

Een veilig seizoensgebonden energieopslagsysteem op basis van waterstof voor de gebouwde omgeving

Inzichten vanuit het TU Delft programma 24/7 Energy Hub

18 oktober 2023



Inleiding

De energietransitie van de bebouwde omgeving brengt grote uitdagingen met zich mee. Gebouwen moeten van het gas af. De toename van warmtepompen, elektrische auto's en duurzame, decentrale elektriciteitsproductie zorgen voor netcongestie. Het energielandschap zal gaan bestaan uit lokale 'energy hubs': één lokaal knooppunt, waar het aanbod van een of meer hernieuwbare energiebronnen wordt afgestemd op de vraag naar energie door middel van conversie, opslag en slimme apparatuur. Hier komen nieuwe uitdagingen bij kijken, bijvoorbeeld doordat energiebronnen zoals zon en wind veel meer flexibiliteit vereisen vanwege de variërende aanwezigheid hiervan. Op The Green Village, het fieldlab voor duurzame innovatie op de TU Delft Campus, loopt een project dat de energietransitie in de bebouwde omgeving moet versnellen; TU Delft ontwikkelt samen met enkele partners een seizoensgebonden energieopslagsysteem om in de zomer lokaal opgewekte duurzame energie op te slaan voor gebruik in de winter. Dit gebeurt door in de zomer waterstof te maken en op te slaan en in de winter te gebruiken. De bouw van dit 'Seasonal Storage System (SSS)' maakt onderdeel uit van het TU Delft programma 24/7 Energy Hub.

De productie en toepassing van groene waterstof in de gebouwde omgeving is zeer innovatief. Ondanks alle kennis van het gebruik van waterstof in de industrie, moet men bij het bouwen van een kleinschalige waterstofinstallaties in een omgeving waar mensen wonen grotendeels het wiel opnieuw uitvinden. Best practices over het beperken van de risico's tot een acceptabel niveau bestaan hiervoor nog niet. Ook al is het merendeel van de onderdelen van het systeem 'van de plank', toch is het een flinke zoektocht naar kennis en kunde, waarbij de adviezen van verschillende experts moeten worden afgewogen.

Een van de belangrijke resultaten (en het meest onderschatte deel) van het project 'Seasonal Storage System' zijn de inzichten op het gebied van de veilige toepassing van waterstofsysteemen in de gebouwde omgeving. De kwaliteit en veiligheid van het systeem hebben in dit project de hoogste prioriteit.

Dit artikel beschrijft de manier waarop de veiligheid van het systeem wordt gewaarborgd en welk proces doorlopen is om dat te realiseren. Verwacht geen algemene handleiding of best practices voor waterstofprojecten in de gebouwde omgeving. De schrijvers hopen wel dat de inzichten van dit project anderen, die betrokken zijn bij de ontwikkeling van een kleinschalig waterstofproject, helpen om het proces vlotter te doorlopen en te komen tot een hoog veiligheidsniveau. Neem contact op voor meer informatie over de veiligheidsstudie. Of om feedback te geven waarmee het Seasonal Storage System kan worden verbeterd.

