

Eindrapportage PPS-toeslag project

1. Gegevens project

1.1 Projectnaam	Smart Hydrogen Powered Local Energy System
Afkorting	SHPLES
1.2 Referentienummer	H02-26
1.3 PPS-toeslag jaar	2021
1.4 Betreft TKI/Programmalijn	Waterstoftechnologie 2021
1.5 Mede-aanvragers	TU Delft De Haagse Hogeschool Wintersol HyET Hydrogen (Nedstack)
1.6 Penvoerder	The Green Village
1.7 Startdatum	01-02-2022
1.8 Einddatum	30-06-2024 (incl. uitstel)
1.9 Rapportageperiode	01-02-2022 t/m 30-06-2024



Inhoudsopgave

1.	Gegevens project	pag 1
2.	Inhoudelijk eindrapport	pag 3
2.1	Samenvatting belangrijkste resultaten gehele project	pag 3
2.2	Aanleiding	pag 4
2.3	Doelstelling	pag 5
2.4	Werkwijze	pag 7
2.5	Resultaten	pag 15
2.5.1	Electrolyser in een systeem met hernieuwbare energie	pag 15
2.5.2	Brandstofcel in een systeem met hernieuwbare energie	pag 18
2.5.3	Systeemanalyse en hardware optimalisatie van waterstofopslagsystemen	pag 20
2.5.4	Benutten van warmte	pag 24
2.5.5	Systeembrede analyse	pag 27
2.5.6	EMS voor SHPLES	pag 28
2.5.7	Kosten SHPLES	pag 32
2.5.8	Veiligheids- en milieustudie	pag 34
2.6	KPI-tabel resultaten	pag 35
2.7	Discussie	pag 37
2.8	Conclusie & aanbevelingen	pag 37
3.	Uitvoering van het project	pag 39
3.1	Problemen en oplossingen tijdens project	pag 39
3.2	Toelichting op wijzigingen t.o.v. het projectplan	pag 39
3.3	Toelichting op verschillen tussen begroting en werkelijk gemaakte kosten	pag 40
3.4	Toelichting op wijze van kennisverspreiding	pag 40
3.5	Toelichting PR project en verder PR-mogelijkheden	pag 42

2 Inhoudelijk eindrapport

2.1 Samenvatting belangrijkste resultaten gehele project

Door de energietransitie zal het aandeel elektrische energie sterk stijgen. De vraag dringt zich op of het mogelijk is een betere balans tussen lokale en duurzame opwekking en verbruik te realiseren waardoor er minder transport op het netwerk nodig is. Hiervoor zal op slimme wijze lokale vraag en aanbod van duurzame energie op elkaar afgestemd moeten worden. Een oplossing voor het langdurige opslaan van duurzame energie (van zomer tot winter) is hierin een belangrijke schakel.

Binnen het 'Smart Hydrogen Powered Local Energy System' (SHPLES)-project maakten we gebruik van een compleet geïntegreerd duurzaam residentieel energiesysteem (opwek-opslag-gebruik). Een systeem dat zonnepanelen koppelt aan een hybride opslagsysteem dat energie opslaat in de vorm van elektriciteit in een batterij en in de vorm van waterstof in cilinders. Het prototypesysteem werd zo ontworpen en gebouwd dat het in de gebouwde omgeving kan worden gebruikt.

Het doel van het SHPLES-project was om een belangrijke stap te maken in de ontwikkeling van een hybride energieopslagsysteem voor gebruik in de wijk en gebruikmakend van waterstof. De waarde van het project zat in zowel het onderzoeken van hoe je slim groene waterstof produceert en hoe je met waterstof als opslagmedium om kan gaan in de gebouwde omgeving.

Tijdens het project was te zien dat de elektrolyser worstelde met een trage acceleratiesnelheid en een hoog minimaal vereist vermogen, waardoor het minder efficiënt was in het aanpassen aan de variaties in zonne-energie. Dit werd vooral duidelijk toen het 85 seconden duurde om op te starten van 60% naar 100% vermogen. Tevens was het interessant om te achterhalen hoe het systeem zelf zo min mogelijk energie zou kunnen gebruiken. Het stroomverbruik hangt niet alleen af van de elektrolyser, maar ook van de bijbehorende balance-of-plant (BOP), d.w.z. stroomomzetters, koelvlloeistofpompen, ventilatoren, kleppen en andere elektrische apparatuur. Daarbij viel in dit project op dat de elektrolyser efficiënter wordt bij een lagere productiesnelheid. Hier moet wel bij gezegd worden dat de verschillen miniem waren.

Wanneer zonnepanelen een plotselinge stroomdaling ondervinden door bewolking, kunnen twee strategieën de impact van dit soort korte termijnvariaties op een elektrolyser beheersen. De eerste is om de elektrolyser op hoge capaciteit te laten draaien en elektriciteit aan te vullen vanuit het elektriciteitsnet of een batterij. Bij de tweede strategie wordt de productie van de elektrolyser aangepast aan de beschikbare zonne-energie. De gekozen ontwerprichting moet per situatie worden bepaald en hangt samen met de gekozen elektrolyser en de specifieke doelen van het energiesysteem.

Voor het slim gebruikmaken van waterstof in de gebouwde omgeving kunnen we op basis van dit project stellen dat start-stop cycli van de elektrolyser zo veel mogelijk in aantal moeten worden beperkt en dat goede voorspellingen van de opwekking van zonne-energie essentieel zijn. Het slim starten en stoppen van elektrolyser is cruciaal, vooral op bewolkte dagen, om te voorkomen dat de limieten voor aan/uit-cycli worden overschreden.

Het werken met een *brandstofcel* onder variabele belasting is weliswaar goed mogelijk, maar gaat gepaard met een mogelijk nadeel in de vorm van versnelde degradatie. Een

analyse van de thermische efficiëntie geeft aan dat het systeem een bruikbare warmteafgifte van 37% genereert bij lagere vermogensniveaus, als aanvulling op de elektrische efficiëntie van 39,8% (waarbij de BoP 14,8% van het opgewekte vermogen verbruikt).

De *compressor* die in het SHPLES-systeem wordt gebruikt is een elektrochemische eenheid van HyET Hydrogen die zonder bewegende delen werkt, waardoor onderhoud en het risico's op lekkage worden beperkt. De opwarmtijd is afhankelijk van de omgevingsomstandigheden en varieert van 5-17 minuten. De compressor is energie-efficiënter bij hogere waterstofproductiesnelheden vanwege de vaste stroombelasting. Hoewel de compressor 20% van de energie voor de waterstofproductie voor zijn rekening neemt, kunnen er via het energiemanagementsysteem geen significante optimalisaties worden doorgevoerd, aangezien de compressor de output van de elektrolyser volgt. Energiebesparing door wijzigen van operationele parameters lijkt wel haalbaar, maar verder onderzoek is nodig naar de mogelijkheden.

Wanneer we kijken naar het *totale energieopslagsysteem* van SHPLES dan is het belangrijk om de conversieverliezen in de gaten te houden. Een relatief eenvoudig verbeterpunt is het voorkomen van de omzetting van gelijkspanning naar wisselspanning binnen het systeem. Dat lijkt een onnodige stap waarbij kostbare duurzame energie verloren gaat.

Ook in de *verhoudingen* van verschillende componenten valt veel te experimenteren. Hoeveel kleiner kan het waterstofdeel van het systeem zijn als er een grotere batterij wordt gebruikt? Hoe verhoudt de batterij zich tot de brandstofcel? Kan je de avondpieken opvangen door de batterij en de brandstofcel slim samen te laten werken?

Het SHPLES-systeem is geschikt gebleken voor het opslaan van zonne-energie van de zomer naar de winter. Er zijn nog veel vragen te beantwoorden en optimalisaties mogelijk en de kosten zijn nog relatief hoog. Daar staat tegenover dat seizoensopslag via batterijen (met de huidig beschikbare batterijtechnologieën) zowel qua kosten als ruimtegebruik geen realistisch alternatief vormt. In dit project stellen we ook vast dat het – in het kader van energie-efficiëntie – in vrijwel alle scenario's niet logisch is om voor korte termijnopslag waterstof te produceren. Je kan bij onvoldoende elektriciteit voor de zomernacht beter aanspraak maken op een grotere batterij dan de waterstofbuffer aanspreken.

2.2 Aanleiding

Door de energietransitie zal het aandeel van elektrische energie sterk stijgen. Bij aanvang van het project in 2022 werden al door Tennet en de Regionale Netbeheerders (RNB) capaciteitsproblemen op het elektriciteitsnet gemeld. Deze problemen zijn afgelopen jaren flink toegenomen. De vraag dringt zich op of het mogelijk is een betere balans tussen lokale en duurzame opwekking en verbruik te realiseren waardoor er minder transport op het netwerk nodig is. Hiervoor zal op slimme wijze lokale vraag en aanbod van duurzame energie optimaal op elkaar afgestemd moeten worden. Oplossingen voor langdurige opslag van duurzame energie (van zomer tot winter) zijn hierin essentieel.

Binnen het 'Smart Hydrogen Powered Local Energy System' (SHPLES)-project maakten gebruik van een compleet geïntegreerd duurzaam residentieel energiesysteem (opwekking-opslag-gebruik). Een systeem dat zonnepanelen koppelt aan hybride opslagsysteem dat energie opslaat in de vorm van elektriciteit in een batterij en waterstof in cilinders. Het

prototypesysteem werd zo ontworpen en gebouwd dat het in een gebouwde omgeving in een buurt of wijk kan worden gebruikt.

2.3 Doelstelling

Het doel van het SHPLES-project was om een belangrijke stap te maken in de ontwikkeling van dit slimme hybride energieopslagsysteem. Het consortium had voor de start van het project al een ontwerp gemaakt van de hardware setup en de belangrijkste componenten aangeschaft. Binnen het SHPLES-project gingen we het systeem optimaliseren en er slimme aansturing voor ontwikkelen. Dit moest leiden tot een systeem dat precies doet waarvoor het ontwikkeld is, namelijk het ontlasten van elektriciteitsnetwerk in de gebouwde omgeving door middel van lokale opslag. Deze lokale opslag zorgt voor energie leveringszekerheid en houdt de balans tussen energie vraag en aanbod in evenwicht.



Afbeelding: vooraanzicht van het SHPLES-systeem (foto Robert Kroonen)

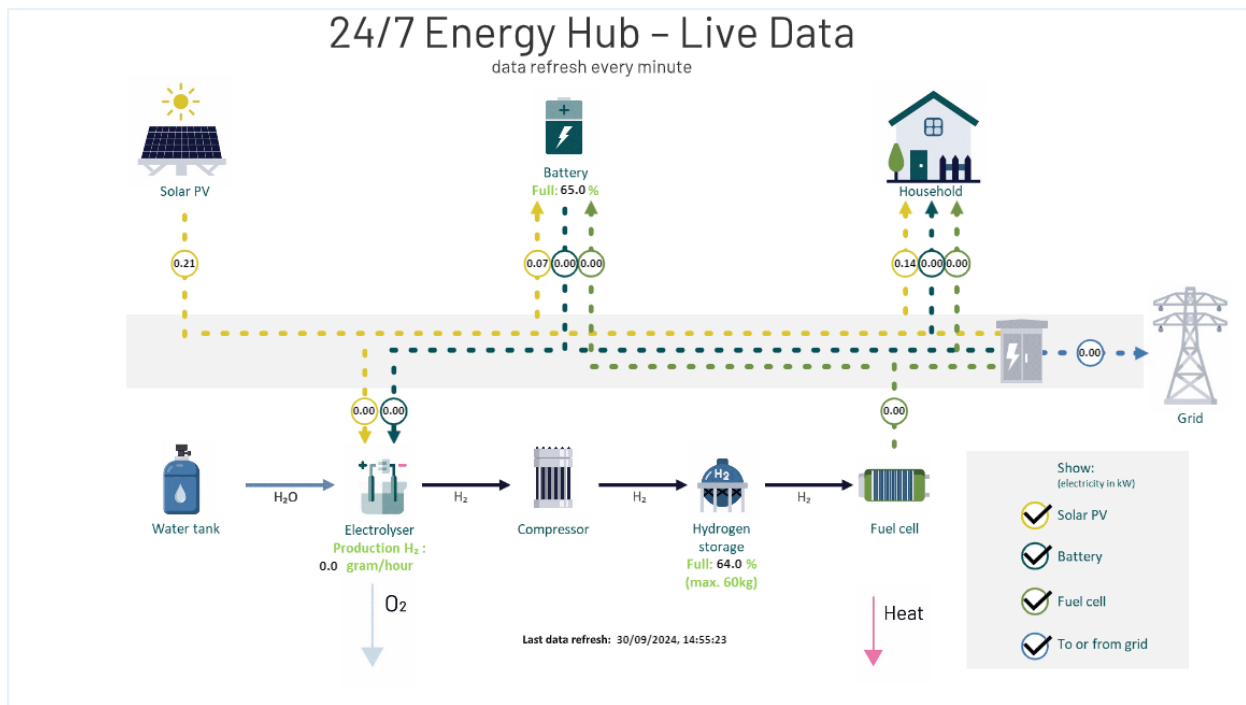


Afbeelding: binnenzijde van de 'operation room' met de elektrolyser, compressor en brandstofcel (foto Robert Kroonen)

Het decentrale energiesysteem:

Het systeem bestaat uit drie delen die worden gecombineerd. Ten eerste een PV-systeem dat lokale elektriciteit opwekt en opslaat in een batterij. Ten tweede een opstelling met een elektrolyzer, een compressor, opslagcilinders om het overschot aan zonne-energie om te zetten in waterstof en die energie voor langere tijd op te slaan als gecomprimeerde waterstof in opslagcilinders. Het derde deel maakt in de winter, wanneer de zonne-energie niet voldoende elektriciteit kan leveren en de batterij niet over voldoende capaciteit beschikt, gebruik van een brandstofcel om elektriciteit op te wekken uit de opgeslagen waterstof. De brandstofcel laadt de batterij weer op om de gebruiker van elektriciteit te voorzien.

Het prototypesysteem is gedimensioneerd op een 1-persoonshuishouden het hele jaar door van duurzame energie te voorzien. Het gehele systeem wordt aangestuurd door een besturingssysteem om te allen tijde en onder alle omstandigheden een betrouwbare levering van elektrische energie te garanderen (netvoedingskwaliteit).



Afbeelding: Screenshot van SHPLES-dashboard (zie www.thegreenvillage.org/24-7-energy-hub)

De besturing wordt gebaseerd op besluitvormingsalgoritmen en modellen die specifiek betrekking hebben op:

- 1) Prestatie van elektrolyzer in een systeem met variabele elektriciteitsvoorziening
- 2) Optimale combinatie tussen energieopslag in batterij en waterstofopslag
- 3) Consumptiepatronen van elektriciteit en waterstof in het lokale systeem
- 4) Optimale besluitvorming onder onzekerheid, inclusief op fasen gebaseerde dynamische optimalisatie
- 5) Online modelgebaseerde validatie van controlebeslissingen

2.4 Werkwijze

Er is een consortium gevormd met de volgende consortiumpartners:

1. The Green Village (penvoerder):

Het doel van Stichting Green Village is om Nederlandse bedrijven te helpen innovatieve duurzame technologieën versneld op de markt te brengen. Met een team van specialisten en een op de praktijk toegeruste onderzoekslocatie worden bedrijven ondersteund bij het ontwikkelen van nieuwe producten en diensten. Met name op het gebied van multistakeholder innovaties, zoals het ontwikkelen van een duurzaam decentraal lokaal energiesysteem is er een belangrijke rol weggelegd voor een onafhankelijke partij als The Green Village.

