser, toilet en wasmachine worden geleverd.

TABEL 1 OVERZICHT ECONOMISCHE ANALYSE POWER-TO-X SCENARIO'S

	Investeringen	Inkomsten	Onderhoud en transport	Simpele terugverdientijd
Wijk, zon, warmte prioriteit	13,0 M€	1.150 k€/j	275 k€/j	15,5 j
Wijk, zon, waterstof prioriteit	13,0 M€	1.230 k€/j	275 k€/j	14,0 j
Wijk, zon én wind	27,3 M€	5.020 k€/j	1.020 k€/j	7,0 j
Stadsdeel	83,5 M€	11.600 k€/j	1.700 k€/j	7,5 j

De berekende productieprijzen voor waterstof en warmte zoals weergegeven in Figuur 2 tonen aan dat er een marge is ten opzichte van de verkoopprijs voor deze producten. De productieprijs van warmte ligt in de wijk-scenario's rond de 26-27 €/GJ, terwijl de verkoopprijs voor warmte (inclusief vastrecht) bijna 30€/GJ is. Voor waterstof varieert de prijs sterker, door een hogere mate van inzet van de elektrolyser. De prijs voor waterstof inclusief productie, transport en tank infrastructuur is 9,4€/kg voor het scenario '*Wijk, zon, warmte prioriteit*', 8,7 €/kg voor het scenario '*Wijk, zon, waterstof prioriteit*'. Bij het

scenario 'Wijk, zon én wind' daalt de waterstofproductieprijs tot 6,0 €/kg. De huidige verkoopprijs van waterstof ligt op 10€/kg. Voor demiwater ligt de productieprijs altijd hoger (2,1 – 1,9 €/m³) dan de verkoopprijs van 1,0€/m³. Het effect hiervan op de totale business case is echter beperkt.



FIGUUR 2 PRODUCTIEPRIJZEN EN VERKOOPPRIJS VOOR DE POWER-TO-X SCENARIO'S

Een project als Power-to-X heeft een aantal voordelen die niet direct in de business case te verwerken zijn. Het gaat dan om vermeden kosten, zoals de besparing op de netaansluiting van het zonnepark en/of de woonwijk, de vermeden CO₂-emissies, verbetering van de luchtkwaliteit door elektrisch rijden en hogere mate van veiligheid in de woning omdat er geen gevaar meer is op bijvoorbeeld koolstofmonoxide vergiftiging. Als twee van deze posten (netaansluiting en CO₂- emissie besparing) wel in de vorm van lagere investeringen of jaarlijkse kosten in de business case zouden worden meegenomen, leidt dit tot een besparing van 30% in de productieprijs van warmte, en ruim 20% in de productieprijs van waterstof (zie Tabel 2). Deze analyse toont het belang aan van het uitvoeren van een Maatschappelijke Kosten Baten Analyse, die in het vervolgproject zal worden uitgevoerd.

TABEL 2 TOTALE VERMEDEN KOSTEN BEREKENING VOOR WARMTE EN WATERSTOF

	Productieprijs			Besparing (%) op productieprijs
	Zonder vermeden kosten (Wijk, zon, warmte prioriteit)	Met vermeden netkosten	Met vermeden netkosten en CO ₂ -emissie kostenbesparing	
Warmte	25,7 €/GJ	21,6€/GJ	18,0€/GJ	30%
Waterstof	9,4 €/kg	8,7€/kg	7,3€/kg	22%

Vervolg en aanbevelingen

Als onderdeel van Power-to-X-project is een start gemaakt met de marktontwikkeling voor waterstof en warmte, en voor beide producten zijn mogelijke afnemers gevonden. In het geplande vervolgproject zal nog meer focus komen te liggen op deze marktontwikkeling. Daarbij is het van belang om op te merken dat voor de realisatie van het Power-to-X-concept enige schaalgrootte vereist is. Voor de warmtevoorziening zijn ten minste 900 woningen noodzakelijk om het concept zowel technisch als economisch te laten slagen. De uitdaging is om hiervoor zoveel mogelijk partijen te enthousiasmeren (gemeente, projectontwikkelaars, toekomstige bewoners). Belangrijk daarbij is dat het nieuwe warmteconcept in beleid kan worden verankerd. Daarnaast is meer onderzoek nodig naar het effect van hoge temperatuur opslag in de bodem.

Het systeem en model kunnen nog verder worden uitgebreid en geoptimaliseerd, waarbij wordt toegewerkt naar een uiteindelijk systeemontwerp op basis waarvan daadwerkelijke investeringen gedaan kunnen worden. Daarnaast is het ook van belang om een organisatievorm te gaan ontwikkelen waarin de investeringen en jaarlijkse kosten en opbrengsten over verschillende partijen worden verdeeld. De bedrijfsstrategie van het systeem zal hier ook een belangrijk onderdeel van zijn, aangezien een voorkeur voor waterstof- of warmteproductie leidt tot hogere of lagere productieprijsen.

Met de onderzoeksresultaten zoals beschreven dit rapport heeft het Power-to-X-concept voldoende onderbouwing gekregen. Er is aangetoond dat een woonwijk kan worden voorzien in de behoefte aan warmte, mobiliteit en (een deel van het) huishoudelijk water. Het biedt aanknopingspunten om het concept verder te verdiepen, en vervolgens toe te werken naar realisatie, zowel in Nieuwegein als daarbuiten.

Na afronding van dit project is begin 2018 een vervolgproject van start gegaan waarin wordt toegewerkt naar een gedetailleerd systeemontwerp, met steun vanuit de Topsector Energie (TKI Urban Energy). Partners in dit project zijn Allied Waters, Aveco de Bondt (dochter van VolkerWessels), KWR, PitPoint, TU Delft en Waternet.