

Auteur Dr. T.W. (Theo) Fens; E. (Els) van der Roest MSc; prof.dr. A. (Ad) van Wijk.; Dr. N. (Niels) Hartog

SPX-project onderzoekt integratie van duurzame nutsfuncties

De energietransitie dicteert het gebruik van hernieuwbare energie voor wonen, werken en vervoer. Onderzoek laat zien dat lokale optimalisatie onder specifieke voorwaarden technisch en economisch voordelig kan zijn om die energietransitie te bereiken. Op wijkniveau wordt een geïntegreerde nutsfunctie onderzocht waarin groene elektriciteit, groene warmte, groene waterstof en regenwater worden gebruikt voor een koolstofarme energievoorziening. In dit artikel gaan we in op het ontwerp van zo'n geïntegreerde nutsfunctie en beschrijven de status van het onderzoek dat hierop tot dusver is uitgevoerd.

Sinds in Parijs in december 2015 het wereldwijde klimaatakkoord werd ondertekend heeft het overgrote deel van de mensheid met zichzelf afgesproken de opwarming van de aarde te beperken tot maximaal 2 graden Celsius en bij voorkeur tot 1,5 graad Celsius. De bepalende grootheid in dit akkoord betreft de CO₂ uitstoot, die moet in 2050 zijn teruggebracht tot 5% ten opzichte van 1990 en liefst naar nul. De EU heeft meegetekend voor dit klimaatakkoord en onze overheid heeft haar beleid hierop afgestemd: in 2030 moet Nederland zitten op 49% reductie van CO₂ uitstoot (t.o.v. 1990) en liefst 55%, in 2050 moet dit 100% reductie zijn. Vervolgens rijst de vraag: hoe gaan we dit realiseren?

Welnu, men wil af van aardgas en kolen voor verwarming, industriële processen en elektriciteitsopwek. Alternatieven hiervoor zijn groene brandstoffen, veel hernieuwbare elektriciteit, geothermie, warmtepompen, opslag van zowel warmte als elektriciteit en inzet van waterstof als energiedrager. Verder wordt mobiliteit in grote mate geëlektrificeerd: auto's gaan elektrisch rijden ofwel met batterijen ofwel op waterstof, beiden met een elektromotor. Ook hiervoor is hernieuwbare elektriciteit nodig. Deze verschuiving van fossiel naar hernieuwbaar kennen we als de energietransitie.