Hoewel The Green Village onafhankelijk heeft geopereerd binnen dit project van de TU Delft zijn de banden sterk en kan er wanneer nodig gebruik gemaakt worden van de wetenschappelijke kennis binnen de verschillende onderzoeksgroepen.

Bij dit project heeft The Green Village onder andere beroep gedaan op de onderzoeksgroep Electrical Sustainable Energy van de faculteit Elektrotechniek, Wiskunde en Informatica. De experts die binnen het project verantwoordelijk zijn voor de slimme aansturing van de SHPLES zijn onderdeel van deze onderzoeksgroep.

Naast de universiteit heeft The Green Village ook de netbeheerders Stedin, Alliander en Enexis op de hoogte gehouden van de vorderingen binnen het project. Verschillende onderdelen van de energie infrastructuur op The Green Village, zoals het waterstofleidingennet en het warmtenet, zijn eigendom van de netbeheerders en zodoende zijn zij dicht betrokken bij de activiteiten op The Green Village. Het decentrale energiesystemen van het SHLPES-project had hun speciale interesse omdat het wellicht kan helpen met de netcongestie problematiek.

Verder heeft The Green Village overeenkomsten met verschillende gemeenten waaronder de gemeente Delft. Gemeenten en ook de provinciale overheid hebben kennis nodig van dit soort systemen onder andere voor haar besluitvorming rondom vergunningverlening voor decentrale opwek en opslag.

Concreet leverde The Green Village voor dit project:

- Project- en systeemintegratie coördinatie
- Sensoring en data connectie
- Vergunningstraject
- Testfaciliteiten en -infrastructuur op het terrein incl. woningen waarop het systeem kon worden aangesloten

The Green Village heeft zelf geen eigen personeel. De coördinator van het project is in dienst bij de TU Delft maar is gedetacheerd aan The Green Village als Programma Manager Energietransitie. Vandaar dat deze kosten in de financiële afrekening zijn opgenomen bij de partner TU Delft. Hetzelfde geldt voor de datamanager. Ook deze persoon is in dienst bij TU Delft maar gedetacheerd aan The Green Village.



Afbeelding: Green Village rondleiding langs SHPLES (Lidewij van Trigt) (foto Robert Kroonen)

2. TU Delft - Faculteit Elektrotechniek, Wiskunde en Informatica (EWI)

De onderzoeksgroep Electrical Sustainable Energy van de faculteit Elektrotechniek, Wiskunde en Informatica (EWI) doet onderzoek naar nieuwe technologieën, componenten en methoden voor duurzame energiesystemen op het gebied van opwekking, distributie, opslag en gebruik. Een belangrijk deel van het onderzoek is de integratie van de individuele componenten en technologieën in systemen en de optimalisatie van systeemprestatie waarvoor intelligente netwerk managementsystemen worden ontwikkeld. De functie van deze intelligente besturingssystemen is om te allen tijde en onder alle omstandigheden een betrouwbare levering van elektrische energie te garanderen onder de voorgeschreven normen voor netvoedingskwaliteit (met name gezien de variabiliteit van de hernieuwbare energiebronnen).

Door deze functie te vervullen moet het de beperking van hernieuwbare (en daarmee inherente sterke fluctuaties) energiebronnen verminderen (milieudoelstelling), de kosten van energie-inkoop en netwerkgebruik verlagen (financiële doelstelling) en de stroom- en energie-uitwisseling met het distributie- en transportnet te verminderen (zelfvoorzieningsdoelstelling).

Concreet voor het project leverde de TU Delft:

- Wetenschappelijk kennis over ontwerp en prestatie van een lokaal energiesysteem met groene waterstof.
- Wetenschappelijke kennis over de methodes voor optimalisatie van energieprestatie van een systeem met waterstof (inclusief kennis over het optimaliseren van de werking van elektrolyzers).
- Wetenschappelijke kennis over aansturing van energiesystemen met kunstmatige intelligentieoplossingen ten behoeve van aansturing.
- Ervaring in het vertalen van aansturingtheorie, AI en optimalisatie naar de praktijk
 - Kennis en ervaring in het opzetten van een bruikbare en intuïtieve platformomgeving om optimalisaties uit te voeren door de gebruikers zelf

- Een cloud-based platform dat de data uit de verschillende deelsystemen en sensoren makkelijk koppelt en verwerkt



Afbeelding: Miro Zeman (TU Delft) in gesprek met partners over energy hubs (juni 2023)(foto Robert Kroonen)

3. Wintersol Energy

Wintersol Energy is een ontwikkelaar van duurzame decentrale energiesystemen. Systemen die zowel een rol kunnen spelen op locaties ver weg van het grid alsmede op juist hele drukke gridlocaties waar deze ontlast moet worden.

Wintersol fungeerde binnen het project als lead engineer van de hardware van het systeem en is tevens uitvoerder van modelleringstudies die aan het ontwerp ten grondslag liggen. Hierbij moet gedacht worden aan het succesvol balanceren van de energiestromen in de installatie en het maximaliseren van het gebruik van PV-energie.

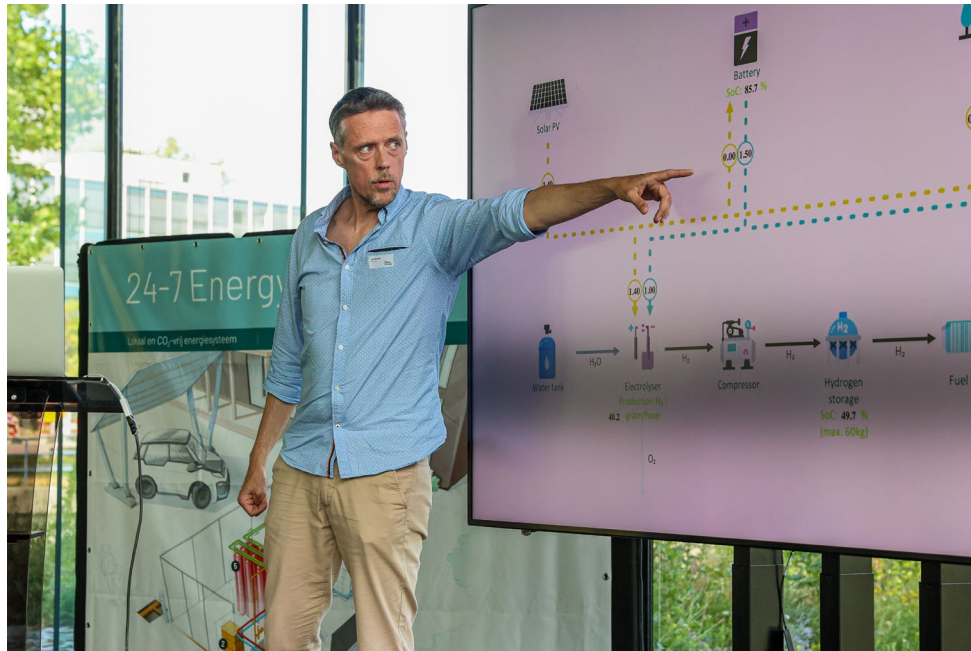
Het belang van dit project voor Wintersol is dat, door samen te werken met andere partijen en met kennisinstellingen, zij versneld haar kennis van kant en klare autonome energiesystemen aan de markt kan aanbieden en zo een bijdrage kan leveren aan het oplossen van de netcongestie problematiek.

Daarnaast biedt het te ontwikkelen systeem Wintersol ook de mogelijkheid verder te werken aan een plug en play oplossing voor lokale netcongestie problematiek doordat het systeem nu als geheel geoptimaliseerd en gedimensioneerd wordt. Dit verhoogt de betrouwbaarheid en snelheid waarmee zo'n systeem in de markt geïmplementeerd kan worden.

Concreet voor het project leverde Wintersol Energy:

- Het samenstellen en in bedrijf stellen van het systeem (koppelen van alle componenten).

- Beheer en optimale operatie van het systeem.
- Specialistische kennis voor het toepassen van optimalisatie technieken voor decentrale energiesystemen.
- Kennis met betrekking tot beheren en analyseren van energiestromen om het systeem realtime aan te kunnen sturen.



Afbeelding: Joel Bosrup (Wintersol Energy) licht het SHPLES toe tijdens een evenement (juni 2023) (foto Robert Kroonen)

4. HyET Hydrogen

HyET Hydrogen richt zich op de ontwikkeling, productie en verkoop van waterstofcompressors. Het assortiment van de HyET groep omvat een breed scala aan innovatieve systemen zoals elektrochemische waterstofcompressoren / zuiveringsinstallaties, elektrochemische SMR reactoren en PV-zonnepanelen (dunne-film technologie).

Het belang van dit project voor HyET is dat het haar beter in staat stelt haar nieuwe producten zo te integreren dat ze geschikt zijn voor toepassing in decentrale energiesystemen. Door nu mee te doen in dit project kan HyET nieuwe innovatieve compressie aansturingstechnieken testen in een decentraal energiesysteem. Eén van de specifieke uitdagingen waar HyET mee aan de slag gaat is hoe je de elektrochemische waterstofcompressor optimaal kan laten functioneren onder dynamische proces condities.

Concreet voor het project leverde HyET:

- Optimale werking van hun compressor binnen het geïntegreerde systeem
- Specialistische kennis met betrekking tot waterstofcompressie
- R&D uren

5. Nedstack

Nedstack richt zich op de ontwikkeling, productie en verkoop van brandstofcelssystemen. De producten van Nedstack zijn toe te passen in de applicaties waar lange levensduren missie kritisch zijn.

Door mee te doen in dit project kon Nedstack haar nieuwe brandstofcel aansturingstechnieken testen die speciaal ontwikkeld zijn voor toepassing in een decentraal lokaal energiesysteem in een woonwijk. Een van de specifieke uitdagingen waar Nedstack mee aan de slag wilde gaan is hoe je brandstofcelssystemen, die gevoed worden vanuit pure en groene waterstof, het meest optimaal in kan zetten voor gebouwtoepassingen waarbij zowel elektrische als thermische inzet van het systeem geoptimaliseerd worden.

Concreet voor het project leverde Nedstack:

- Specialistische kennis met betrekking tot brandstofceltechnologie.
- Specialistische kennis met betrekking tot de aansturing van het systeem ten einde de belasting op de andere systeemcomponenten te minimaliseren.
- Specialistische kennis met betrekking tot de thermische eigenschappen van het brandstofcelstelsel ten einde de efficiëntie te optimaliseren.
- R&D uren.

Helaas is Nedstack tegen het einde van het project failliet gegaan. De nog openstaande activiteiten van Nedstack zijn overgenomen door consortiumpartner Wintersol.

6. De Haagse Hogeschool

Het lectoraat Energy in Transition van De Haagse Hogeschool heeft als focus van zijn onderzoek: de balans tussen vraag en aanbod van duurzame energie en het slim regelen van die balans. Hiervoor worden op voorhand de gemiddelden tussen vraag en aanbod op elkaar afgestemd en door slim te regelen ook daadwerkelijk zo ingevuld.

De Haagse Hogeschool ontwikkelde hiervoor het "State of Energy" concept. State of Energy of SoE geeft hierin aan of er schaarste of overvloed is bij een bepaalde energiedrager. De slimme regeling stuurt aan de hand van de SoE-status haar Supply en Demand Side Management aan. Binnen dit project zal De Haagse Hogeschool zich richten op de nuttige toepassing van de warmte die ontstaat binnen het systeem (met name bij de brandstofcel).

Concreet voor het project leverde het lectoraat Energy in Transition van De Haagse Hogeschool kennis over:

- Specialistische kennis over systeemkeuzes (met name in de combinaties waterstof, warmte en elektriciteit)
- Kennis met betrekking tot lokale regel- en stuur mechanismes. Binnen dit project met een focus op de warmte technische kant, maar bezien vanuit het totale technisch systeemconcept.
- Kennis met betrekking tot warmteopslag dimensionering (en configuratie) in relatie tot piekbelasting en lange termijn-opslag en de andere vormen van opslag in het systeem.



Afbeelding: Het gehele consortium compleet bij het vieren van de eerste waterstof productie

Het consortium werkte in 3 werkpakketten, die elk weer uit een aantal activiteiten bestonden:

WP of Fase ²	Korte beschrijving	Categorie: IO of EO ³ (Per WP 1 categorie)	Uitvoerders (met namen) ⁴	Resultaat	Geplande begin- en einddatum ¹
WP1: Systemanalyse en optimalisatie	Activiteit 1.1) Analyse en modelering van het gedrag van elektrolyzer en brandstofcellen in een systeem met variabele elektriciteitsvoorziening	IO	Wintersol , TUDelft, Nedstack, HyET, HH	Een verbeterde configuratie van een lokaal energie systeem dat gebruik maakt van waterstof	van 1-1-2022 tot 30-6-2023
	Activiteit 1.2) Systemanalyse en hardware optimalisatie van waterstofopslagsystemen	IO	Wintersol , Nedstack, HyET		
	Activiteit 1.3) Configuratie warmte-opslag	IO	HH , Wintersol		
	Activiteit 1.4) Systeem brede analyse gericht op balans en efficiency	IO	Wintersol , TUDelft, HH, The Green Village		
WP2: Ontwikkelen slimme aansturing	Activiteit 2.1) Ontwikkelen geïntegreerd EMS voor het SHPLES-systeem	IO	TUDelft , Wintersol	Een datacollectie methode voor dit type systeem	van 1-7-2022 tot 31-12-2023
	Activiteit 2.2) Integratie aansturing elektrolyzer in EMS	IO	TUDelft , Wintersol		
	Activiteit 2.3) Integratie aansturing compressor in EMS	IO	HyET , TUDelft, Wintersol	Generiek en open-source EMS-platform	
	Activiteit 2.4) Integratie aansturing brandstofcel in EMS	IO	Nedstack , TUDelft, HH, Wintersol		
	Activiteit 2.5) Integratie aansturing warmtebuffer in EMS	IO	HH , TUDelft, Wintersol, Nedstack		
WP3: Haalbaarheid studie	Activiteit 3.1) Total cost of ownership vergelijking SHPLES systeem versus netverzwaring-investering	IO	Wintersol , The Green Village, TU Delft	Inzicht in kosten van dit type lokale energiesystemen	van 1-7-2022 tot 31-12-2023
	Activiteit 3.2) Inventarisatie SHPLES systeem kostprijsverlagende maatregelen/impact van schaalvergroting	IO	Wintersol , The Green Village, Nedstack, HyET	HSE-plan	
	Activiteit 3.3) Door ontwikkelen HSE plan en RI&E overzicht	IO	The Green Village , TUDelft, Wintersol, Nedstack, HyET, HH		

2.5 Resultaten van het project en mogelijkheden voor spin-off en vervolgactiviteiten

Dit soort projecten leiden tot een hele reeks interessante resultaten. Om de resultaten in een duidelijke structuur te kunnen aanbieden hebben we besloten hier niet te rapporteren aan de hand van de werkpakketten of alle onderliggende activiteiten. De resultaten van het project worden gepresenteerd aan de hand van de volgende inhoudelijke paragrafen die elk behandelen wat we geleerd hebben over bepaalde onderwerpen en wat we met betrekking tot dit onderwerp aanbevelen. In dit rapport is dit samengevat. De uitgebreide onderliggende rapporten opgetekend door de verschillende werkpakket en activiteitenleiders zijn terug te vinden als bijlagen bij dit rapport.