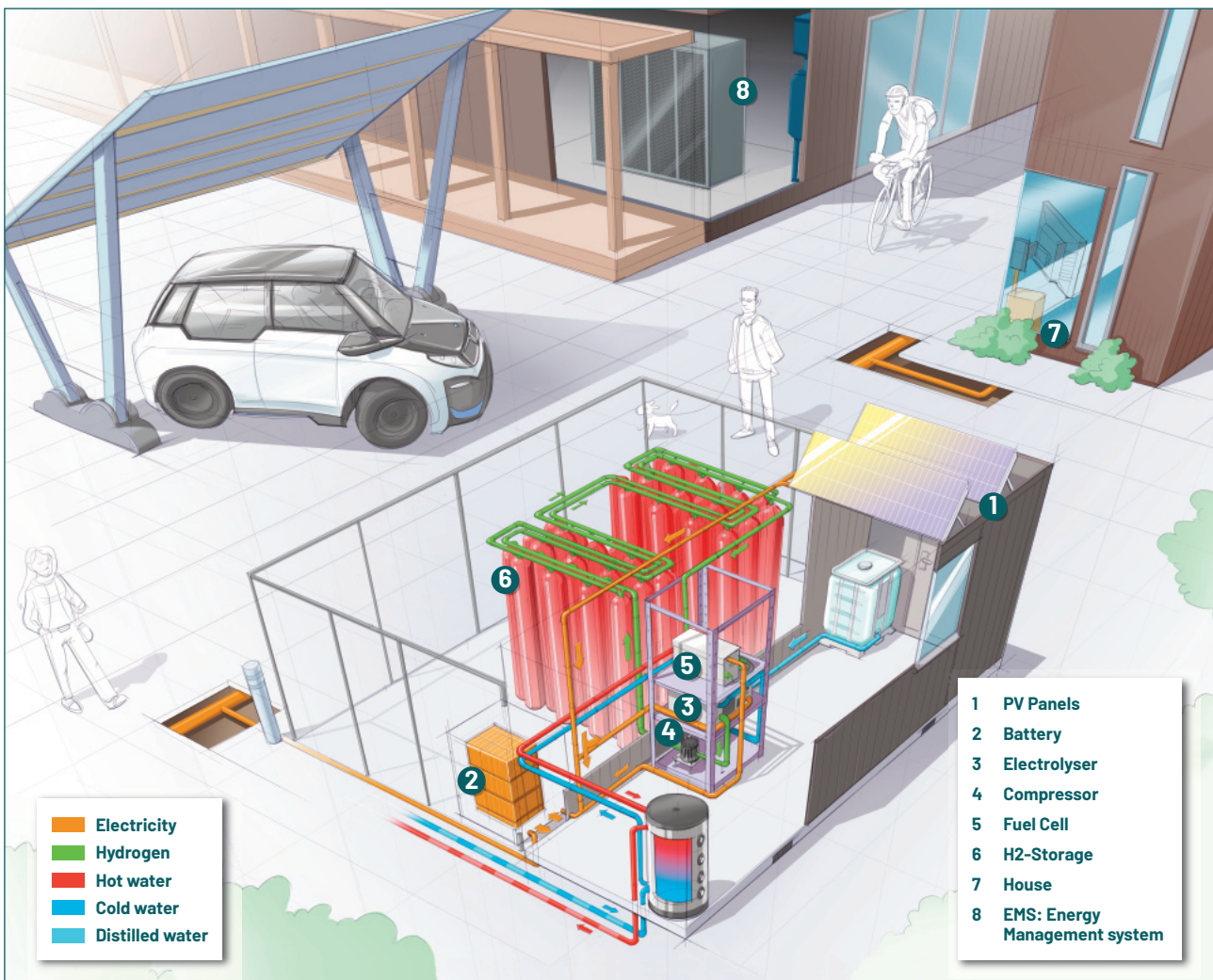
Seizoensgebonden energieopslagsysteem op basis van waterstof

Seasonal Storage System is een seizoensgebonden energieopslagsysteem om in de zomer duurzaam opgewekte energie op te slaan voor gebruik in de winter. De schematische weergave en component-informatie van het Seasonal Storage System wordt getoond in Figuur 1. Als in de zomer de zonnepanelen zorgen voor een overschot aan elektrische energie, wordt dit overschot deels opgeslagen in een batterij en deels gebruikt voor de productie van waterstof: door middel van een electrolyser wordt de elektriciteit afkomstig van zonnepanelen omgezet in waterstof. Dit gas wordt onder druk opgeslagen in gascilinders. In het geval van een tekort aan elektriciteit gedurende de dag

kunnen de batterijen direct bijspringen en tijdens de winter kan de waterstof weer omgezet worden in elektriciteit door middel van een brandstofcel.