Dit is een enorme opgave waarbij er nog veel onduidelijk

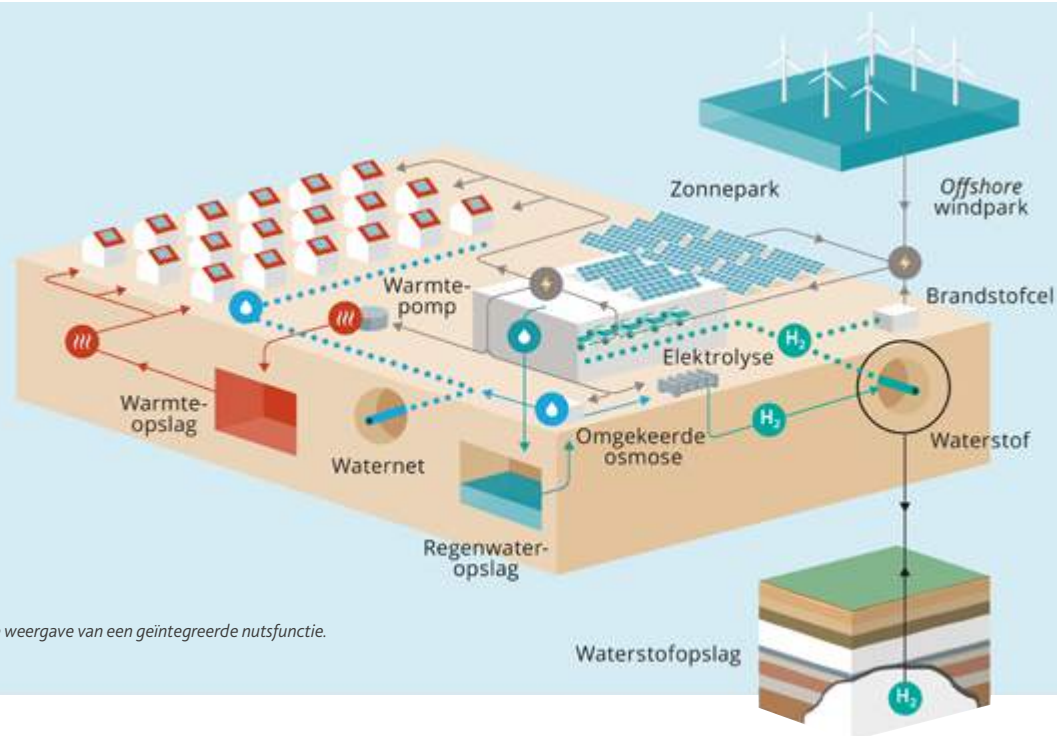
is, niet alleen wat betreft het genereren maar ook het transport en opslag van al deze energie, en dan met name elektriciteit. De verwachting is dat in de toekomst zowel sprake gaat zijn van grootschalige centrale opwekking, bijvoorbeeld met wind op zee en grootschalige zonneparken, als van meer decentrale opwekking op lokaal niveau middels zon op daken en wind op land. Hierdoor gaat er meer elektriciteit getransporteerd worden waarvoor het netwerk mogelijk verzaamd dient te worden wat investeringen vraagt. Dit brengt een andere vraag met zich mee: is het mogelijk combinaties te maken waarbij er lokaal geoptimaliseerd wordt, zodat het energietransport en daarmee extra investering in het bestaande elektriciteitsnetwerk beperkt kan blijven? Het idee is dat men zo dicht mogelijk bij de opweklocatie de energie gaat verbruiken dan wel opslaan voor later gebruik. Voor het beantwoorden van deze vraag zijn onderzoekers aan het werk gegaan.

Het onderzoek, wordt geleid door KWR (het Nederlandse onderzoeksinstituut voor de watercyclus) wordt uitgevoerd in samenwerking met de Technische Universiteit Delft, Pitpoint, Allied Waters, Aveco de Bondt en Waternet. Het onderzoek maakt deel uit van het TKI Urban Energy programma, en wordt mede gefinancierd door Topsector Energie van het Ministerie van Economische Zaken en Klimaat.

Het uitgangspunt voor het onderzoek is een realiseerbaar concept/ontwerp, waarin zo lokaal mogelijk voorzien kan worden in de behoeften voor warmte, elektriciteit, mobiliteit en water: kortom een geïntegreerde nutsfunctie. En dan het jaar rond en uiteraard hernieuwbaar, dus zonder CO₂-uitstoot. Onderstaande figuur 1 geeft die geïntegreerde nutsfunctie stilistisch weer.

Het Power to X-concept en het SPX-project

Het onderzoek richtte zich in eerste instantie op het Power to X-concept waarin conversie- en opslagmechanismen ervoor zorgen dat er seizoens-onafhankelijk voorzien kan worden in de behoeften aan warmte, elektriciteit, mobiliteit en een groot deel van het water op basis van hernieuwbare energie. Hiervoor worden overtollige



Figuur 1: Stilistische weergave van een geïntegreerde nutsfunctie.

zon- en windenergie omgezet in zowel warmte als waterstof, en vervolgens opgeslagen. Er is voor een specifieke casus onderzocht of dit concept fysisch, technisch en economisch kan worden gerealiseerd. Het antwoord op deze vraag was positief maar het concept moet nog wel concreet uitgewerkt worden.

Het Power to X-concept vormde daarom de grondslag voor een nieuw project: Systeemontwerp Power to X (SPX). In het SPX-project wordt het concept nader uitgewerkt, en wel zodanig dat een systeemontwerp gemaakt kan worden. In dit systeemontwerp wordt de volgende vraag beantwoord: aan welke eisen moeten de systeemcomponenten zoals bv de warmtepomp, de elektrolyser en de hiervoor benodigde elektrische- en warmte-infrastructuur voldoen? Op basis van dit systeemontwerp wordt helder wat er aan apparatuur en infrastructuur nodig is voor realisatie waarna uitgezocht kan worden wat er wel, en nog niet, op de markt verkrijgbaar is. Voor we verder ingaan op deze specifieke casus volgt eerst een meer gedetailleerde beschrijving van het Power-to-X concept.