1. Electrolyser in een systeem met hernieuwbare energie
2. Brandstofcel in een systeem met hernieuwbare energie
3. Systemanalyse en hardware-optimalisatie van waterstofopslagsystemen
4. Benutten van warmte
5. Systeembrede analyse van SHPLES
6. EMS voor SHPLES
7. Kosten SHPLES
8. Veiligheids- en milieustudie

2.5.1 Electrolyser in een systeem met hernieuwbare energie

Bij opslag van hernieuwbare energie met behulp van waterstof vindt de productie van waterstof met behulp van een elektrolyser plaats wanneer hernieuwbare energie beschikbaar is. Het verbruik van waterstof in een brandstofcel voor de opwekking van elektriciteit en/of warmte gebeurt wanneer dat nodig is. Dit is de basis voor het Seizoensopslagsysteem (SHPLES) dat in The Green Village is gebouwd. Het SHPLES wordt ook aangevuld met een batterij om vraag en aanbod op korte termijn in evenwicht te houden. Zonne-energie is de enige energiebron voor de SHPLES. Het ontwerpdoel was om een gebruiker te voorzien van ononderbroken, lokaal opgewekte energie. Het systeem is zo ontworpen dat het off-grid kan werken, maar is momenteel aangesloten op het elektriciteitsnet voor energietransport en voor de verkoop van overtollige zonne-energie. Er is binnen het SHPLES project een uitgebreide analyse gemaakt over elektrolyse op zonne-energie; zowel vanuit een theoretisch perspectief met behulp van beschikbaar onderzoek als basis voor de achtergrondstudie, als vanuit een realistisch perspectief waarbij het gedrag van de SHPLES wordt geanalyseerd.

Beperkingen van electrolysers

Bij het produceren van waterstof uit zonne-energie met behulp van electrolysers is het noodzakelijk om rekening te houden met de kenmerken van zowel de energiebron als de beperkingen van de elektrolyser.

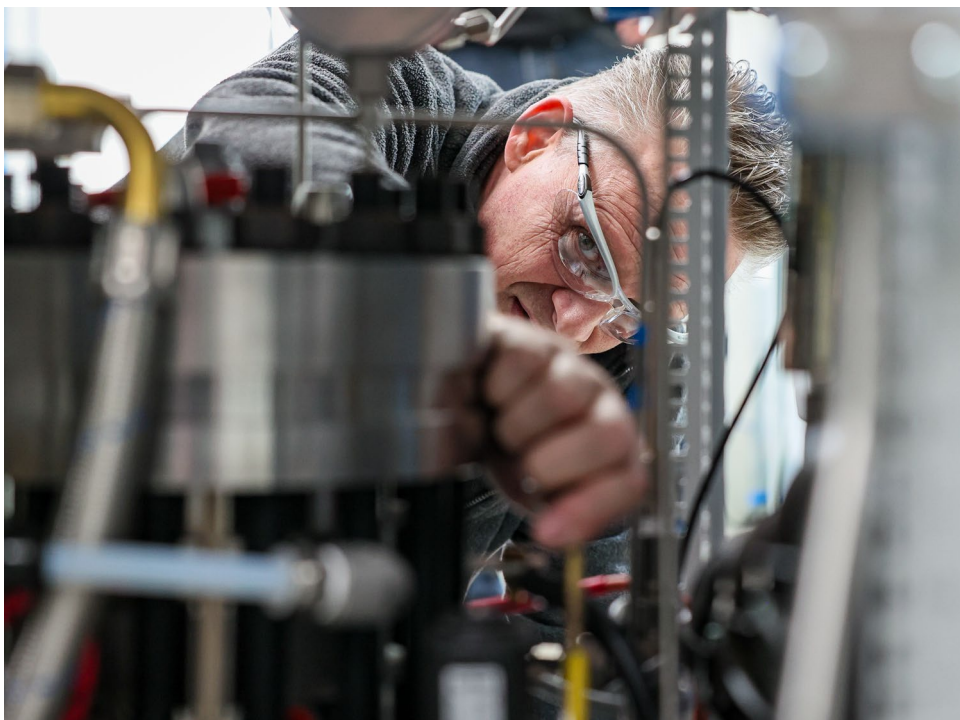
De literatuurstudie behandelt elektrolysertechnologieën (AEL, PEM, AEM) en hun *minimale productiesnelheden*. Over het algemeen heeft PEM de laagste minimale productiesnelheid, gevolgd door AEL en als laatste AEM. De 2,4 kW Enapter AEM elektrolyser die in SHPLES wordt gebruikt, kan werken van 60-100 % van het nominale vermogen. Dezelfde fabrikant heeft ook een 120 kW-eenheid een ondergrens van 12 % en een 1 MW-eenheid met 3 % ondergrens. De lagere minimumpercentages van de grotere eenheden zijn waarschijnlijk te wijten aan het feit dat ze uit meerdere parallelle elektrolyserblokken bestaan.

De *opstarttijd* omvat spoelen met stikstof, wat nodig is voor AEL en sommige PEM elektrolyzers, het opstarten van de regelsystemen, het opwarmen van de elektrolyser en het opbouwen van waterstofdruk in de elektrolyser en de leidingen. In de literatuur wordt onderscheid gemaakt tussen een koude en een warme start. Een koude start vindt plaats als de elektrolyser lang genoeg is uitgeschakeld om op omgevingstemperatuur te komen. Een warme start kan plaatsvinden na een korte onderbreking van de waterstofproductie, of als de elektrolyser warm wordt gehouden door middel van een externe warmtebron. De intermitterende aard van zonne-energie betekent dat de elektrolyser (minstens) één keer per dag koud moet worden gestart. PEM elektrolyzers hebben een snellere opstarttijd in vergelijking met AEL. Alle technologieën produceren waterstof tijdens het opwarmen, aangezien de productie langzaam toeneemt met de temperatuur van de elektrolyser.

Hoewel er consensus bestaat in de literatuur dat *aan/uit-cycli* een negatieve invloed hebben op de levensduur van elektrolyzers, toont één studie aan dat korte stroomonderbrekingen een regeneratief effect kunnen hebben. Fabrikanten geven over het algemeen geen maximaal aantal mogelijke aan/uit-cycli voor hun producten. De aanbeveling is om ze tot een minimum te beperken. Naast de extra slijtage gaat het starten en stoppen van een elektrolyser ook gepaard met waterstofverlies door het benodigde spoelen.

De *af- en opschalingssnelheid* van de elektrolyser bepaalt hoe goed deze een variabele stroombron kan volgen. Uit het literatuuronderzoek blijkt dat PEM-elektrolyzers in dit opzicht over het algemeen een voordeel hebben ten opzichte van AEL en AEM. Het afbouwen gaat vaak sneller dan het opvoeren. Enapter stelt dat het veranderen van de productiesnelheid binnen het toegestane interval geen invloed heeft op de levensduur van hun elektrolyzers.

Het stroomverbruik voor een bepaalde productiesnelheid hangt niet alleen af van de elektrolyser, maar ook van de bijbehorende balance-of-plant (BOP), d.w.z. stroomomzetters, koelvloeistofpompen, ventilatoren, kleppen en andere elektrische apparatuur. Enapter stelt dat er een lineair verband is tussen *energieverbruik en productiesnelheid*, wat aangeeft dat hun BOP zich aanpast aan de ingestelde snelheid. Volgens het literatuuronderzoek lijkt dit niet bij alle elektrolyzers het geval te zijn.



Afbeelding: lek-en druktesten van de waterstofcomponenten in SHPLES (mei 2023) (foto Robert Kroonen)

Afstemming tussen de capaciteit van zonnepanelen en de grootte van elektrolyzers

Een goede afstemming tussen de capaciteit van zonnepanelen en de grootte van elektrolyzers is essentieel om onderbenutting of energieverpilling te voorkomen. Een PV-systeem van 1 kWp zal zelden 1 kWh elektriciteit per uur opwekken, vooral in minder zonnige delen van de wereld zoals Nederland. Als de capaciteit van het PV-systeem en de elektrolyser 1:1 op elkaar worden afgestemd, betekent dit dat de elektrolyser onderbenut zal zijn, zelfs in de zomer.

In sommige literatuur wordt de *capaciteitsafstemming VRE:E* genoemd; de verhouding tussen de capaciteit van de variabele hernieuwbare energie (VRE) en de capaciteit van de elektrolyser. Een PV-systeem van 10 kWp gekoppeld aan een elektrolyser van 5 kW heeft een VRE:E-verhouding van 2,0. De VRE:E-factor in SHPLES is 2,5. De reden voor het te grote zonnepanelensysteem is dat het niet alleen verantwoordelijk is voor het voeden van de elektrolyser, maar ook voor het opladen van de systeembatterij en het voeden van de gebruiker.

Wanneer zonnepanelen een plotselinge stroomdaling ondervinden door bewolking, kunnen twee strategieën de impact van dit soort *korte termijnvariaties* op een elektrolyser op zonne-energie beheersen. De eerste is om de elektrolyser op hoge capaciteit te laten draaien en de energie aan te vullen met het elektriciteitsnet of een batterij, zodat de werking stabiel blijft en de waterstofopbrengst toeneemt. Deze optie kan echter de kosten verhogen vanwege het gebruik van het elektriciteitsnet of de noodzaak om in de batterij te investeren. Bij de tweede strategie wordt de productie van de elektrolyser aangepast aan de beschikbare zonne-energie, waardoor de kosten worden verlaagd doordat externe energiebronnen worden vermeden, maar er gelden beperkingen met betrekking tot de minimale productiesnelheden en aanlooptijden.

Lange termijnvariaties in de beschikbare zonne-energie kunnen worden onderverdeeld in dagelijkse en jaarlijkse schommelingen, waarmee rekening moet worden gehouden bij het regelen van een elektrolyser op zonne-energie. Dagelijkse schommelingen vereisen dat de elektrolyser 's nachts wordt uitgeschakeld, omdat het duur zou zijn om de minimale energiebehoefte te handhaven. Dat kan efficiënter via het elektriciteitsnet of batterijen. De timing voor het starten en stoppen van elektrolyser is cruciaal, vooral op bewolkte dagen, om te voorkomen dat de limieten voor aan/uit-cycli worden overschreden. Verschillende technologieën, zoals PEM, AEL en AEM, bieden verschillende flexibiliteit op basis van hun minimale stroomvereisten. Bij jaarlijkse variaties moet gedacht worden aan verminderde zonne-energie in de winter, waarbij het inefficiënt kan zijn om de elektrolyser te laten werken. In dergelijke gevallen kan het praktischer zijn om prioriteit te geven aan het opladen van batterijen boven waterstofproductie of een kosten-batenanalyse uit te voeren om het draaien van het systeem te rechtvaardigen.

Ontwerpkeuzes elektrolyser bij SHPLES

Het SHPLES is een energiehub, waarbij het ontwerpdoel is om een gebruiker het hele jaar door te voorzien van 100% lokaal geproduceerde hernieuwbare energie. In deze omgeving werkt de elektrolyser altijd batterij-ondersteund. In SHPLES wordt de dagelijkse timing van het in- en uitschakelen van de elektrolyser bepaald door een paar basisregels.

De elektrolyser wordt ingeschakeld als aan alle onderstaande criteria wordt voldaan:

- De ladingstoestand van de batterij is meer dan 80%
- Er is meer dan 1kW zonne-energie beschikbaar (gemiddelde van 1 minuut)

- De tijd van de dag is nog geen 12.00 uur
- De elektrolyser heeft vandaag nog niet gedraaid

De elektrolyser wordt uitgeschakeld als aan een van de onderstaande criteria wordt voldaan:

- De lading van de batterij daalt onder 65%
- Er is minder dan 50W zonne-energie beschikbaar

Deze basisregels zijn bepaald door het modelleren en simuleren van het systeem gedurende een periode van 16 jaar. Dit ontwerpwerk is door Wintersol uitgevoerd als onderdeel van de voorstudie naar de grootte van een energiehub.

De elektrolyser mag alleen werken van 15 maart tot 15 oktober. Dit is gebaseerd op simulaties met zonne-energiegegevens voor Delft. De simulaties bepaalden dat het gebruik van de elektrolyser buiten deze data de algehele efficiëntie van het systeem verlaagt. Vanwege de beperkte hoeveelheid zonne-energie die in de winter beschikbaar is, is het efficiënter om deze beperkte energie te gebruiken om de batterij te laden.

Hoewel dergelijke eenvoudige regels betrouwbaarheid en robuustheid bieden, zullen ze soms ongewenste resultaten genereren. In de simulaties komt het bijvoorbeeld voor dat de elektrolyser vroeg in de middag uitschakelt vanwege bewolking en dat de ladingstoestand van de accu de ingestelde ondergrens bereikt, maar dat het weer even later opklaart en de mogelijkheid biedt voor veel meer bedrijfsuren. Dit kan worden voorkomen door de regels aan te vullen met PV-voorspellingen.

Electrolyser testuitkomsten

Er werden twee tests uitgevoerd om te evalueren hoe de elektrolyser de zonne-energieoutput kon volgen, een op een zonnige dag en een andere op een bewolkte dag. Op de zonnige dag kon de elektrolyser niet alle beschikbare zonne-energie benutten, terwijl op de bewolkte dag de beschikbare zonne-energie vaak lager was dan de minimale behoefte van de elektrolyser. De resultaten toonden aan dat de elektrolyser worstelde met een trage acceleratiesnelheid en een hoog minimaal vereist vermogen, waardoor het minder efficiënt was in het aanpassen aan de variaties in zonne-energie. Dit werd vooral duidelijk toen het 85 seconden duurde om op te starten van 60% naar 100% vermogen. Het gemiddelde stroomverbruik en waterstofdebiet van de elektrolyser voor verschillende vermogens werden verzameld. De elektrolyser is marginaal efficiënter bij een lagere productiesnelheid.

Het totale waterstofverlies voor één start-stopcyclus is 25,7 NL. Ter referentie: het waterstofdebiet bij vol vermogen is 500 NL/u, dus de verliezen zijn gelijk aan ongeveer 3 minuten werking.

Degradatie van de elektrolyser kan in dit project niet worden bestudeerd.

Aanbevelingen voor de aansturing van de elektrolyser

1. Hou rekening met de beperkingen van elektrolyzers.
 - a. Zorg ervoor dat aan de minimale stroomvereisten kan worden voldaan.
 - b. Minimaliseer start-stop cycli.
 - c. Modelleer en hou rekening met opstarttijd en -energie.
 - d. Hou rekening met variërende efficiëntie met productiesnelheid, indien van toepassing.
2. Gebruik voorspellingen van de opwekking van zonne-energie om de werkingsstrategie van de elektrolyser beter te plannen dan een eenvoudige, op regels gebaseerde motor.