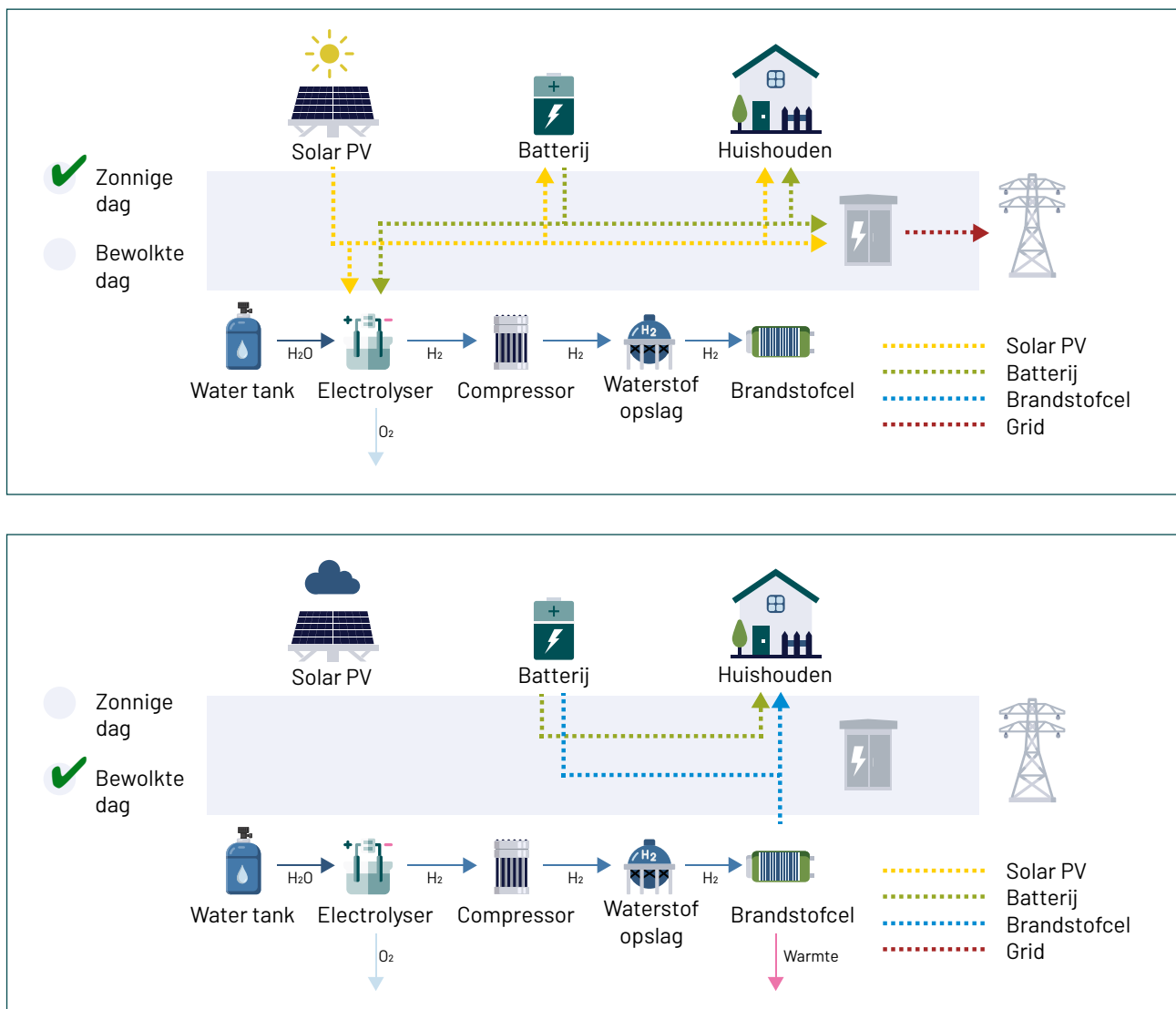
De grote technische uitdaging ligt in het met elkaar laten samenwerken van al deze componenten, en de aansturing daarvan. Elektriciteit, gas en warmte worden nu nog apart van elkaar gedistribueerd door de straat, maar dat gaat veranderen. Een stabiel, duurzaam energiesysteem vraagt om conversies tussen elektriciteit, waterstof en warmte, met elk zijn eigen buffermogelijkheden.

De aansturing van het systeem bepaalt in grote mate de efficiëntie. Is het handig om de hele dag door water-



stof te maken, of juist niet? En hoeveel energie sla je op in elektrische batterijen? Het systeem wordt uitgerust met vele sensoren en de data wordt verzameld op het dataplatform van The Green Village. Die data kunnen vervolgens worden gebruikt om het Energie Management Systeem (EMS) te optimaliseren.

Seasonal Storage System is een leer- en demonstratieproject. Het systeem hoeft nog niet perfect te zijn. Na oplevering van de eerste versie zal het systeem stap voor stap worden verbeterd en uitgebreid.