De elektriciteit, de warmte en de waterstof

De elektriciteit moet van verschillende hernieuwbare bronnen komen: pv-panelen in zonneweides en windturbines, al dan niet in parken via het elektriciteitsnetwerk. Met name in de zomer wordt veel elektriciteit gene-

reerd door pv-panelen. Als al die elektriciteit via het netwerk afgevoerd zou moeten worden, zou een verzaamd netwerk nodig zijn. In het SPX-project wordt onderzocht of door lokaal verbruik gecombineerd met omzetting en opslag, netverzwaring vermeden kan worden. Een deel van deze elektriciteit wordt direct verbruikt. In de zomer is er echter een surplus aan pv-elektriciteit en als het hard waait aan wind-elektriciteit. Dit surplus wordt omgezet naar warmte en waterstof.

Een zonneweide heeft een dubbelfunctie, naast het opwekken van elektriciteit kan door de schuine opstelling van de pv-panelen regenwater opgevangen worden door middel van goten aan de onderzijde. Dit regenwater kan worden opgeslagen in een aquifer zodat er een buffer is voor latere beschikbaarheid zodat er later waterstof van gemaakt kan worden en voor gebruik in de woonwijk. Op een zonneweide van circa 10 MWp kan circa 50.000 m³ regenwater worden opgevangen, waarvan slechts een paar duizend kuub water nodig is voor waterstofproductie. Voor de woonwijk is dan nog het equivalent van circa 500 woningequivalenten aan drinkwatergebruik beschikbaar. Zon, wind en regen zijn daarmee de hernieuwbare bronnen in de geïntegreerde nutsfunctie.

Opslag en gebruik van warmte

Voor het genereren van warmte wordt een grootschalige warmtepomp gebruikt. Kleine warmtepompen in huis produceren de meeste warmte in de winter, en gebruiken dus

vooral stroom wanneer hernieuwbare elektriciteit minder overvloedig beschikbaar is. Door juist in de zomer een grote warmtepomp (MW-schaal) in te zetten die op een temperatuur van 40 tot 60°C warmte genereert en die vervolgens opslaat in een watervoerend pakket (aquifer), kan in de winter via een warmtenet veel directer in de warmtevraag van huishoudens worden voorzien. Deze vorm van warmte-opslag lijkt op WKO (warmte-/koude-opslag) maar in dit geval wordt alleen warmte opgeslagen waarvoor water met hogere temperatuur (>25 C) wordt geïnfiltreerd. Hierdoor wordt ook wel van HTO (hoge temperatuur opslag) wordt gesproken. Het gaat hierbij om opslag in aquifers, op enkele tientallen tot maximaal een paar honderd meter diepte. De bron voor de warmte wordt met de warmtepomp onttrokken aan lokaal oppervlaktewater.

Met de hogere temperaturen van oppervlaktewater in de zomer draagt deze warmtebron, een vorm van aquathermie, verder bij aan het duurzaam kunnen winnen van warmte. Daarnaast zorgt de hogere invoer temperatuur voor een hogere efficiëntie van de warmtepomp. De gewonnen warmte wordt vervolgens met een warmtewisselaar overgebracht op het uit de HTO onttrokken grondwater waarna het in de ondergrondse aquifer wordt opgeslagen.