2.5.2 Brandstofcel in een systeem met hernieuwbare energie

Het gebruik van een brandstofcel in een omgeving met een variabele vraag naar stroom ligt veel meer in de lijn van waar een brandstofcel voor gebouwd is, vergeleken met een elektrolyser die met een variabele stroomtoevoer werkt. Commerciële PEM-brandstofcellen zijn zeer volwassen en robuuste plug-and-play units die er in alle soorten en maten zijn. In SHPLES wordt de brandstofcel (Nedstack 2,3 kW) bijgestaan door een batterij, die via een omvormer is aangesloten op de output van de brandstofcel. De batterij ondersteunt tijdens momenten van hoge belasting en laadt de batterij op.

Brandstofcelssystemen hebben een *opstarttijd* voordat de maximale belasting wordt bereikt. Na een korte opstarttijd van de regelsystemen is het grootste deel van de tijd nodig om de optimale werkteemperatuur van de stack te bereiken, die meestal tussen 60-90 °C ligt. Nedstack stelt dat bij koudere temperaturen de waterhuishouding in de brandstofcel een probleem kan vormen vanwege een hogere mate van condensatie. 55 °C is de ondergrens voor bedrijf op vol vermogen.

Zodra de brandstofcel is ingeschakeld, is een *minimale belasting* vereist om versnelde degradatie te voorkomen. Nedstack raadt aan om een belasting lager dan 13% tot een minimum te beperken.

De conclusie van de literatuurstudie is dat het toevoegen van een batterij optimale werkomstandigheden voor de brandstofcel mogelijk maakt. Grote op- en afschaling, start/stop-cycli en werking bij stationair of maximaal vermogen kunnen gemakkelijk worden geminimaliseerd. Hoewel een PEM-brandstofcel waarschijnlijk zonder *batterijondersteuning* kan functioneren in een systeem zoals SHPLES zal het leiden tot versnelde degradatie van de brandstofcel.

Ontwerpkeuzes brandstofcel in SHPLES

De regels voor de werking van de brandstofcel in SHPLES worden bepaald door de staat van lading van de batterij (SoC) en in de winter ook door het tijdstip van de dag. De reden voor dit laatste is om in de eerste plaats gebruik te maken van de beperkte zonne-energie die in deze tijd van het jaar beschikbaar is, en om indien nodig energie bij te vullen uit de waterstofopslag.

De brandstofcel start:

- Op elk moment van het jaar (en de dag) als de SoC van de batterij < 25%.
- Van 15 oktober tot 15 maart
- als de SoC van de accu < 40% voor 13:00 uur
- als accu SoC < 50% voor 14:00
- als batterij SoC < 60% voor 15:00
- als batterij SoC < 70% voor 16:00
- als accu SoC < 80% voor 17:00

De brandstofcel stopt wanneer de SoC van de accu > 90%.



Afbeelding: assemblage van de SHPLES brandstofcel in de werkplaats (foto Jurriaan Huting)

Brandstofcel testresultaten

Er zijn geen relevante testcases voor een variabele belasting geïdentificeerd die op de SHPLES -brandstofcel kunnen worden uitgevoerd, omdat deze alleen met een vast vermogen kan werken. Er was geen brandstofcelsysteem beschikbaar met het benodigde vermogen van 1,6 kW. Als compromis werd gekozen voor een grotere stack (7 kW) met een laag werkpunt van 2,3 kW en een werking als batterijlader.

Aangezien het totale SHPLES systeem uiteindelijk pas in maart 2024 volledig operationeel was, zijn er tot 2025 geen lange termijn testresultaten beschikbaar. Dit komt doordat de werkingsperiode van de brandstofcel van november tot begin maart loopt.

Aanbevelingen met betrekking tot de brandstofcel

Het werken met een brandstofcel onder variabele belasting is weliswaar goed mogelijk, maar gaat gepaard met een mogelijk nadeel in de vorm van versnelde degradatie. Er is een diepere analyse nodig om te beslissen of deze nadelen acceptabel zijn of niet, afhankelijk van het gebruik.

- 1) Het toewijzen van kosten aan de verschillende degradatiemechanismen kan verder licht werpen op de vraag of batterijassistentie *economisch haalbaar* is.
- 2) Het gebruik van een brandstofcel in een energiehub, waar toch al een batterij aanwezig is, kan vanuit het oogpunt van levensduur bijna *ideale werkomstandigheden* voor de brandstofcel opleveren.
- 3) Door aan de basisregels voor het starten van de brandstofcel *voorspellingen* van de verwachte zonne-energie toe te voegen, kan het waterstofverbruik in de winter worden verlaagd.

2.5.3 Systeemanalyse en hardware-optimalisatie van waterstofopslagsystemen

1. Batterij en power converter

De batterij en power converter (die de verbinding vormt met het elektriciteitsnet) zijn in het SHPLES-systeem commerciële kant-en-klare eenheden van bekende fabrikanten.

Een hoog vermogen en *snelle respons* zijn essentieel om de gebruiker te bedienen, wat in SHPLES een klein huishouden is. Huishoudelijke apparaten zoals waterkokers, stofzuigers of warmtepompen hebben grote vermogensbehoeften waaraan moet worden voldaan zodra ze worden ingeschakeld. De batterij speelt ook een rol bij de ondersteuning van het waterstofopslagsysteem, zowel bij het opwekken als bij het gebruik van waterstof.

Bij de *dimensionering* van het batterijsysteem in SHPLES is rekening gehouden met het gecombineerde gebruik van ondersteuning van de waterstoffabriek en voeding voor de gebruiker. Daarom is de accucapaciteit te groot voor één huishouden; een accu van 10 kWh zou voldoende zijn geweest. In wezen wordt een derde van de batterij gebruikt voor ondersteuning van de waterstoffabriek en de resterende twee derde voor de gebruiker. Het SHPLES maakt gebruik van een DC/DC en DC/AC stroomconversieopstelling, met een Victron Smartsolar 150/100 DC/DC converter en een Victron Multiplus-II GX 24/3000 DC/AC converter.

De AC-accu-AC *round trip efficiëntie*, in het meest efficiënte geval met laden en ontladen bij 1000 W, is ongeveer 84%.



Afbeelding: batterij van SHPLES (foto Jurriaan Huting)

Aanbevelingen met betrekking tot de batterij en power converter

Voor toekomstige, grotere energiehubbs kan een belangrijke *efficiëntieverbetering* worden bereikt door beter presterende hardware te kiezen, zowel batterijen als omvormers. De laagspanningsbatterij en stroomomvormer die gebruikt worden in SHPLES zijn inherent inefficiënt. Het gebruik van batterijen met een hoog voltage zou de mogelijkheid bieden om AC/DC- en DC/AC-converters met een hoger rendement te gebruiken.

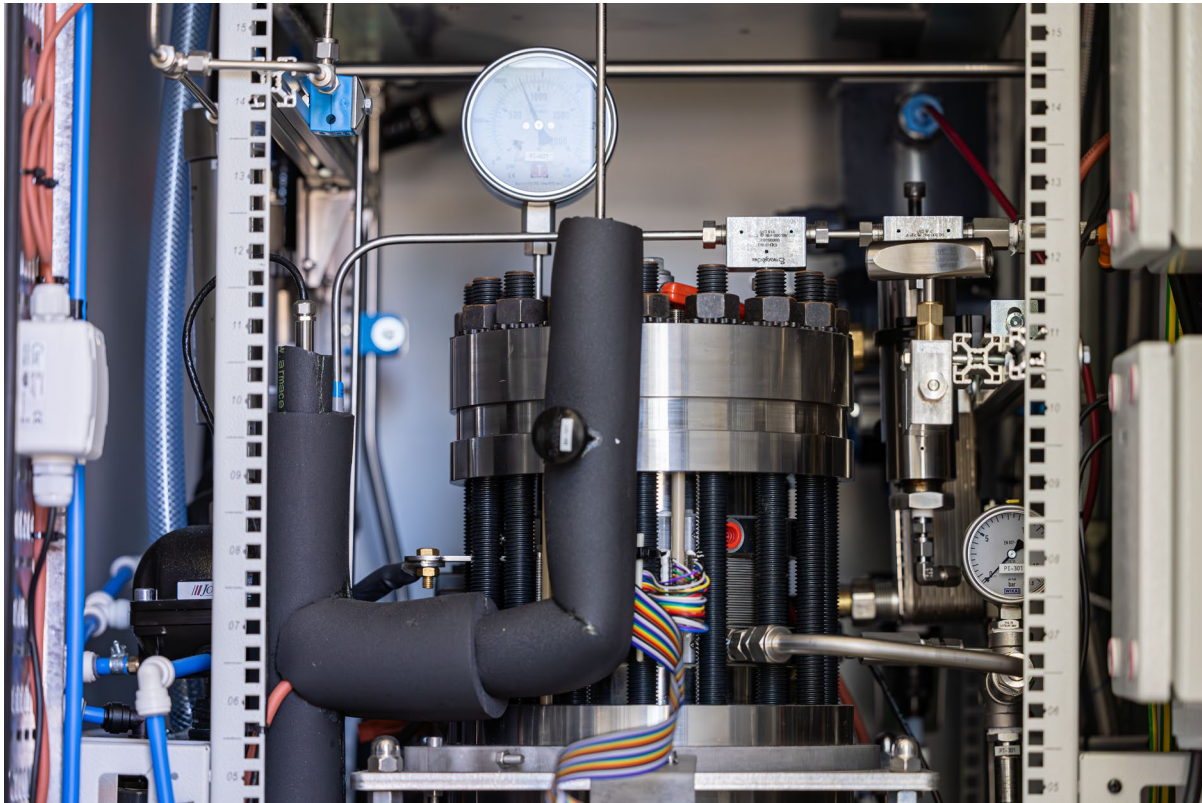
Bij het ontwerpen van een toekomstige energiehub is het het overwegen waard om de batterij te vergroten en het gebruik te beperken tot $20\% < \text{SoC} < 80\%$. De ondergrens zou zelfs verhoogd kunnen worden naar 40%, waardoor de *levensduur van de batterij* nog verder toeneemt. Hierbij is een diepere analyse nodig van de kosten en baten. Ook moet rekening worden gehouden met de locatie van de batterij vanuit het oogpunt van temperatuur. Het verdient aanbeveling dat de batterij zich in een *gekoelde omgeving* bevindt.

Voor het ontwerpen van het EMS is het gebruik van *zachte boven- en ondergrenzen* een mogelijke aanpak. Het volledige 100% bereik van de batterij kan indien nodig beschikbaar worden gemaakt voor de gebruiker, maar het slimme regelalgoritme doet zijn best om binnen 40% - 80% te blijven. Met behulp van voorspellingen voor de productie van zonne-energie en het gedrag van de gebruiker kan dit de verwachte levensduur van de batterij verlengen ten opzichte van de basisregels en harde grenzen die in SHPLES worden gebruikt, terwijl de batterij niet te groot wordt.

2. Compressor

De compressor die in het SHPLES -systeem wordt gebruikt is een elektrochemische eenheid van HyET Hydrogen die zonder bewegende delen werkt, waardoor onderhoud en het risico's op lekkage worden beperkt. De compressor werkt samen met de elektrolyser en gebruikt de waterstofdruk om het proces aan te drijven, met isolatie en verwarming om condensatie te voorkomen. Het systeem bestaat uit verschillende onderdelen, waaronder de compressor, koelpompen, verwarmers en regelaars, die stroom verbruiken in verschillende werkingsfasen, zoals opwarmen en stand-by. Tijdens het opwarmen gebruikt de compressor een elektrisch verwarmingselement van 400 W om op bedrijfstemperatuur te komen. De opwarmtijd is afhankelijk van de omgevingsomstandigheden en varieert van 5-17 minuten. De compressor is energie-efficiënter bij hogere waterstofproductiesnelheden vanwege de vaste stroombelasting, met een efficiëntieverlies van 10% bij lagere snelheden. De totale waterstofinstallatie, met elektrolyser en compressor, blijft ongeveer 50% efficiënt bij alle productiesnelheden, met minimale energieverliezen tijdens het uitschakelen als gevolg van het doorspoelen van waterstof.

Tests waarbij de werkingsparameters van de compressor, zoals uitlaatdruk en stack-temperatuur, werden gewijzigd, wezen op potentiële energiebesparingen. Een lagere uitlaatdruk verminderde het stroomverbruik, maar de langetermijneffecten op de levensduur van de compressor zijn onduidelijk. Ook het verhogen van de stack-temperatuur zorgde voor een lichte verlaging van het stroomverbruik, maar het effect op de degradatie is onbekend. Het energieverlies van het starten en stoppen van de waterstofplant (electrolyser plus compressor), gelijk aan 16 minuten volledige productie, moet worden meegenomen in de energiemangementstrategie van het systeem.



Afbeelding: compressor van SHPLES (foto Robert Kroonen)

Aanbevelingen met betrekking tot de compressor

Hoewel de compressor 20% van de energie voor de waterstofproductie voor zijn rekening neemt, kunnen er via het energiemanagementsysteem (EMS) geen significante optimalisaties worden doorgevoerd, aangezien de compressor de output van de elektrolyser volgt. Snelheidsregeling van de interne koelpomp zou de efficiëntie kunnen verbeteren, maar het verbeteren van het systeem dat de elektrolyser en compressor op de gewenste temperatuur houdt, is een uitdaging. Het optimaliseren van de efficiëntie van de compressor door het wijzigen van de operationele parameters kan energiebesparingen opleveren, maar verder onderzoek is nodig om de mogelijke gevolgen voor de compressor te beoordelen.

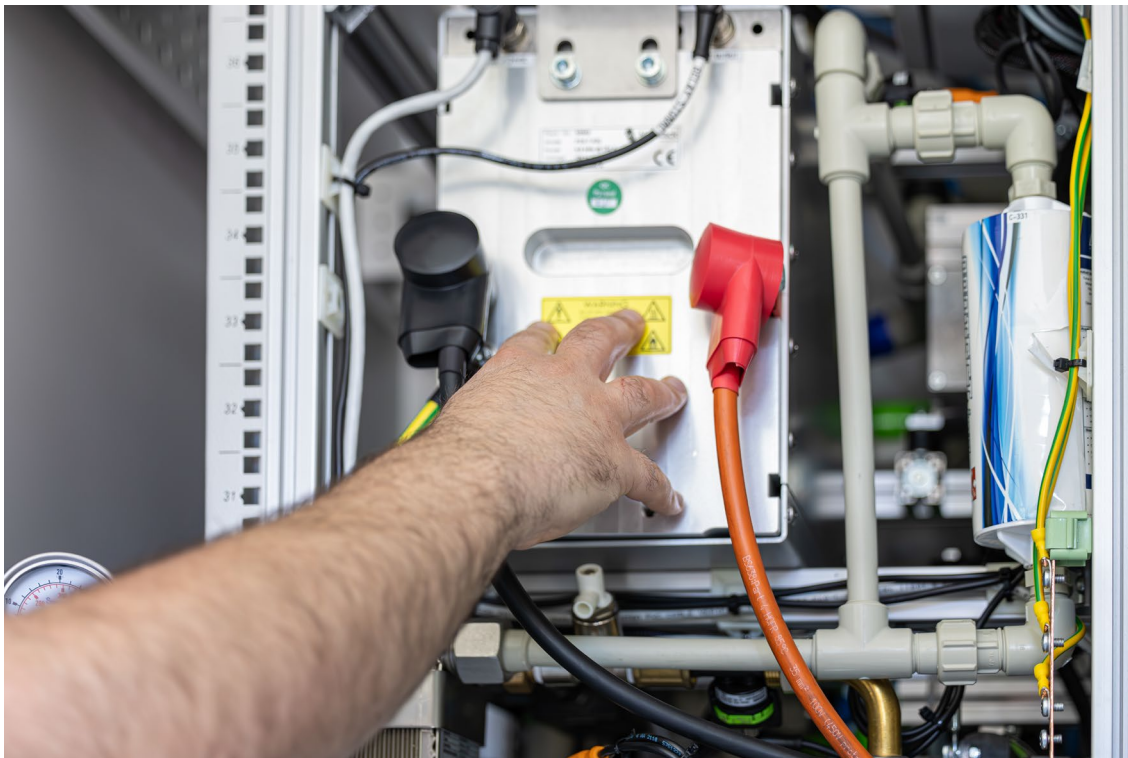
3. Efficiëntie van de brandstofcel

Deze activiteit gaat in op het SHPLES-brandstofcelsysteem, dat gebruik maakt van een Nedstack-brandstofcelstack met een maximaal vermogen van 6,8 kW. Het systeem is ontworpen om te werken op een gereduceerd vermogen van 2,3 kW vanwege beperkingen van de balans van de installatie (BoP), hoewel het vereiste vermogen slechts 1,6 kW is. De belangrijkste componenten van de BoP die het werkvermogen beperken zijn de koelpomp, de luchtblazer, de waterstofrecirculatiepomp en de vermogensomzeters. Het systeem werkt in een aan/uit-modus zonder instelbaar uitgangsvermogen.