Figuur 1: Schematische weergave en componentinformatie van het Seasonal Storage System

Een veilig seizoensgebonden energieopslagsysteem op basis van waterstof voor de gebouwde omgeving

Inzichten vanuit het TU Delft programma 24/7 Energy Hub

5

Huishouden (1 persoon, volledig elektrisch)	
Jaarlijks energieverbruik	2.200 kWh/jaar
Zonnepanelen	
Geïnstalleerde capaciteit	6 kWp
Jaarlijkse productie	~5400 kWh
Electrolyser (Enapter)	
Vermogen	2,4 kW (input)
Capaciteit	1kg H2 / 24u = 57,6 kWh
Compressor (HyEt)	
Vermogen	600 W (input)
Capaciteit	2 kg H2/ 24u
Brandstofcel (Nedstack)	
Vermogen elektrisch	2,3 kW (el)
Capaciteit elektrisch	13,3 kWh/kg H2
Vermogen thermisch	2,5 kW (th)
Capaciteit thermisch	14,5 kWh/kg H2
Waterstofopslag	
Capaciteit	60 kg
Volume	2700 L (54 * 50 L)
Maximale druk	270 bar
Lithiumbatterij	
Capaciteit	15 kWh
Vermogen	5 kW



©Jurriaan Huijng

Over het project Seasonal Storage System

Omdat er nog maar weinig initiatieven in de markt zijn die zich richten op de ontwikkeling van seizoensgebonden opslagsystemen, besloten TU Delft (Faculty of Electrical Engineering, Mathematics & Computer Science) en fieldlab The Green Village in juni 2020 om het project Seasonal Storage System te starten. Het doel was het ontwikkelen van kennis op gebied van lokale 'energiehubs' en het creëren van een testfaciliteit voor wetenschappelijk onderzoek. Na een periode van haalbaarheidsonderzoek en voorbereiding gingen zij in januari 2021 een samenwerking aan met **Wintersol**¹. Dit bedrijf uit Utrecht ontwikkelt een kleinschalig waterstofsysteem dat ononderbroken toegang biedt tot hernieuwbare energie in de vorm van elektriciteit en warmte. Wintersol speelde vanaf dat moment een cruciale rol in het ontwikkelingsproces. Eigenaar Joel Bosrup was verantwoordelijk voor een groot aantal taken; simulaties en ontwerp, engineering, componentenonderzoek, bouw, veiligheidsstudies, documentatie, programmeren, testen, in bedrijf stellen van het systeem en delen van het projectmanagement. **TU Delft** heeft wetenschappelijke ondersteuning geboden bij onder andere de ontwikkeling van het energiemanagementsysteem. **The Green Village** leverde een bijdrage zowel op inhoud als op projectmanagement (inkoopproces, veiligheidsstudie, verkrijgen van budget). Het Arnhemse bedrijf **HyEt** brengt haar innovatieve elektrochemische compressor en waterstofkennis in. Ook twee andere partners sloten zich bij het projectconsortium aan: brandstofcelleverancier **Nedstack** en de **Haagse Hogeschool**.

Na ruim een jaar van voorbereidingen, werd in oktober 2021 de schep in de grond gezet en startte de bouw van het Seasonal Storage System. Parallel daaraan liep de verfijning van het ontwerp en het uitvoeren van veiligheidsstudies door. In juni 2023 produceerde de electrolyser voor het eerst waterstof als onderdeel van de testfase (*commissioning*). Het systeem is naar verwachting begin 2024 volledig operationeel.

Veiligheid in het ontwerp van Seasonal Storage System

Door de keuze voor het gebruik van waterstof op hoge druk in de gebouwde omgeving heeft het project een hoog risicoprofiel². Daarom moeten de veiligheidsstudies en de vergunningaanvraag professioneel aangepakt worden. De veiligheid van bewoners, bezoekers en medewerkers van proeftuin The Green Village gaat boven alles. Ook realiseren de initiatiefnemers zich dat een incident nadelige gevolgen kan hebben voor het imago van het gebruik van waterstof in de bebouwde omgeving. Nauwkeurigheid is dus van zeer groot belang.

Best practices over kleinschalige energiesystemen met waterstof zijn bijna niet voorhanden. In het project is bestaande kennis over industriële toepassing van waterstof en bestaande richtlijnen zoals PGS 15 en de European Pressure Directive vertaald naar de toepassing op kleine schaal in de gebouwde omgeving. Ontwerpkeuzes zijn tot stand gekomen in overleg met vele experts op deelgebieden en extern getoetst. De maatregelen volgen uit literatuuronderzoek, gesprekken met vele experts, uit berekeningen, werksessies en review van alle documentatie.