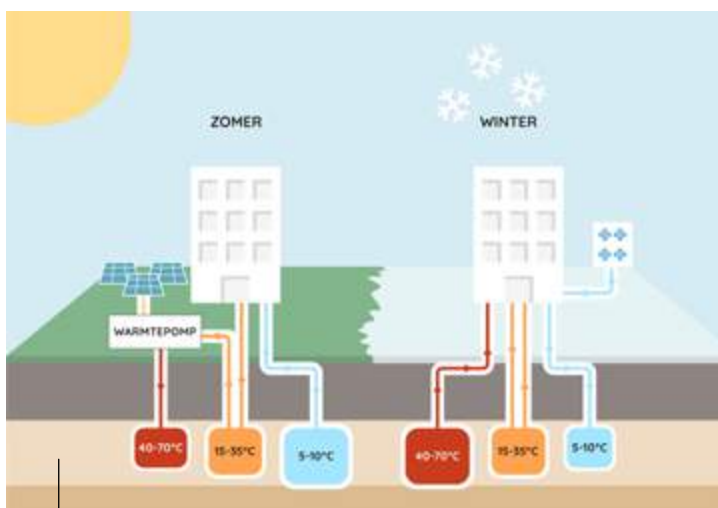
Waterstofproductie en verschillende functies van waterstof

Daarnaast wordt met een ander deel van de surplus elektriciteit waterstof gemaakt die opgeslagen en vervolgens gebruikt wordt voor brandstofcelvoertuigen (personen-

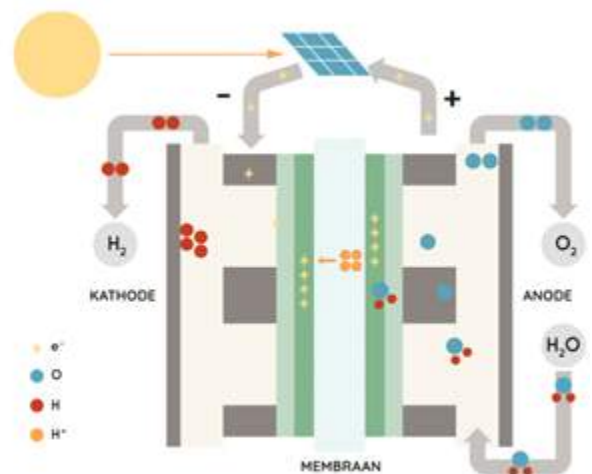
auto's, bussen en binnenvaart). Waterstof is een heel flexibele drager en opslagmedium voor energie. Waterstof kan CO₂-vrij geproduceerd worden met een elektrolyse installatie. Elektrolyse is een elektrochemisch proces waarin gedemineraliseerd water onder gelijkstroom wordt omgezet in waterstof en zuurstof. Waterstof wordt gecomprimeerd en opgeslagen. Zuurstof wordt bij kleinschalige processen direct weer aan de lucht vrijgezet. In een brandstofceltoepassing combineren waterstof en zuurstof uit de lucht weer tot water. Er gaat geen water verloren in deze keten.

Opgeslagen waterstof zal in eerste instantie gebruikt worden als vervanger voor fossiele transportbrandstof (benzine en diesel) die via waterstof tankstations aangeboden gaat worden. Echter, de waterstof kan ook gebruikt worden als vervanger van aardgas voor verwarming. Een dergelijk experiment/onderzoek wordt begin 2019 uitgevoerd door Stedin waarin bij huishoudens waterstofketels gebruikt gaan worden ter vervanging van de klassieke aardgasketel. Hiervoor hebben twee fabrikanten (Remeha en Bekeart) inmiddels hun standaard ketels aangepast voor waterstof. Voor grootschalige toepassing is recentelijk onderzocht of het bestaande aardgasnet bruikbaar zou kunnen zijn voor transport van waterstof. Dit blijkt mogelijk te zijn met enkele aanpassingen aan het netwerk.