Het vermogen voor BoP-componenten zoals de luchtaanjager, koelpompen en PLC verbruikt ongeveer 351 W. Warmte die wordt gegenereerd tijdens de werking van de brandstofcel wordt gebruikt om de projectcontainer te verwarmen, terwijl overtollige warmte wordt afgevoerd. De thermische output van de brandstofcel kan mogelijk ook worden gebruikt voor ruimteverwarming of waterverwarming in andere toepassingen.

Het opstarten en opwarmen van de brandstofcel duurt ongeveer 2 minuten en bereikt een optimale temperatuur van 65°C na 15 minuten. Tijdens normaal bedrijf produceert de brandstofcel ongeveer 1,8 kW vermogen, met een stackstroom die is ingesteld op 70 A. Efficiëntiegegevens tonen aan dat de brandstofcelstack een efficiëntie van 58% bereikt op het lage werkpunt. De DC/DC-converter heeft een efficiëntie van 95,6%, terwijl de DC/AC-converter werkt met een efficiëntie van 85,6%. Over het geheel genomen bereikt het systeem een totale elektrische efficiëntie van 39,8%, waarbij de BoP 14,8% van het opgewekte vermogen verbruikt.

Een analyse van de thermische efficiëntie geeft aan dat het systeem een bruikbare warmteafgifte van 37% genereert bij lagere vermogensniveaus, als aanvulling op de elektrische efficiëntie. De koelkring verwijdert 1595 W warmte, in lijn met de verwachtingen.



Afbeelding: brandstofcel van SHPLES (foto Robert Kroonen)

Aanbevelingen met betrekking tot de brandstofcel

Hoewel de brandstofcel presteert zoals verwacht, zijn de power converters enigszins inefficiënt, wat de algehele prestaties beïnvloedt. In toekomstige projecten kunnen efficiëntere converters worden onderzocht. Daarnaast kan het gebruik van te grote brandstofcellen met een lagere capaciteit de efficiëntie verbeteren, wat economisch haalbaar zou kunnen zijn voor grotere energiehubs.

2.5.4 Benutten van warmte

Aangezien de warmteopslag ook al werd onderzocht bij activiteit 1.1 en 1.2 heeft consortium partner Haagse Hogeschool deze activiteit uitgebreid met een analyse van de energie- (en warmte)vraag van een gehele wijk. Hoewel het huidige systeem gemodelleerd is voor 1 huishouden om het zo klein mogelijk te houden in deze fase is een waterstofopslagsysteem in de praktijk waarschijnlijk alleen haalbaar als er meerdere woningen op worden aangesloten.

In deze activiteit is gekeken naar een wijk met 50 woningen met een energielabel C en er zijn 3 configuraties met elkaar vergeleken.

Configuratie 1A: All-electric huizen met die allemaal beschikken over een eigen brandstofcel en warmtepomp: Dit scenario dient als referentiepunt. Er wordt gebruik gemaakt van verwarming met afgifte op constante middelhoge temperatuur (60°C).

Configuratie 1B: Zelfde opzet, alleen is hier gekeken hoe groot de impact is van gemoduleerde warmteafgifte-temperatuur. Deze blijkt significant, en deze aanpassing is aan de volgende 2 configuratie (2 en 3) standaard toegevoegd.

Configuratie 2: Als configuratie 1B, echter staat de brandstofcel centraal opgesteld: Uitgangspunt hiervoor is dat dit economisch waarschijnlijk gunstiger uitpakt en wel om twee redenen. In plaats van veel kleine brandstofcellen is er 1 of enkele zwaardere brandstofcellen geïnstalleerd, dat is goedkoper per kW geïnstalleerd vermogen. Door de brandstofcel centraal op te stellen mag men ervan uitgaan dat i.v.m. gelijktijdigheid in de energievraag het totaal geïnstalleerd vermogen lager genomen kan worden. Energetisch is er een nadeel t.o.v. scenario 1 en dat is dat de thermische output van de brandstofcel in dit scenario niet nuttig gebruikt kan worden.

Configuratie 3: Als configuratie 2, met toevoeging van een ZLT-warmtenet en WKO. Om de thermische output van de centraal opgestelde brandstofcel te kunnen benutten zou deze in een warmtenet toegevoerd kunnen worden. Om een dergelijk systeem zinvol toe te kunnen passen is het noodzakelijk dat dit warmtenet op een relatief constante temperatuur functioneert. Het warmtenet kan dan als bron worden gebruikt voor de warmtepompen (per huis). Dat betekent dan wel dat de volledige warmtevraag (bronzijde) van de warmtepompen geleverd moet worden. Het wisselende en per definitie te kleine thermische vermogen van de brandstofcel (t.o.v. de totale warmtevraag van de woningen) is daarvoor niet genoeg. Een extra warmtebron is noodzakelijk. Op deze schaal is dan een WKO (aquifer) nodig. De warmte die daar voornamelijk in de winter uitgehaald wordt, moet dan wel weer aangevuld worden. Dat gebeurt meestal door een droge koeler aan het systeem toe te voegen die in de zomer warmte uit de buitenlucht haalt. Deze warmte kan zonder verdere opwaardering toegevoerd worden naar de WKO. De energiekosten daarvoor zijn zeer laag met een COP van ca. 40. Het model met de scenario's is opgeleverd. De meest relevante berekening zijn te zien in Tabel 1.

Per house				End use electr. kWh/e	PV install. m ²	PV req. for 100% m ²	SCOP	share of energy			storage H ₂ kg	supplement		heatgrid & aquifer		
scen	T _{avg} [°C]	components	heating					from PV	PV direct	via BC		from grid kWh/e	H ₂ kg	Φ _{max} liter/h	heat loss	E _{total} kWh/e
sc1a	60-60	HP + FC local	Tfixed	9080	34	83	1,4	56%	38%	17%	34	4603	206	na	na	na
sc1b	35-25	HP + FC local	Tmodulated	5962	34	54	2,0	77%	50%	27%	38	1674	83	na	na	na
sc2	35-25	HP local, FC central	Tmod, no heat grid	6164	34	59	1,9	76%	49%	27%	38	1808	108	na	na	na
sc3b	35-25	HP loc, FC cent + heat grid	Tmod + heat grid @13	5637	34	48	2,1	84%	54%	30%	34	1086	61	478	2%	248

Tabel 1:

In het onderzoek is uitgegaan van een beschikbaar dakoppervlak van 34m² per huis. Gelijk verdeeld over de 2 zijden van het huis met oriëntatie Oost-West en uitgaande van een schuin dak onder een hoek van 45°. Toepassing van PV-panelen met een rendement van

20% levert dan jaarlijks ca 5700 kWh(el) per huis op. Deze 5700 kWh voldoende om een significant deel van de totale energievraag te dekken. 56% in configuratie 1a (referentiescenario), 76% in configuratie 2 en 82% in configuratie 3. De verschillen in deze dekkingspercentages komen alleen voort uit de rendementsverschillen tussen de installaties van deze configuraties. Het grootse verschil schuilt in het toepassen van gemoduleerde warmteafgifte bij lage temperatuur. De relevantie daarvan blijkt uit het verschil tussen configuratie 1a en 1b, waarbij alleen de afgiftetemperatuur en strategie van de verwarming is aangepast. Dit leidt tot een toename van de dekkingsgraad van 56% naar 77%.

Daaruit kan ook worden geconcludeerd dat het centraal plaatsen van de brandstofcel in configuratie 2 en het daardoor verliezen van de thermische opbrengst van de brandstofcel, geen significant prestatieverlies oplevert. Een dekkingsgraad van 100% is voor alle configuraties behalve 1a binnen bereik indien wordt aangenomen dat het volledige dakoppervlak (100%) gebruikt kan worden voor PV-panelen.

Hoeveel waterstof moet er worden geproduceerd in de configuraties? Dat is ongeveer 34 tot 38 kg per huis. De verschillen tussen de scenario's zijn daarmee klein vergeleken bij de verschillen in zelfvoorzienendheid. Een belangrijke factor hierin is de aangenomen hoeveelheid PV-panelen. Die is in alle configuraties gelijk. Als uitgegaan wordt van 100% energiedekking zijn de benodigde hoeveelheden: 154kg in configuratie 1A, 104 kg in configuratie 2 en 71 kg in configuratie 3. Vertaald naar de 50l flessen die momenteel bij The Green Village worden gebruikt (bij 27 MPa) zijn dat respectievelijk 162 flessen voor scenario 1A, 109 flessen voor scenario 2 en 75 flessen voor scenario 3.



Afbeelding: Joel Bosrup (Wintersol) aan het werk bij het regelpaneel van de waterstofbuffer (foto Jurriaan Huting)

Aanbevelingen met betrekking tot benutten van warmte

De meerwaarde van de thermische component aan de energieprestaties is nauwelijks significant te noemen. Het aandeel energie uit PV in configuratie 2 is slechts 1% lager dan in configuratie 1B. Dit komt neer op een lichte toename van benodigde suppletie uit het net als deze bijdrage weg wordt genomen. Voor configuratie 1A is dat ca. 164 kWhel, voor configuratie 1B ca. 132 kWhel en ca. 44 kWhel in configuratie 3. Het verschil is groter wanneer uit wordt gegaan van volledige dekking door PV. De benodigde hoeveelheid PV oppervlakte neemt dan toe; van 83 m² naar 96 m² in configuratie 1a, van 54 m² naar 59 m² in 1b en van 48 m² naar 50 m² in configuratie 3. Aan het verloop van dit extra benodigde PV-oppervlak is duidelijk het veel significantere effect van de gekozen temperatuursprong voor de warmtepomp te herkennen. Die heeft een groot effect op de COP van de warmtepomp. Terwijl het thermisch rendement van de brandstofcel in deze scenario's steeds gelijk is. Hoe hoger de COP van de warmtepomp, hoe lager de significantie van de thermische output van de brandstofcel. De beter energieprestatie van scenario 3 t.o.v. scenario 2 is dan ook vooral toe te schrijven aan de toevoeging van een constante en hogere brontemperatuur voor de warmtepomp in de vorm van het warmtenet.

2.5.5 Systeembrede analyse

Deze activiteit bekijkt het SHPLES-systeem vanuit een breder perspectief en kijkt naar de interactie van groepen componenten en naar de prestaties van het hele systeem. Het systeem heeft overigens op moment van schrijven van dit rapport nog geen volledig jaar gedraaid (1 maart 2024 tot en met 1 september 2024), dus gegevens die nodig zijn voor een goede diepgaande analyse zijn nog niet beschikbaar. Voor dit rapport zijn enkele extrapolaties gemaakt op basis van de beschikbare gegevens en waargenomen prestaties in de praktijk.

Dit zijn ontwerpkeuzes die werden toegepast voor het SHPLES:

- Het huishouden moet altijd toegang hebben tot energie
- Er kan geen energie worden gekocht van het elektriciteitsnet
- Overtollige zonne-energie kan verkocht worden aan het elektriciteitsnet
- Er wordt geen batterijvermogen verkocht aan het elektriciteitsnet
- Er wordt geen energie uit brandstofcellen verkocht aan het elektriciteitsnet

Het SHPLES-ontwerp voorzag in 6,0 kWp *zonnepanelen*, gericht op 180° zuid met een optimale hoek van 37°. Vanwege de beperkingen van de locatie zijn de geïnstalleerde zonnepanelen op het moment van schrijven 5,4 kWp, met een iets afwijkende oriëntatie en hellingshoek. Het plan is om de huidige installatie uit te breiden met 1,35 kWp panelen.

Het SHPLES is ontworpen voor een huishoudelijke *gebruiker* met een jaarlijks energieverbruik van 2.200 kWh en een generiek gebruikersprofiel. Het energieverbruik is in de winter naar verwachting 50% hoger dan in de zomer, omdat er dan meer tijd thuis wordt doorgebracht. In de herfst en lente is het energieverbruik 25% hoger dan in de zomer.

De *systeemefficiëntie* van het SHPLES hangt voornamelijk af van de verhouding tussen de energie die wordt opgewekt door de zonnepanelen en de energie die wordt verbruikt door de gebruiker. Wanneer het verbruik van de gebruiker 2.200 kWh is en de zonne-energieopwekking 6.231 kWh, is de systeemefficiëntie 35,3%, waarbij de efficiëntie fluctueert op basis van het verbruik van de gebruiker. Energie gaat via verschillende paden van opwekking naar gebruik, elk met een verschillende efficiëntie. Direct gebruik van

zonne-energie door de gebruiker is 100% efficiënt, maar andere paden, zoals van zonne-energie naar batterij naar gebruiker, hebben een efficiëntie van 84%, terwijl van zonne-energie naar waterstof naar gebruiker slechts 19,9% is. Het minst efficiënte pad omvat zowel de batterij als waterstof, met een efficiëntie van 14%.

Deze efficiëntieverliezen benadrukken de noodzaak om energieomzettingen te minimaliseren en het gebruik van het waterstofopslagsysteem zo veel mogelijk te vermijden vanwege de lage efficiëntie. Waterstofproductie en -verbruik zijn de gebieden met het meeste potentieel voor *efficiëntieverbeteringen*. Toekomstige winst zal waarschijnlijk komen van vooruitgang in waterstof gerelateerde technologieën, die buiten het bereik van systeemintegratie vallen. Hoewel het gebruik van waterstof voor elektrische toepassingen zoals netbalancing momenteel inefficiënt is, kan het optimaliseren van hardware en het beperken van onnodige conversies de algehele prestaties verbeteren.