¹ Voor de transitie naar een volledig duurzaam energiesysteem is het cruciaal dat er meer oplossingen worden ontwikkeld voor de opslag van duurzaam opgewekte elektriciteit op seizoensbasis. Het Utrechtse bedrijf Wintersol introduceert een geheel nieuwe productcategorie, die voorziet in de behoefte om het energieverbruik volledig te vullen met lokaal opgewekte energie. www.wintersol.nl

² Waterstof is een licht en klein molecuul. Het kan makkelijk diffunderen door materialen, maar vervliegt ook snel. Waterstof kan materialen aantasten met lekkage tot gevolg. In slecht geventileerde ruimten ontstaat risico op ophoping. De veiligheidsrisico's van waterstof hebben vooral betrekking op het feit dat er veelal met hoge druk gewerkt wordt, dat het een lage ontstekingsenergie kent en bovendien met een slecht zichtbare vlam brandt. Waterstof is bovendien explosief in een breed concentratiegebied in besloten ruimtes bij aanwezigheid van zuurstof en een ontstekingsbron. Waterstof is geurloos, heeft een onzichtbare vlam en een snelle schokgolf bij explosie. Er gelden veiligheidsafstanden voor activiteiten met waterstof. Waterstof is niet toxisch, maar kan in hoge concentraties wel verstikkend zijn. Bronnen: <https://www.waterstofnet.eu/nl/waterstof/is-waterstof-veilig> en 'Waterstof in de energietransitie en omgevingsveiligheid', publicatie van Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 2022 (<https://open.overheid.nl/documenten/ronlf7602be284884b4001e06526810c7141a3a93a70/pdf>)

Risico's en veiligheidsmaatregelen

Figuur 2 geeft de plattegrond van het Seasonal Storage System weer met een schematische weergave van de onderdelen van de opstelling die in deze paragraaf een belangrijke rol spelen.

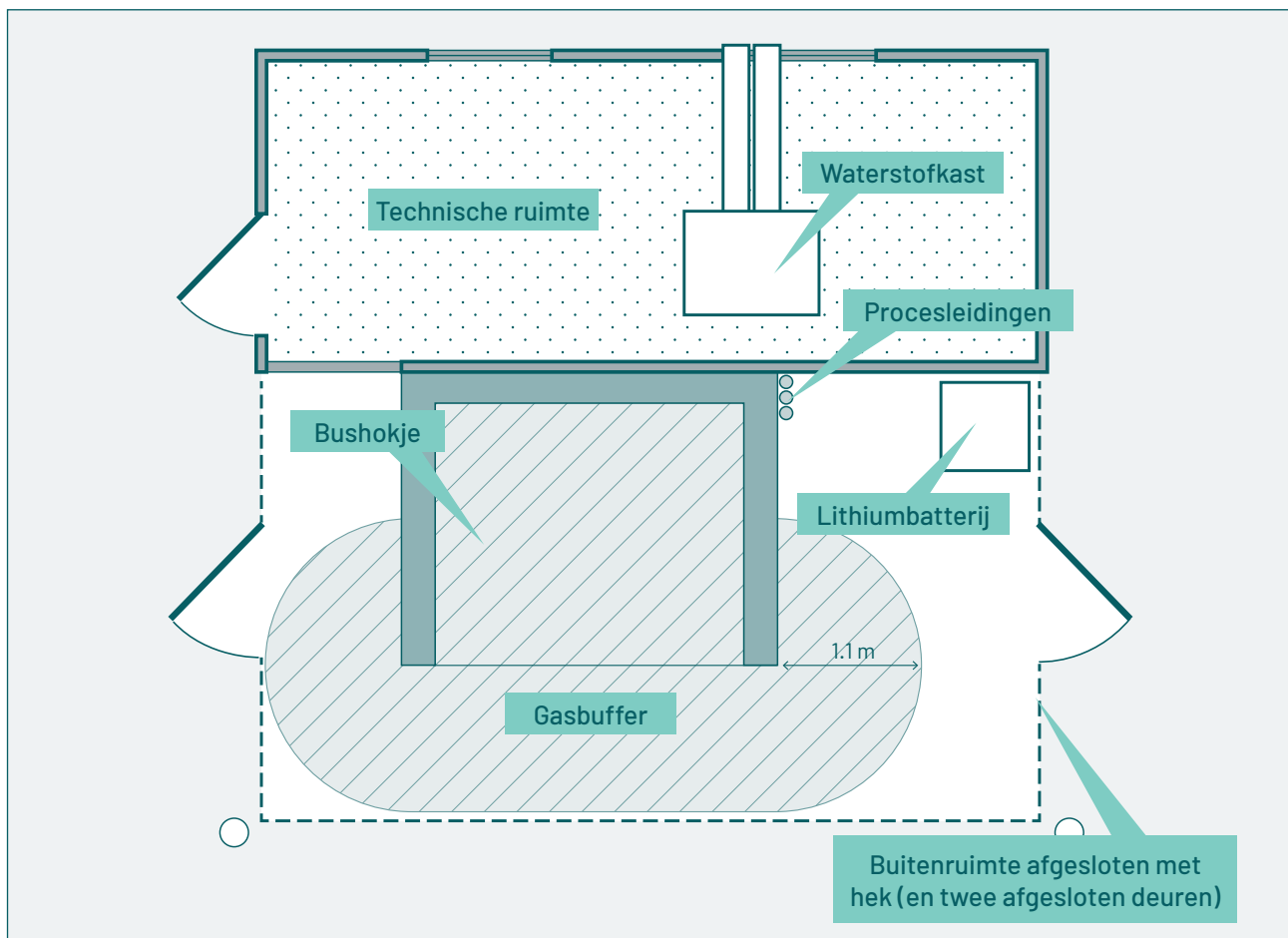
De grootste veiligheidsrisico's van het project Seasonal Storage System zijn de volgende:

1. Ophoping van waterstof in de technische ruimte als gevolg van een waterstoflek, wat leidt tot risico op brand en explosie.
2. Lekkage van waterstof uit buffer of aangesloten apparatuur (kleppen, regelaar, verbindingen, enz.), wat leidt tot het risico van een straalbrand met hoge temperatuur.

3. (Waterstof)overdruk in procesleidingen of waterstof-componenten, wat leidt tot risico op explosie.

4. Brand in de buurt van of veroorzaakt door de lithium-batterij, wat leidt tot batterijbrand met hoge temperatuur en het vrijkomen van giftige dampen.

Er zijn vele maatregelen getroffen om de risico's naar een acceptabel niveau te brengen. Een deel van de veiligheidsmaatregelen is gericht op het verkleinen van de kans. Een ander deel op het verkleinen van het effect. Er zijn technische en organisatorische maatregelen getroffen. Hieronder wordt ter illustratie een paar belangrijke veiligheidsmaatregelen uitgelicht.



Figuur 2: Plattegrond van het Seasonal Storage System

Noodstopcircuit

Het systeem is zo ontworpen dat het onbemand kan functioneren. Het is immers bedoeld voor de gebouwde omgeving en niet voor een industriële locatie. De PLC (*programmable logic controller*) is verantwoordelijk voor de aansturing van het systeem. Daaraan verbonden zijn diverse temperatuur- en druksensoren en beveiligingsmechanismen. Als zich een onvoorziene gebeurtenis voordoet, zal een deel van het systeem direct automatisch worden uitgeschakeld. Dat gebeurt als:

- Iemand op de noodstop drukt;
- Eén van de drie waterstofsensoren een bepaalde hoeveelheid waterstof detecteert;
- Eén van de drie rook- en hittemeters brand detecteert.

Wat niet wordt uitgeschakeld, is de verbinding met het elektriciteitsnet en met de batterij. De ventilatie zal automatisch naar een hoger niveau gaan.