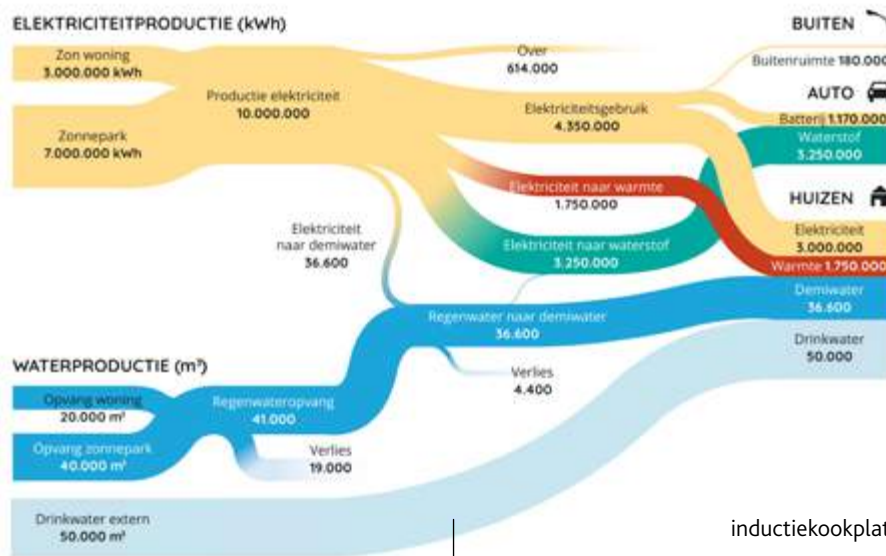
Een andere optie is om de opgeslagen waterstof in de winter te gebruiken om met brandstofcellen elektriciteit en warmte te genereren. Dit kan zelfs lokaal, op het niveau van een huishouden, plaatsvinden. Op die manier kan dan elektriciteit in de winter gegenereerd worden als de pv-panelen op de huizen niet voldoende opleveren. De warmte en de elektriciteit worden dan direct in het huishouden gebruikt. Dergelijke systemen zijn al op de markt beschikbaar, zij het dat deze op aardgas werken. In Japan zijn al enkele honderdduizenden systemen geïnstalleerd. Het mooie van



Figuur 2: Hoge temperatuur warmteopslag in de bodem.



Figuur 3: Elektrolyse is een elektrochemisch proces waarin gedemineraliseerd water onder gelijkstroom wordt omgezet in waterstof en zuurstof.



Figuur 4: De kentallen van de geïntegreerde nutsfunctie voor de virtuele casus.

dit soort brandstofcellen systemen is dat zij een “voorzetapparaat” hebben dat waterstof uit aardgas haalt, waarbij er uiteraard CO₂ vrijkomt. Echter als er een netwerk is dat waterstof kan leveren, bijvoorbeeld ons huidige aardgasnetwerk aangepast naar waterstof, dan is zo'n voorzetapparaat niet nodig omdat de brandstofcel direct op waterstof werkt. Dit maakt een dergelijk systeem toekomstvast omdat we dan ons aardgasnetwerk nog kunnen gebruiken. Tevens kunnen we het elektriciteitsnetwerk ontlasten, doordat er niet all-electric verwarmd hoeft te worden.

Op een wat grotere schaal kan gedacht worden aan een brandstofcellen systeem voor appartementen in een flatgebouw, of zelfs als warmtebron voor het warmtenet waarbij de warmte in het warmtenet geïnjecteerd wordt en de elektriciteit lokaal gebruikt kan worden, al dan niet ondersteund door een flinke batterij voor continuïteit. Omdat waterstof zich goed leent als energieopslagmedium is dit complementair met de hernieuwbare elektriciteitsopwekking met bijvoorbeeld pv-panelen. Op deze wijze kan het intermittency-effect (perioden zonder wind en zonneshijn) van zon en wind opgevangen worden.

Van wisselstroom (AC) naar gelijkstroom (DC)

Aan het systeemontwerp is nog een andere onderzoeksvraag toegevoegd: is het mogelijk om een dergelijk systeem te realiseren waarbij gelijkstroom (direct current, DC) gebruikt wordt in plaats van de traditionele wisselstroom (alternating current, AC)? Er zijn verschillende

redenen om naar DC te gaan. Zo leveren pv-panelen en windmolens DC, die normaliter omgezet wordt naar AC om de elektriciteit op het netwerk te kunnen invoeden. Ook een brandstofcel en een batterij leveren DC, die veelal naar AC wordt omgezet om deze elektriciteit te kunnen verbruiken. Deze DC/AC omzetting vraagt vermogenselektronica apparatuur en brengt verliezen met zich mee. Veel verbruikers zoals verlichting (leds), PC's, laptops, laders voor smartphones, laders voor elektrische auto's, monitoren,