Door de complexiteit van het systeem zijn er *verschillen* ontstaan tussen het *ontwerp* en de *uitvoering* in de praktijk. Voor waterstofopslag was het ontwerp bedoeld voor 60 kg capaciteit, maar slechts 47 kg werd behaald door verminderde veiligheidsdruk, temperatuurlimieten en een defecte cilinder. De verminderde druk van 272 bar bij 50°C leidde tot een lagere opslagcapaciteit, en de beschikbare energie uit waterstofopslag wordt geschat op 522,7 kWh. Deze energie is bedoeld om zonne-energie aan te vullen tijdens de donkere maanden, hoewel het voldoende is, afhankelijk van het gedrag van de gebruiker. Het batterijsysteem was betrouwbaarder, met een laadstatus die zelden onder de 40% zakt, wat zorgt voor een langere levensduur en consistente werking. Over het algemeen blijkt de batterijcapaciteit voldoende met de huidige gebruiksomstandigheden.

Aanbevelingen met betrekking tot het gehele systeem

Onderzoek de mogelijkheid om zoveel mogelijk in het DC-domein te blijven. In SHPLES zijn alle belangrijke componenten AC-gekoppeld vanwege beperkingen in de beschikbare hardware voor het bouwen van een klein prototype. Alle apparaten maken echter gebruik van DC/AC- of AC/DC-conversie.

- De zonnepanelen wekken gelijkstroom op, die de omvormer voor zonne-energie omzet in wisselstroom.
- De batterijstroomomzetter verbruikt en produceert wisselstroom, die wordt omgezet in en van gelijkstroom voor de batterij.
- De elektrolyser, compressor en brandstofcelstacks werken allemaal op gelijkstroom, met stroomomvormers van of naar wisselstroom.

Gezien het hoge rendement van omvormers voor zonne-energie en het over het algemeen hoge rendement van DC-DC-converters, is een interessante optie voor een energiehub het gebruik van DC-koppeling. Het hoge rendement van omvormers voor zonne-energie is grotendeels te danken aan de hoge gelijkspanning van de zonnepanelen. Hetzelfde geldt voor hoogspanningsbatterijomvormers. Voor het ontwerpen van een toekomstige energiehub, met behulp van hoogspannings-DC-koppeling, met DC-DC-conversie van zonnepanelen, elektrolyser, compressor en brandstofcel naar een hoogspanningsbatterij moet worden onderzocht. Dit zou de noodzaak van DC/AC-conversie tot één exemplaar moeten beperken; voor het leveren van de gebruiker.

2.5.6 EMS voor SHPLES

De TU Delft was binnen het project verantwoordelijk voor het ontwikkelen van het EMS (Energy Management System). Om deze uitdaging aan te gaan, moesten verschillende aspecten worden aangepakt.

Ten eerste is een EMS een digitale controller en moest er een goede keuze worden gemaakt van de IT/software-architectuur om een hostingplatform voor de slimme controller te ontwikkelen. We hebben gekozen voor een eenvoudig en krachtig ontwerp met een MQTT-communicatiekanaal, een lokale Raspberry Pi-controller en een centrale high-performance server.

Ten tweede moest er een slim algoritme worden ontwikkeld voor het seizoensgebonden opslaan van energie. We hebben gekozen voor een MPC-stijl controller (Model Predictive Control) met 4 voorspellingshorizonten die in staat zijn om beslissingen te nemen met jaarlijkse, maandelijks, dagelijkse en 15-minuten resoluties. Verschillende resoluties stellen ons in staat om de seizoensgebonden opslag van energie te coördineren met minieme fluctuaties van de vraag van huishoudens en hernieuwbare energiebronnen.

De voorspellende functie van het algoritme stelt ons in staat om voorspellingen van het weer, hernieuwbare energiebronnen en de vraag naar energie op te nemen in de besluitvorming. Het white-box-karakter van de controller maakt het mogelijk om het doel gemakkelijk te wijzigen.

We kunnen optimaliseren voor zelfvoorziening op energiegebied, voor maximale winst uit energiehandel of voor het opvolgen van een aanbeveling van een externe autoriteit, zoals de netbeheerder of een aggregator (belangrijke functie voor het afdekken van pieken of het elimineren van congestie).

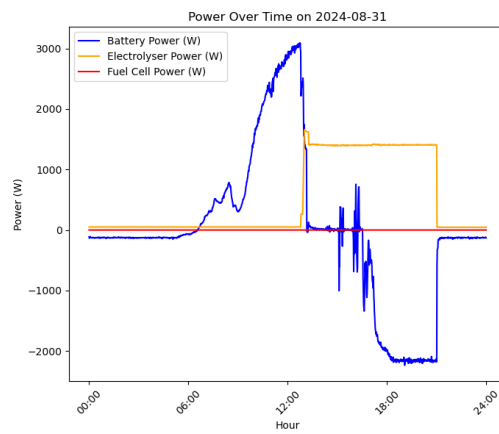
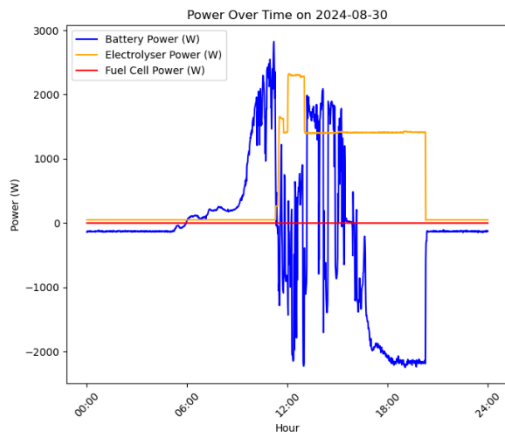
De eerste twee stukjes van de puzzel, een digitaal platform en een slim algoritme, komen samen in een Node-Red omgeving, een platform dat in staat is om op maat gemaakte algoritmes te matchen met de gangbare communicatieprotocollen.

Ten slotte moesten de prestaties van de controller worden geobserveerd en gemeten om de voordelen van de slimme oplossing te kwantificeren. We vergelijken de MPC-controller met de benchmark-controller op basis van regels. De prestaties worden in een simulatie vergeleken, gevolgd door een vergelijking op basis van de echte gegevens van het operationele systeem.

De operationele prestaties van het EMS werden geëvalueerd door middel van een analyse van de stroomstromen en de SoC van de BESS gedurende twee opeenvolgende dagen, 30 en 31 augustus 2024. Het doel van het EMS was om de zelfvoorziening te maximaliseren, of met andere woorden, de uitwisseling van energie met het net te verminderen.

Uit de operationele gegevens van deze twee dagen blijkt dat de BESS gedurende de dag aanzienlijke laad- en ontladcycli ondergaat, zoals te zien is in onderstaande figuur. Tussen 6:00 en 12:00 uur neemt het BESS-vermogen geleidelijk toe, met een piek boven de 2000 W.

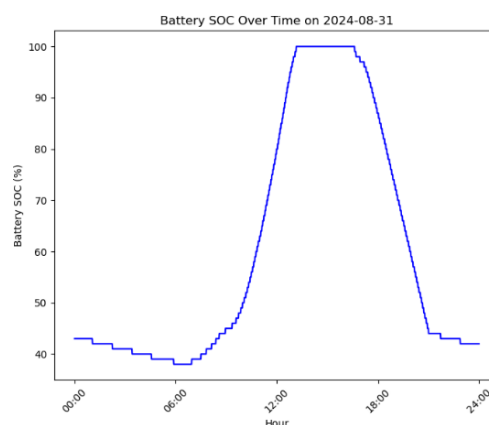
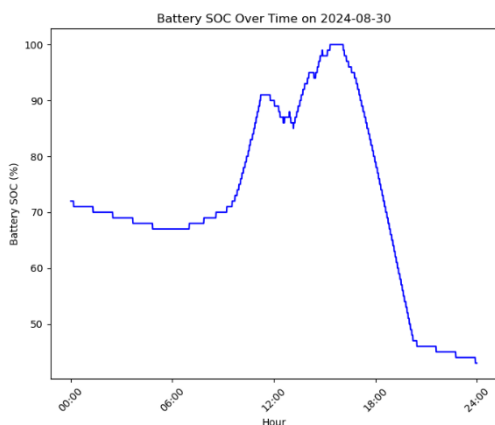
Figuur: Het bedrijfsvermogen van de batterij, elektrolyser en brandstofcel bij gebruik met smart EMS



Dit geeft aan dat de BESS ofwel energie levert om aan de vraag te voldoen, ofwel zichzelf oplaadt wanneer er een overschot aan hernieuwbare energie beschikbaar is. Rond het middaguur wordt de elektrolyser geactiveerd, zoals blijkt uit de sterke toename van het stroomverbruik, tot 2400 W. De brandstofcel blijft in de zomer inactief, wat aangeeft dat waterstof wordt opgeslagen in plaats van verbruikt. In de namiddag, als het door PV opgewekte vermogen afneemt en de vraag stijgt, begint de BESS snel te ontladen, met stroomniveaus die onder de -2000 W dalen, wat wijst op een grote afhankelijkheid van opgeslagen energie om aan de vraag te voldoen. De elektrolyser blijft 's middags en 's avonds werken en verbruikt energie die in de batterij is opgeslagen om deze voor te bereiden op een lagere SoC voor de volgende dag.

De SoC van de BESS, zoals weergegeven in onderstaande figuur, begint de dag met ongeveer 70% en neemt geleidelijk toe tot bijna 100% tegen de middag naarmate het systeem de batterij oplaadt. Na het bereiken van zijn piek neemt de SoC gestaag af en daalt sterk in de late namiddag als de BESS ontladend om aan de energievraag te voldoen. Aan het einde van de dag bereikt de SoC ongeveer 40%, wat een weerspiegeling is van het gebruik van opgeslagen energie door het systeem om het evenwicht te bewaren.

Figuur: De laadtoestand van de batterij bij gebruik met smart EMS



Het EMS demonstreert het beheer van de energiebronnen gedurende de twee dagen, waarbij het systeemevenwicht wordt gehandhaafd door strategisch laden en ontladen van de BESS en de waterstofproductie wordt geoptimaliseerd.



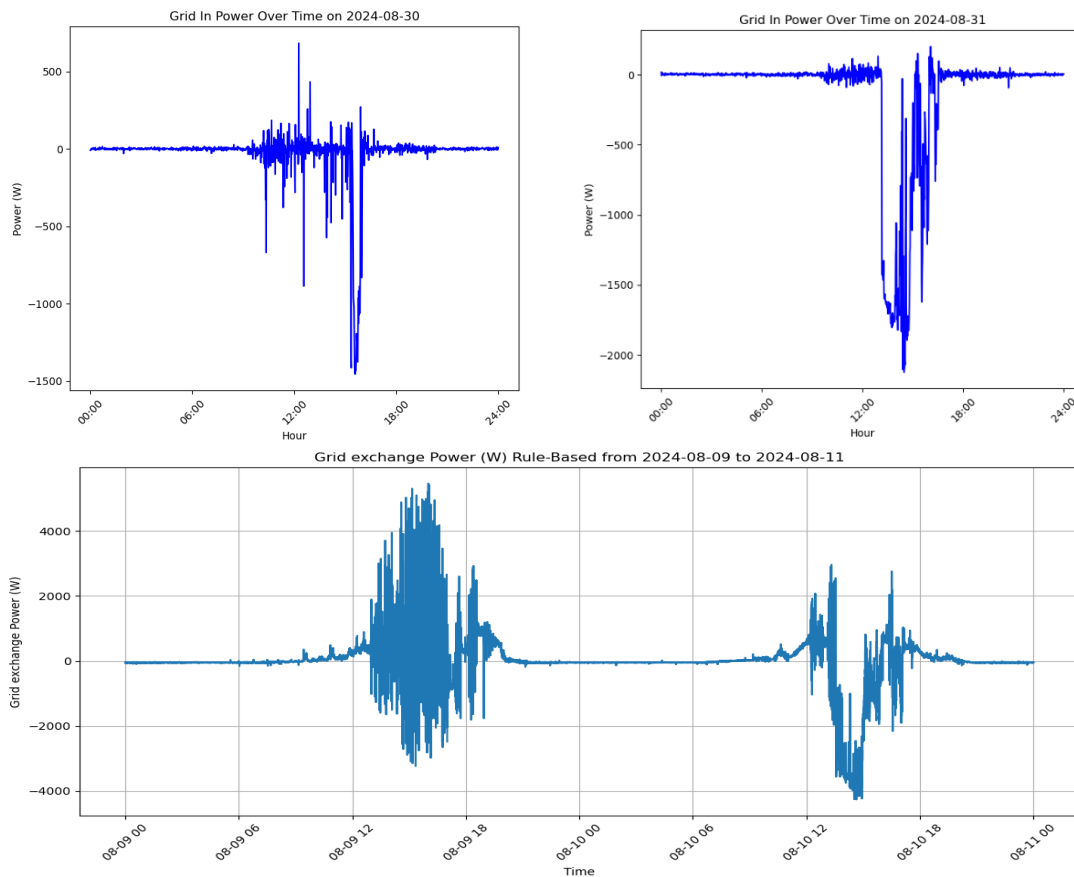
Afbeelding: Aihui Fu (TU Delft) test het EMS in de 'control room' van SHPLES (foto Robert Kroonen)

Aanbevelingen met betrekking tot het EMS

Uit de operationele gegevens blijkt dat het systeem reageert op fluctuaties in de beschikbaarheid van en vraag naar hernieuwbare energie, waarbij de BESS en elektrolyser worden gebruikt om het net te stabiliseren. Door minder nauwkeurige voorspellingen moet er echter nog steeds stroom worden uitgewisseld met het net wanneer de batterij vol is. De volgende twee grafieken, in Fig. .. en Fig. ..., tonen de uitwisseling van stroom in de behuizing met MPC-controller, Fig. .., en een eenvoudige, op regels gebaseerde controller, Fig. ... De rule-based controller neemt geen prognoses mee in zijn besluitvorming. Daarom wordt verwacht dat het inferieur is aan het slimme EMS. En deze verwachting wordt bevestigd in de plots.

Ter vergelijking worden twee relatief vergelijkbare dagen gekozen, 9 en 10 augustus. De slimme MPC-controller heeft een veel kleinere hoeveelheid stroom die hij trekt en naar het net stuurt, iets meer dan 2 kW in vergelijking met de op regels gebaseerde controller die stroom uitwisselt op een vermogensniveau van meer dan 5 kW. Hetzelfde kan gezegd worden van de uitgewisselde energievolumes, die in het geval van de MPC-controller kleiner zijn. Verdere vergelijkende analyse is nodig om het gedrag onder verschillende omstandigheden te begrijpen (bijvoorbeeld in de winter wanneer de brandstofcel actief is in plaats van de elektrolyser).

Figuur: Uitwisseling van energie met het externe net met het slimme EMS



2.5.7 Kosten SHPLES

Binnen dit project hebben we gekeken of het economisch haalbaar is om Nederlandse wijken te voorzien van lokale energieopslagsystemen, zoals het SHPLES, of dat het effectiever is om het net te verzwaren en energie op te wekken bij grote voorzieningen.

Hiervoor hebben we de 'total cost of ownership' (TCO) voor het SHPLES in verschillende systeemgroottes bepaald. Op basis van de inkoopgegevens van The Green Village en de huidige operationele kosten bedraagt de totale TCO voor het SHPLES op de The Green Village ongeveer 1 miljoen euro bij een gebruiksduur van 20 jaar.

Het was nodig om verschillende categorieën te definiëren om erachter te komen wat de invloed is van schaalvergroting. De categorieën zijn gebaseerd op gegevens van het CBS, dat het databestand "Kerncijfers van Wijken en Buurten 2021" (KWB) heeft gemaakt. Dit resulteerde in vijf categorieën: een buurt, een gemeenschap, een blok, een straat en een gemiddeld huishouden in Nederland.