Ventilatie van de technische ruimte

Ventilatie wordt toegepast om te voorkomen dat een eventuele lekkage van waterstof kan leiden tot ophopen van het gas, met brand of explosie tot gevolg. In de technische ruimte is alle apparatuur ondergebracht die een binnenklimaat vereist: elektrolyser, compressor en brandstofcel, maar ook ondersteunende apparatuur zoals besturingssystemen, vermogenselektronica, wassertank en waterbehandeling voor de elektrolyser en warmtemanagement voor de brandstofcel. De waterstofapparatuur bevindt zich in een stalen kast. Deze waterstofkast heeft een mechanisch ventilatiesysteem. Aan de onderzijde bevinden zich luchtinlaten, naast openingen voor kabels en leidingen. Vijf roestvrijstalen waterstofleidingen verbinden de waterstofkast met de buitenzijde. Boven de kast bevinden zich ventilatoren om voor voldoende luchtstroom door de kast te zorgen. Aan de bovenzijde zit een kap die de uitgaande lucht opvangt en via twee ventilatiekanalen naar buiten leidt. De enige manier waarop waterstof in de technische ruimte kan komen, is als het uit de waterstofkast zou ontsnappen. Door de afwezigheid van lekbronnen en de natuurlijke ventilatie die is aangebracht in de

technische ruimte kan deze ruimte als ongevaarlijk worden aangemerkt.

Gasbuffer

De gasbuffer is zo ontworpen dat de kans op lekkage van waterstof en ook het ontstaan van overdruk geminimaliseerd worden. De droger, de gascilinders en het regelpaneel bevinden zich buiten, in een brandwerende PGS15 (Publicatiereeks Gevaarlijke Stoffen 15)-conforme constructie met drie wanden en een dak (model "bushokje"). In PGS 15 zijn de eisen voor brandveiligheid, arbeidsveiligheid en milieuveiligheid samengevoegd. In formele zin is geen sprake van een opslagvoorziening conform PGS 15 omdat alle gascilinders permanent zijn aangesloten op de procesinstallatie. Uit het oogpunt van veiligheid en 'gezond verstand' is de PGS 15 wel als handvat gebruikt voor het ontwerp van de gasbuffer.

Aan de buitenmuur van de gasbuffer zijn veiligheids- en procesontluchtingsleidingen gemonteerd. In de gasbuffer is sprake van een zogenaamde ATEX-zone: een explosiegevaarlijke omgeving waar diverse technische en organisatorische regels gelden, zodat werknemers op een veilige manier hun werkzaamheden kunnen uitvoeren. Zo is de maximale werkdruk in de gasbuffer 270 bar en wordt er rekening gehouden met temperatuurstijgingen op warme dagen om overdruk te voorkomen. De lijst met technische maatregelen rondom het gasvoerende deel van het systeem is lang. Het ontwerp daarvan is gemaakt en verfijnd in diverse HAZOP-sessies. Ter illustratie laten we hier zien hoe terugstroming van waterstof uit de buffer naar de elektrolyser/compressor wordt voorkomen; er zijn twee terugslagkleppen en één magneetklep aangebracht in de leiding. Mocht een van de componenten falen dan vormen de andere componenten de back-up. Het testen van alle losse onderdelen en het totale systeem voordat het operationeel gaat, is ook een belangrijke veiligheidsmaatregel. Druk- en lektesten maken hier onderdeel van uit. Bij de opzet en uitvoering van die tests wordt samengewerkt met een gespecialiseerde en onafhankelijke partij.

Batterij

Het systeem is uitgerust met een lithiumbatterij (LiFePo₄). Onder bepaalde omstandigheden kan dit soort batterijen ontbranden ('thermal runaway'). Er zijn maatregelen getroffen om dit tegen te gaan, zoals de inzet van een goed batterijmanagementsysteem (BMS). Als er toch brand ontstaat, is die zeer moeilijk te blussen. Daarom is ervoor gekozen de batterij buiten in een waterkerende behuizing te plaatsen en niet in de technische ruimte waar de belangrijkste componenten van het systeem zijn opgesteld. De brandweer kan dan de batterij gecontroleerd laten uitbranden, zonder dat het hele systeem verloren gaat en zonder gevaar voor mensen door giftige damp vanuit de batterij. De kast met de batterij is uitgerust met ventilatie, verwarming en een brandmelder. De checklist van de Nederlandse Richtlijn Bodembescherming is gevolgd om vervuiling van de bodem te voorkomen. Dit heeft geresulteerd in het uitvoeren van een nulmeting bodemonderzoek, het

toepassen van een lekvloer (i.v.m. risico op lekken van elektrolyt) en plaatsing op een betonnen plaat.

Organisatorische maatregelen

De aanwezigheid van mensen in de buurt van het systeem tijdens gebruik wordt geminimaliseerd. Dat gebeurt door automatisering en de mogelijkheid van bediening en uitschakeling op afstand. Het systeem kan voor onderhoud in veilige toestand worden gebracht. Er is een werkvergunningensysteem voor eventuele externe partijen die werkzaamheden aan het systeem uitvoeren.