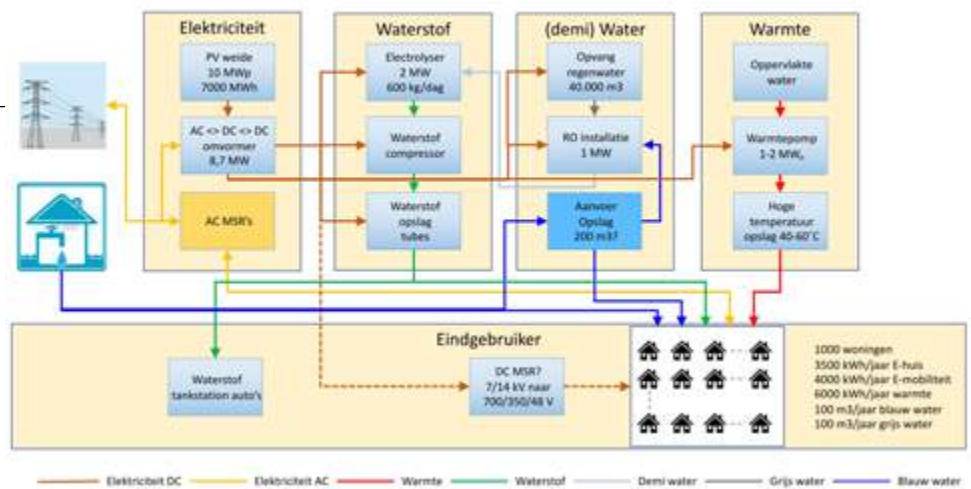
inductiekookplaten, wasmachines enz werken echter op DC. Dit geldt ook voor elektrolyzers (waterstof generatoren) en warmtepompen en zelfs voor de grote (frequentie gestuurde) drinkwaterpompen van Waternet (WRK, Watertransportmaatschappij Rijn-Kennemerland). Daarvoor moet de AC dan weer omgezet worden naar DC: AC/DC omvormers, waar ook weer vermogenselektronica voor nodig is en wederom verliezen met zich meebrengt. Als AC niet meer als tussenstap gebruikt wordt zijn overigens nog wel degelijk omvormers nodig voor de spanningsniveau aanpassing. Dit betreft DC/DC omvormers die minder verliezen hebben, en daarmee een hoger rendement, dan de gangbare DC/AC en AC/DC omvormers. Er is dan ook maar één stap nodig, en daarmee ook maar één apparaat, wat kostenbesparend werkt. Verder is er minder materiaal nodig om DC/DC omvormers te maken dan de gecombineerde DC/AC en AC/DC varianten, wat ook nog kostenbesparend werkt.

Economische analyse

Het systeemontwerp voor het realiseren van een geïntegreerde nutsfunctie is gebaseerd op twee vragen: 1) is de benodigde technologie op de markt verkrijgbaar en 2) tegen welke kosten is een dergelijke geïntegreerde nutsfunctie realiseerbaar? De kosten worden dan gesplitst in de benodigde investeringen (CAPEX, Capital Expenditure) en de operationele kosten (OPEX, Operational Expenditure). Om inzicht te krijgen in het financiële plaatje dient eerst onderzocht te worden welke systeemcomponenten gebruikt kunnen worden: bijvoorbeeld de warmtepomp, de elektrolyser, de opslag voor warmte, waterstof en elektriciteit, het warmtenet enz. Dit levert een schatting op van de benodigde investeringen. Vervolgens wordt gekeken naar de operationele kosten, wat kost de elektriciteit uit de zonneweide, wat zijn de kosten om de warmte op te slaan en tegen welke kosten kan waterstof gemaakt worden. Uiteindelijk vormen de CAPEX en OPEX de grondslag voor een belangrijke vraag: tegen welke prijzen

SPX overzicht functieblokken + 1^e orde kentallen, met netwerken

Figuur 5: Functioneel blokschema met de verschillende netwerken en de componenten op DC.



elektriciteit, warmte, waterstof en water aangeboden kunnen worden aan eindgebruikers? En niet onbelangrijk, tegen welke prijs dient er elektriciteit ingekocht te worden via het netwerk als het weer niet meewerkt en de opslagsystemen leeg zijn?