Voor elke categorie worden de afmetingen van het systeem berekend. Er worden drie verschillende methoden gebruikt om de TCO te vergelijken. Eerst worden de kosten lineair geschaald, vervolgens worden de kosten verlaagd door gebruik te maken van warmteterugwinning, tot slot wordt de dimensionering nauwkeuriger gemaakt gebaseerd op een methode uit een paper van Li et al. (2023). Dit paper gaat over het opschalen van het SHPLES.

De prijzen voor elk onderdeel worden gevonden door desk research te doen en door input van de verschillende consortiumpartners. Op basis van deze prijzen was het voor 2023 en 2030 mogelijk om een voorspelling te doen voor de TCO. Er werd vastgesteld dat een

reductie van bijna 40% mogelijk was tussen lineaire schaalvergroting en schaalvergroting op basis van de methode van Li et al. (2023) in combinatie met warmteterugwinning. Het verschil tussen de duurste en laagste TCO is een afname van ongeveer 72%.

Stedin heeft gedetailleerde informatie aangeleverd om een kostenanalyse uit te voeren voor het verzwaren van het net. De kosten hiervoor bedragen volgens de methode van Stedin ongeveer €980,- per huishouden. Dit is echter zonder verbetering van het net voor het middenspanningsbereik, het tussenspanningsbereik, het hoogspanningsbereik en het ultrahoogspanningsbereik.

Tot slot kan worden geconcludeerd dat het verzwaren van het net een stuk goedkoper lijkt te zijn dan het aanschaffen van een geoptimaliseerd SHPLES. De vergelijking is echter nog niet helemaal compleet. Bij de kosten voor het SHPLES is de verbetering van het net niet meegenomen. En bij de kosten voor het verzwaren van het net is niet meegenomen dat het louter duurzame energie is wat door de leidingen loopt. Er is dus meer onderzoek nodig om een eerlijke vergelijking tussen deze kosten te maken.



Afbeelding: Joel Bosrup (Wintersol Energy) tijdens het ontwerpproces van SHPLES (foto Jurriaan Huting)

Kostenverlagende maatregelen

Daarnaast is het natuurlijk interessant om te kijken wat de verwachte kostprijs ontwikkeling is van een SHPLES en of er goedkopere manieren zijn om deel activiteiten van het systeem uit te voeren. Waterstofopslag is naast de arbeidskosten het duurste onderdeel, maar ondergaat niet de prijsverlaging van de complexere energiesystemen.

Een andere methode om kosten te verlagen, is af te stappen van volledige autonomie. Je kan het systeem zo dimensioneren dat pieken worden gedekt door het net en dat de basislast wordt gedekt door het SHPLES. Dit zou resulteren in een samenwerking tussen de twee in plaats van het kiezen voor het een of het ander.

Als een SHPLES al economisch levensvatbaar wordt, dan zijn er nog steeds een aantal andere effecten waarmee rekening moet worden gehouden. Ten eerste is de verwachte uptime van de stroomvoorziening in het geding. Het kan voorkomen dat een systeem problemen heeft en daarom moet worden afgesloten. Op dit moment kan het net kleine

uitschakelingen van systemen dekken door de energie van een andere locatie te krijgen. Als dezelfde uptime in de toekomst gewenst is dan zou je verschillende SHPLES-systemen met elkaar moeten verbinden, om de zekerheid te krijgen van het leveren van energie ten alle tijden. Dit zou nog steeds betekenen dat er een verbetering van het net nodig is en dat de SHPLES-en groter moeten zijn om een ander systeem van energie te voorzien wanneer een systeem een probleem heeft. Dit zou de kosten per systeem verhogen.

Ten tweede kunnen de prijzen per systeem erg verschillen. De genivelleerde energiekosten zijn gebaseerd op hoe optimaal elk systeem is ontworpen voor de locatie en de mate waarin het past in het gebruikersprofiel. Dit zal leiden tot verschillende energieprijzen per gebied, wat een gevaar kan vormen voor de concurrentie op de markten. SHPLES-en nemen ook de mogelijkheid weg om over te stappen naar een andere energieleverancier, wat betekent dat maar weinig bedrijven de markt kunnen betreden en er risico is op monopolievorming. De overheid zal hier dus een rol in moeten spelen.

Een derde interessant punt om rekening mee te houden is dat iedereen binnen een buurt mee moet doen aan de overstap naar een SHPLES. Iedereen moet PV-panelen op zijn dak hebben om het project mogelijk te maken. Dit kan frictie veroorzaken tussen huishoudens wanneer niet iedereen wil overstappen of zo'n systeem dicht bij huis wil hebben. Huishoudens die in de buurt van het SHPLES wonen, kunnen hinder ondervinden van het systeem. Het plaatsen van een dergelijk systeem in de buurt van huishoudens brengt ook veiligheidsuitdagingen met zich mee. De regelgeving moet streng en duidelijk zijn om ervoor te zorgen dat de systemen veilig werken.

Uiteindelijk moet je ook de conclusie trekken dat het geen keuze is tussen verzwaren of een systeem zoals SHPLES. Je zal het net naar de huishoudens alsnog moeten verzwaren om dat de elektriciteitsvraag van huishoudens waarschijnlijk zal toenemen. De grootste winst zit dus niet bij de huishoudens zelf, maar bij het ultrahoge tot middenspanningsbereik. Bij de implementatie van een geoptimaliseerd SHPLES moet dus ook vooral gekeken worden naar de rol van netwerkexploitanten.

2.5.8 Veiligheids- en milieustudie

Belangrijke onderdelen van het realiseren van een SHPLES zijn het doorlopen van het vergunningstraject en het uitvoeren van een veiligheids- en milieustudie. De kennis die binnen dit project werd opgebouwd, is zeer relevant voor zowel de volgende fase van het project als voor derde partijen die vergelijkbare projecten willen ondernemen. In deze activiteit hebben we benodigde veiligheidsstudies uitgevoerd en deze laten toetsen door een onafhankelijke commissie. De bevindingen zijn uiteraard opgevolgd en goed gedocumenteerd.

Over de learnings van dit traject is een artikel gepubliceerd 'Een veilig seizoensgebonden energieopslagsysteem op basis van waterstof voor de gebouwde omgeving'. Dit artikel is via The Green Village vrij toegankelijk is meer dan 100 keer opgevraagd. De volgende inzichten worden hierin beschreven:

Er zijn weinig richtlijnen of normen voor kleine, lokale waterstofsysteem. Door het ontbreken van referentieprojecten was het een flinke zoektocht hoe de industriële standaarden vertaald moesten worden naar praktische implementatie. Daarom is er een zeer uitgebreid veiligheidsonderzoek uitgevoerd en een onafhankelijke toets gedaan op

kwaliteit en volledigheid. Het uitbesteden van de veiligheidsstudies was geen optie aangezien dit hand in hand gaat met het ontwerpproces.

Door dit project te behandelen alsof het een industrieel project betreft, zou je kunnen zeggen dat deze aanpak te zwaar is geweest. Het projectteam kreeg af en toe te maken met weerstand van belanghebbenden over de tijd en kosten die gepaard gingen met de veiligheidsstudies. Terugkijkend op alle documentatie die is opgeleverd, heeft ieder stuk echter geleid tot waardevolle inzichten.

We adviseren vergelijkbare toekomstige projecten daarom dezelfde grondige aanpak te hanteren. Werken in de bebouwde omgeving vraagt om zorgvuldigheid. Dit type systemen zullen voorlopig maatwerk blijven. Het simpelweg kopiëren van maatregelen die zijn getroffen in andere projecten volstaat dan niet. Een gedegen veiligheidsstudie zal nodig zijn om het systeem in zijn omgeving te onderzoeken. Onderschat dit onderdeel dus niet in de begroting en planning. De verwachting is dat het proces bij volgende projecten efficiënter kan verlopen door te werken met een meer gestandaardiseerd proces en gebruik te maken van goede templates en voorbeelden. De best practices en documenten die bij TU Delft zijn ontwikkeld, kunnen daarvoor worden gebruikt.

Bijzonder aan het SHPLES is dat het werd uitgevoerd op terrein van TU Delft. Het is goed mogelijk dat toekomstige projecten zich bevinden in de openbare ruimte, bijvoorbeeld in een woonwijk. Op de campus van TU Delft hebben we te maken met Arbowetgeving en zijn de verantwoordelijkheden om aan die wetgeving te voldoen duidelijk belegd. Maar wie pakt in de woonomgeving de rol die in ons project door de toetsingscommissie werd vervuld? En wie is na oplevering van het systeem verantwoordelijk voor de veiligheid ervan? Wie houdt in de gaten dat wijzigingen in de omgeving van het systeem mogelijk zullen moeten leiden tot wijzigingen aan het systeem zelf om de veiligheid te kunnen garanderen? Dit zijn vragen die de stakeholders van toekomstige projecten zullen moeten beantwoorden.

Ondernemers die kleine waterstofinstallaties op de markt willen brengen, zullen veel doorzettingsvermogen nodig hebben. Zij moeten rekenen op weken of maanden werk voor de veiligheidsstudies en documentatie. Goede ondersteuning aan deze pioniers in de vorm van subsidies en beschikbaar stellen van expertise is noodzakelijk voor de versnelling van de ontwikkeling van dergelijke systemen. Het belang van een snelle en veilige energietransitie is per slot van rekening een maatschappelijk belang.

Tot slot willen we de oproep doen aan adviesbureaus, ingenieursbureaus, overheden, energieondernemers en alle anderen om hun kennis actief te delen. Er is voor geen enkele partij voordeel te behalen om kennis achter te houden vanuit de gedachte van concurrentievoordeel of simpelweg gebrek aan tijd om de kennis beschikbaar te stellen aan anderen. De energietransitie heeft haast. Als we de klimaatdoelen willen halen dan zullen we dat samen moeten doen.

2.6 KPI-tabel resultaten

KPI	Omschrijving
TRL bij start	4
TRL bij afsluiting	7
Vervolg	Opschaling van de hardware van het systeem van één woning naar de schaal van een wijk (acht woningen, kantoor, meeting rooms, conferentie centrum) en optimaliseren van de grid interactie.
Aantal verwachte peer-reviewed publicaties	Drie: A. Titel: 'Design and Implementation a Local Energy Hub for Urban Environment' Authors: Fu, Aihui; Cvetkovic, Milos Conference: 52nd IEEE Photovoltaic Specialists Conference B. Titel: 'A Multi-Stage Energy Management Approach Incorporating Seasonal Hydrogen Storage in a PV-BESS-Electrolyzer-Fuel Cell System' Authors: Fu, Aihui; Cvetkovic, Milos Conference: Innovative Smart Grid Technologies (ISGT) Europe 2024 C. (Dissertation) Titel: 'Self-Organizing Voltage Regulation in the Distribution Networks' Authors: Fu, Aihui Promotor: Prof. dr. P. Palensky Co-promotor: Dr. M. Cvetkovic
Aantal gerealiseerde peer-reviewed publicaties	Geen, maar verwachting is dat bovenstaande publicaties A en B een doi krijgen.
Aantal gerealiseerde niet-peer-reviewed publicaties	Eén: 'Een veilig seizoensgebonden energieopslagsysteem op basis van waterstof voor de gebouwde omgeving' gepubliceerd door The Green Village
Aantal aangevraagde patenten	Geen
Aantal verleende licenties	Geen
Aantal prototypes	Geen
Aantal demonstrators	Twee: <ul style="list-style-type: none"> Een werkend seizoensopslag systeem op basis van waterstof (24/7 Energy Hub) Een Energie Management Systeem (EMS): software om de 24/7 Energy Hub slim aan te sturen.
Aantal spin-offs/ spin-outs	Geen
Aantal nieuwe of verbeterde producten/ processen/ diensten geïntroduceerd	Voor het eerst dat binnen Nederland een werkend seizoensopslag systeem op basis van waterstof gecombineerd met een intelligent EMS is opgeleverd.
Impact	Het project heeft waardevolle informatie opgeleverd voor het subsidiethema 'decentrale productie van waterstof via elektrolyse'. Door het testen met een pv-elektrolyser combinatie en verschillende aanstuurscenario's zijn er belangrijke inzichten vergaard voor de productie van groene waterstof. Kostprijsstudies hebben laten zien wat er nodig is om dit soort systemen in de toekomst financieel haalbaar te maken.

2.7 Discussie

Het gebruik van waterstof in de gebouwde omgeving kent zowel voor- als nadelen. De hoge energiedichtheid zorgt ervoor dat je veel energie kan opslaan in een relatief klein volume en dat seizoensopslag in beeld komt. De kosten voor productie en opslag zijn echter nog erg hoog. Dat komt maar deels door de dure apparaten zelf. Het zijn ook de vele veiligheidssystemen en veiligheidsstudies die het een kostbare aangelegenheid maken.

Maar als men het overweegt om zo'n systeem te gaan realiseren dat is één van de belangrijke vragen wat een redelijke grootte is voor de elektrolyser. Hoe vaak gaat het systeem het maximale vermogen echt gebruiken? Aan de andere kant bieden grotere elektrolysers wel meer flexibiliteit en dat is bij dit soort opstellingen van groot belang.

Hetzelfde geldt min of meer voor de brandstofcel. Maak je die zo groot dat het altijd aan de piekvraag naar vermogen kan voldoen? Of is het logischer om de brandstofcel te dimensioneren op basis van het gemiddelde vermogen en te vertrouwen op de batterij voor de pieken? Het is echt een spel van verhoudingen. Meer praktijk ervaring met verschillende opstellingen moet hier meer richting in gaan geven.

Met betrekking tot de compressor lijkt het dat je die redelijk klein kan houden als je een middendrukbuffer gebruikt, maar omdat de elektrolyser nauw moet samenwerken met de compressor is het wel belangrijk om deze twee systemen als in goede harmonie te ontwerpen.



Afbeelding: de woning waarvoor het prototype van SHPLES is ontworpen (afbeelding Lidewij van Trigt)

2.8 Conclusie en aanbevelingen

Het doel van het SHPLES-project was om een belangrijke stap te maken in de ontwikkeling van een hybride energieopslagsysteem voor het gebruik in de wijk en gebruikmakend van waterstof. De waarde van het project zat in zowel het onderzoeken van hoe je slim groene waterstof produceert en hoe je het best met waterstof als opslagmedium om kan gaan in de gebouwde omgeving.

Tijdens het project was te zien dat de *elektrolyser* worstelde met een trage acceleratiesnelheid en een hoog minimaal vereist vermogen, waardoor het minder efficiënt was in het aanpassen aan de variaties in zonne-energie. Dit werd vooral duidelijk toen het 85 seconden duurde om op te starten van 60% naar 100% vermogen. Het was interessant om te achterhalen hoe het systeem zelf zo min mogelijk energie zou gebruiken. Het stroomverbruik hangt niet alleen af van de elektrolyser, maar ook van de bijbehorende balance-of-plant (BOP), d.w.z. stroomomzetters, koelvloeistofpompen, ventilatoren, kleppen en andere elektrische apparatuur. Daarbij viel in dit project op dat de elektrolyser efficiënter wordt bij een lagere productiesnelheid. Hier moet wel bij gezegd worden dat de verschillen miniem waren.

Wanneer zonnepanelen een plotselinge stroomdaling ondervinden door bewolking, kunnen twee strategieën de impact van dit soort korte termijnvariaties op een elektrolyser beheersen. De eerste is om de elektrolyser op hoge capaciteit te laten draaien en elektriciteit aan te vullen vanuit het elektriciteitsnet of een batterij. Bij de tweede strategie wordt de productie van de elektrolyser aangepast aan de beschikbare zonne-energie. De gekozen ontwerprichting moet per situatie worden bepaald en hangt samen met de gekozen elektrolyser en de specifieke doelen van het energiesysteem.

Voor het slim gebruikmaken van waterstof in de gebouwde omgeving kunnen we op basis van dit project stellen dat start-stop cycli van de elektrolyser zo veel mogelijk moeten worden beperkt en dat goede voorspellingen van de opwek van zonne-energie essentieel zijn. De timing voor starten en stoppen van elektrolyser zijn cruciaal, vooral op bewolkte dagen, om te voorkomen dat de limieten voor aan/uit-cycli worden overschreden.

Wanneer we kijken naar het *grotere systeem* dan is het belangrijk om de conversieverliezen in de gaten te houden. Een relatief eenvoudig verbeterpunt is het voorkomen van de omzetting van gelijkspanning naar wisselspanning binnen het systeem. Dat lijkt een onnodige stap waarbij kostbare energie verloren gaat.

Ook in de verhoudingen van verschillende componenten valt veel te experimenteren. Hoeveel kleiner kan het waterstofdeel van het systeem zijn als er een grotere batterij wordt gebruikt? Hoe verhoudt de batterij zich tot de brandstofcel? Kan je de avondpieken opvangen door de batterij en de brandstofcel slim samen te laten werken?

Het SHPLES-systeem is geschikt gebleken voor het opslaan van zonne-energie van de zomer naar de winter. Er zijn nog veel vragen te beantwoorden en optimalisaties mogelijk en de kosten zijn nog relatief hoog. Daar staat tegenover dat seizoensopslag via batterijen (met de huidige beschikbare batterijtechnologieën) zowel qua kosten als ruimtegebruik geen realistisch alternatief vormt. In dit project stellen we ook vast dat het – in het kader van energie-efficiëntie – in vrijwel alle scenario's niet logisch is om voor korte termijnopslag waterstof te produceren. Je kan bij onvoldoende elektriciteit voor de zomernacht beter aanspraak maken op een grotere batterij dan waterstofbuffer aan te spreken.

3 Uitvoering van het project

3.1 Problemen (technisch en organisatorisch) en oplossingen tijdens project

Technisch: De ontwikkeling van het EMS verliep soepel. Er hebben zich wel technische problemen tijdens de bouw van het 24/7 Energy Hub systeem voorgedaan (welke allen zijn opgelost) maar dit valt buiten de scope van het SHPLES project.

Organisatorisch: Vanwege het faillissement van Nedstack ontstond het risico dat Activiteit 2.4 (Integratie aansturing brandstofcel in EMS) beperkt opgeleverd kon worden. In het projectplan was beschreven dat Nedstack hierbij zou ondersteunen en learnings zou halen uit de werking van de brandstofcel icm het EMS.

De integratie van de brandstofcel was ook uitvoerbaar op basis van eigen kennis en opgedane kennis eerder in het project door consortiumpartner Wintersol. Daarom heeft Wintersol de resterende werkzaamheden op zich genomen en zijn de resterende uren ook aan Wintersol gealloceerd.

3.2 Toelichting op wijzigingen tov het projectplan

Verlenging einddatum project: Tijdens het project bleek dat de doorlooptijd van de bouw van het systeem en de doorontwikkeling van het HSE plan veel meer uren heeft gekost dan aanvankelijk gedacht. De bouw van het systeem valt niet binnen de scope van het SHPLES project, maar is wel randvoorwaardelijk om de verschillende componenten en het EMS te kunnen testen en valideren. Het HSE plan is wel onderdeel van het SHPLES project. Om toch alle activiteiten van het projectplan uit te kunnen voeren is uitstel van de einddatum met zes maanden aangevraagd. Mogelijk extra gemaakte uren zijn voor eigen rekening van de consortium partners. TKI heeft deze aanvraag goedgekeurd.

Aanpassing activiteiten: Alle beloofde resultaten zijn behaald. De in het projectplan beschreven activiteiten zijn allen uitgevoerd. Er is nog een extra studie rondom opschaling en warmte uitgevoerd door consortiumpartner Haagse Hogeschool. Voor een betere uitvoerbaarheid zijn soms activiteiten samengevoegd of herverdeeld onder de consortiumpartners. Deze kleine verschuivingen zijn in de tussentijdse rapportages beschreven. Hieronder nog een beknopt overzicht van deze aanpassingen:

- Activiteit 1.3 'Configuratie warmte-opslag' en 2.5 'Integratie aansturing warmtebuffer in EMS' zijn in andere activiteiten opgepakt en deze activiteiten hebben inhoudelijk een bredere scope gekregen.
- Activiteiten 1.1, 1.2, 2.2, 2.3 en 2.4 zijn in het rapport samengevoegd waardoor het makkelijker werd om de resultaten op component niveau te rapporteren (electrolyzer, compressor en brandstofcel).
- Activiteit 3.1 'Total cost of ownership vergelijking SHPLES systeem versus netverzwaringsinvestering' EN 'Activiteit 3.2 Inventarisatie SHPLES systeem kostprijsverlagende maatregelen/impact van schaalvergroting' zijn samengevoegd in één rapport.

3.3 Toelichting op verschillen tussen begroting en werkelijk gemaakte kosten

Het resterende budget van Nedstack na hun faillissement bedroeg 63 uur a €60,- = €3.780 -> subsidiepercentage 50% = €1890,-. Dit is toegekend aan consortiumpartner Wintersol, aangezien deze partner de resterende werkzaamheden op zich neemt. Deze aanpassing is akkoord bevonden door de overige consortium partners en het TKI.

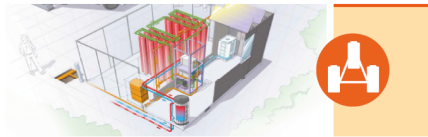
In het project zijn meer kosten gemaakt (uren) dan aanvankelijk was verwacht. Deze kosten zijn voor eigen rekening van de consortiumpartners.

3.4 Toelichting op wijze van kennisverspreiding

Het SHPLES project is gedurende de gehele looptijd uitvoering toe gelicht op verschillende podia en naar verschillende doelgroepen.

Meetings	<ul style="list-style-type: none">• Workshop safety in energy/H2 projects met Omgevingsdienst Haaglanden, adviseurs gevaarlijke stoffen• Workshop safety in hydrogen projects met Hogeschool Arnhem-Nijmegen• Case day H2 Aanjagers van Technologie
Bezoekers	<ul style="list-style-type: none">• The Green Village trekt gemiddeld 20.000 bezoekers per jaar. Al deze bezoekers werden geïnformeerd over het SHPLES project.
Seminars & Podcasts	<ul style="list-style-type: none">• Presentatie bij World Hydrogen Summit in Rotterdam• Podcast Breman• Kivi lunchwebinar• Poster for Delft Climate Hub Symposium• Presentatie TKI innovatiemiddag waterstof• Poster TKI innovatiedag• Posters bij TU Delft Hydrogen Research & Innovation Event

Enkele voorbeelden van posters en linkedin posts waarin informatie delen over het project:



H2-26 SHPLES: Smart Hydrogen Powered Local Energy Systems

Door capaciteitsproblemen op het landelijke elektriciteitsnet is het zaak op zoek te gaan naar oplossingen waarin lokaal opgewekte duurzame energie, lokaal wordt opgeslagen en gebruikt. Binnen deze oplossing is insatensopslag de grote uitdaging. Het SHPLES-project is een belangrijke stap naar de ontwikkeling van een energiesysteem dat een hele wijk of gebied het gehele jaar door van duurzame energie voorziet door energie voor langere tijd op te slaan in de vorm van waterstof. De activiteiten binnen het project zijn gefocust op het optimaliseren van het samenstel tussen productie, opslag en gebruik. Er wordt zoveel gewerkt aan een doorontwikkeling van de configuratie als aan het ontwikkelen van een aansluitingssysteem. Het resultaat is een compleet geïntegreerd en gevalideerd lokaal energiesysteem dat aantrekkelijk is voor gebruikers en het elektriciteitsnet ontlast.



OP project is mede mogelijk gemaakt door een subsidie van TKI Nieuw Gas | Topsector Energie in het kader van de waterstofstrategie.



Scan voor meer informatie over dit project.

Energy Management System for 24/7 Energy Access

Aihui Fu, Milos Cvetkovic, Miro Zeman
Department of Electrical Sustainable Energy, Delft University of Technology

1. 24/7 Energy Lab at The Green Village

The energy system is composed of four primary components: PV panels (6 MWp), a small household (with an annual electricity consumption of 2200 kWh), a lithium-ion battery (24 MWh), and a hydrogen system. The lithium-ion battery performs the daily energy balance, while the hydrogen system addresses the seasonal energy imbalance.

Figure 1: The schematic of the 24/7 energy lab

2. Four-stage receding horizon optimization approach

The four-stage energy management approach, based on receding horizon optimization, is designed to balance power fluctuations in an energy system with hydrogen and lithium-ion batteries. This proposed method combines long-term and short-term optimization to ensure that hydrogen production can address seasonal power imbalances, while the battery can handle daily power fluctuations.

Figure 2: The scheme of the four-stage receding horizon optimization algorithm

The one optimization:
Time-obj: 1 month, Time-horizon: 1 year
Input: The predicted data for renewable energies and loads
Output: Hydrogen production and electricity demand

The daily optimization:
Time-obj: 1 day, Time-horizon: 1 month
Input: The predicted data for renewable energies and loads
Output: Hydrogen storage or consumption of one day

The short optimization:
Time-obj: 15 minutes, Time-horizon: 24 hours
Input: The predicted data for renewable energies and loads
Output: Fuel cell, electrolyzer and battery power schedule

3. Time-series optimization takes care of unpredictable fluctuations

To ensure that the battery is always prepared for unexpected energy requirements, the day-by-day optimization stage begins by checking the state of charge (SOC) of the battery. This helps to maintain a sufficient level of stored energy, allowing the system to respond effectively to any sudden changes in demand or generation.

Figure 3: The flow chart of the EMS algorithm

4. Option modes and results

To cater to the diverse needs and objectives of different owners or users, the Energy Management System offers various optimization modes to maximize the benefits of the system. These modes provide flexibility and customization to the users, ensuring that their specific priorities are addressed.

Mode 1: Zero power exchange with the grid
Mode 2: Minimum peak
Mode 3: Maximum profit on the energy
Mode 4: Most suitable balance service supply to grid operator and external actors

Figure 4: Simulation results on 1st July with Mode 2

The Green Village
8,770 followers
3mo • Edited •

☀️ De zon schijnt eindelijk! Goed nieuws, want op The Green Village gebruiken we een deel van de opgewekte zonnestroom om met een **#seizoensenergieopslagsysteem** binnen 24/7 Energy Hub groene waterstof te maken. Een **#pioniersproject**, dat niet tot stand had kunnen komen zonder **Stichting Goede Grutten**. Zij stapten al vroeg in dit project, waardoor later meer financiers volgden.

💧 Nu er op zonnige dagen een overschot aan zonne-energie is, slaan we dit overschot op in de vorm van **#waterstof**. In de winter, wanneer de zonnepanelen een stuk minder opbrengen, zetten we dat weer om naar elektriciteit voor een van de bewoonde huizen op ons terrein.

🌱 Professor Miro Zeman benadrukt het belang van dit onderzoek: "Voor zelfvoorzienende energiegemeenschappen is een slimme en goed functionerende **#energiehub** noodzakelijk om de energieleveringszekerheid te garanderen. Een combinatie van zonnepanelen met opslag in batterijen en waterstof kan een goede basis vormen voor een energy hub."

Lees meer over het Seasonal Storage System ➡️ <https://lnkd.in/dHMcR3Vj>

👤 **Robèrt Kroonen**

Delft University of Technology | TU Delft Campus | TU Delft | Electrical Engineering, Mathematics and Computer Science | Wintorsol Energy | HyET Hydrogen B.V. | Universiteitsfonds Delft | Topsector Energie | Joel Bosrup

Show translation

The Green Village
8,770 followers
7mo •

💧 Met het Seasonal Storage System produceren we dagelijks groene **#waterstof** op The Green Village. Om deze waterstof efficiënt op te kunnen slaan, is een **#compressor** nodig. Daarmee verkleinen we de hoeveelheid waterstof, zodat het in minder ruimte in de cilinders op ons fieldlab past.

👤 We spraken **Joel Bosrup**, ingenieur van het Seasonal Storage System, en **Leonard Raymakers** van HyET Hydrogen B.V. over dit unieke project. Want het is de eerste keer dat een kant-en-klare HyET-compressor is geïntegreerd in een specifieke omgeving.

🚗 Dat was verre van plug-and-play, volgens Joel: "Je kunt de compressor vergelijken met de motor van een auto. De auto moesten we er nog omheen bouwen."

Leonard en Joel zijn erg positief over de samenwerking. Benieuwd naar hun ervaring? Lees het interview ➡️ <https://lnkd.in/ei45q294>

👤 **Jurriaan Huting**

#toekomstigenersysteem #energietransitie
Delft University of Technology | TU Delft Campus | Wintorsol Energy | De Haagse Hogeschool / The Hague University of Applied Sciences | Nedstack Fuel Cell Technology | Milos Cvetkovic | Aihui Fu | Sander Mertens | Joep de Groot

Show translation



3.5 Toelichting PR project en verdere PR-mogelijkheden

Het promoten van seizoensopslag met waterstof in de gebouwde omgeving is een delicaat proces. De verwachting is dat deze oplossing nog verder doorontwikkeld moet worden en in kosten moet gaan dalen voordat het serieus overwogen gaat worden.

Wat voorlopig het best gedaan kan worden is om de dialoog aan te gaan met de relevante professionele organisaties zoals bedrijven in de keten, zoals netbeheerders en producenten van waterstofapparatuur, maar daarnaast ook net zo belangrijk met lokale overheden, zoals omgevingsdiensten en milieuorganisaties.

Met al deze organisaties kunnen we ons ervaringen delen en de kennis rondom dit onderwerp laten groeien. Blijven luisteren naar de lokale wensen zal een essentieel onderdeel van de aanpak moeten zijn. Dit om een goede balans te krijgen in de beeldvorming rond de voordelen, maar ook rondom de algemeen heersende beeld van met betrekking tot de veiligheidsrisico's van het toepassen van dit soort systemen in de gebouwde omgeving.

Met betrekking tot specifieke pr en communicatie rondom het SHPLES project zullen we ook na het project actief blijven. De binnen dit project gebruikte setup zal nog actief blijven. Er staan nog enkele extra test gepland met de huidige installatie. Vervolgens is er ook een plan om de setup te gaan uitbreiden om te kijken wat de voordelen zijn van een groter systeem. We zullen in toekomstige pr activiteiten en communicatie blijven refereren aan het SHPLES project en de daarin behaalde resultaten.



Afbeelding: bezoek Zweedse Koning aan SHPLES (mei 2024) (foto Robert Kroonen)