De virtuele casus als opmaat naar realisatie

Het SPX-project is feitelijk een optimalisatieproject, wat kan er lokaal geoptimaliseerd worden en hoe kan dit gaandeweg verder fijn geregeld worden om lokaal, zo hernieuwbaar als mogelijk, in de energiebehoefte te voorzien waarbij de resterend benodigde hernieuwbare energie dan van elders te verkregen wordt via netwerken. Hierbij zal lokale opslag een belangrijke rol spelen.

Aan de basis van het project ligt een zonneweide van circa 10 MW op het WRK-terrein in Nieuwegein, waar water uit het Lekkanaal wordt voorgezuiverd alvorens het verder naar de Amsterdamse Waterleidingduinen te voeren. Het water gaat door 3 grote leidingen van ongeveer 55 kilometer lang. Een deel van het water uit het Lekkanaal gaat naar PWN, het waterbedrijf van Noord-Holland. Een ander deel gaat naar grote bedrijven, zoals Tata Steel. Zij gebruiken dit 'industriewater' bijvoorbeeld om machines mee te koelen.

Een deel van de zonne-energie kan direct gebruikt worden door de op het terrein aanwezige installaties. Voor de surplus elektriciteit wordt onderzocht of een woonwijk van 1000-2500 woningen van warmte kan worden voorzien. Het plan is dat de warmte gebruikt gaat worden voor ruimteverwarming en tapwaterverwarming van huishoudens. De warmte zal worden geproduceerd met een 1-2 MW warmtepomp met het naastgelegen Lekkanaal als bron voor de warmte. Naar de condities voor een optimaal opslagrendement en de effecten van de warmteopslag op de bodem wordt momenteel nog onderzoek gedaan. Daarnaast wordt binnen het project de keten voor waterstof productie, transport en afname integraal bekeken, waarbij een schaal van circa 2 MW voor elektrolyse als uitgangspunt dient.

Om de voorgestelde casus en andere mogelijke configuraties van Power-to-X-concepten te kunnen doorrekenen is een rekenmodel ontwikkeld. Hiermee kan een veelheid van boven genoemde combinaties in een aantal simulaties worden doorgerekend. Dit laat dan zien welke configuraties voor bepaalde omgevingscondities, een sluitende vermogens- en energiebalans mogelijk maken. In onderstaande figuur 2 is het systeem weergegeven met kentallen voor energie en water op een schaal van 1000 woningen.

Het systeemontwerp voor de geïntegreerde nutsfunctie voor de (virtuele) casus gaat in eerste instantie uit van volledig AC, waarbij onderzocht wordt in hoeverre het technisch en economisch mogelijk is om dit ontwerp naar DC aan te passen. Veel systemen voor DC zijn nu al op de markt, zoals bijvoorbeeld led gebaseerde Openbare Verlichting (OV) voor in de wijk en laders van batterij elektrische auto's. In figuur 3 is een functioneel blokschema weergegeven waarin naast de netwerken in de geïntegreerde nutsfunctie in de casus wordt aangegeven voor welke componenten in het SPX-project DC voeding overwogen wordt.

Kortom, voor het optimaliseren van de geïntegreerde nutsfunctie wordt niet alleen onderzocht hoe de vermogens- en energiebalans (het technische deel) en het financiële plaatje (het economische deel) eruitzien, maar ook om de energetische- en kostenvoordelen bij het gebruik van DC in plaats van AC inzichtelijk te maken. Het uiteindelijke systeemontwerp vormt de grondslag voor het daadwerkelijk bouwen van nagenoeg koolstofvrije energievoorzieningen op het niveau van wijken.

Dit artikel is tot stand gekomen door de bijdragen van het voltallige SPX team: Els van der Roest, Jaco Reijkerk, Luc Palmen, Niels Hartog, Fabian Benschop, Stefan Mol, Luc Ponsioen, Frank Oesterholt, Jos Boere, Ad van Wijk en Theo Fens.