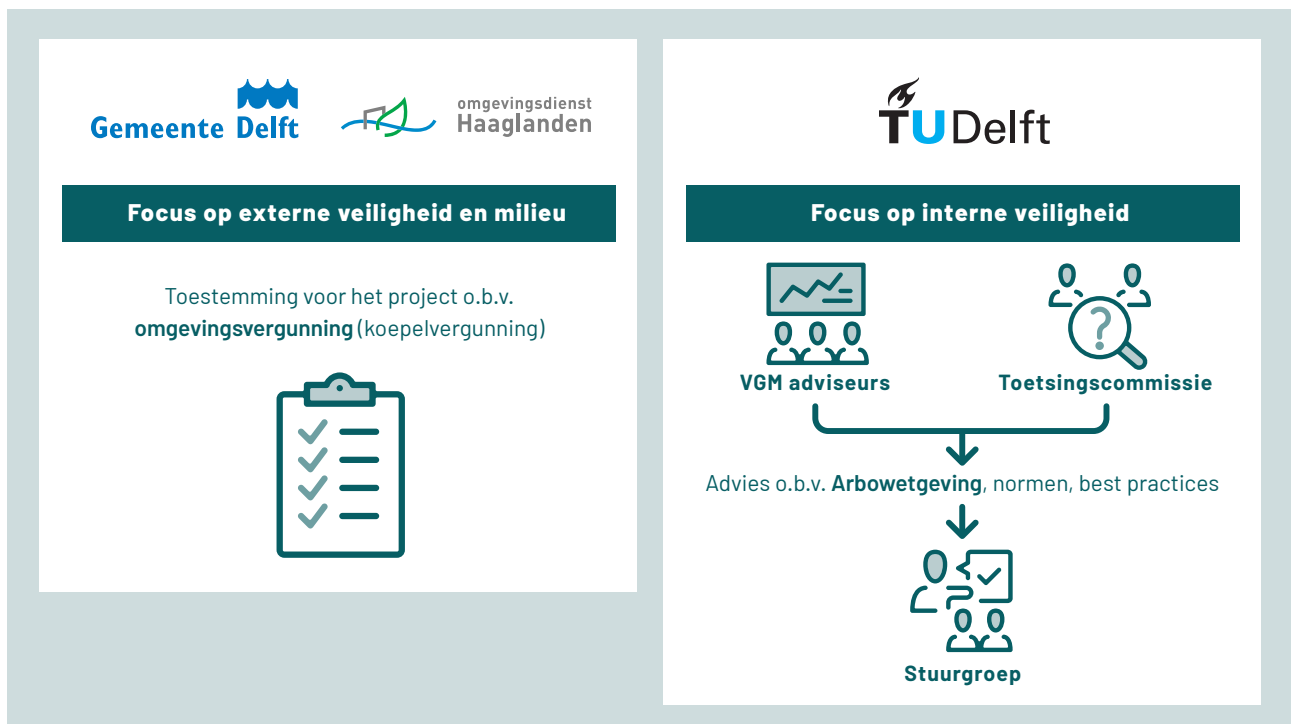
De risico's en benodigde stappen in geval van een incident zijn opgenomen in de Risico-Inventarisatie en Evaluatie (RI&E) onderdeel van de Arboret en het calamiteitenplan van The Green Village. Een Management of Change protocol zorgt dat nieuwe risico's zorgvuldig in kaart worden gebracht en de documentatie altijd op orde is.



Omgevingsvergunning en interne veiligheidstoets

Hoewel The Green Village een regelluw³ testterrein is, is het niet regelloos en moet er aan de reguliere veiligheids- en milieueisen worden voldaan. Als gevolg daarvan is een Omgevingsvergunning Milieu van toepassing. In de gemeente Delft is Omgevingsdienst Haaglanden verantwoordelijk voor het verlenen van de Omgevingsvergunning. Die vergunning heeft betrekking op de bescherming van het milieu en de omgevingsveiligheid,

oftewel impact buiten 'de hekken' van de TU Delft. Op het terrein van TU Delft geldt (net als overal waar mensen aan het werk zijn in een werkgever/werknemer-relatie) de Arbowet. Die wet schrijft onder andere voor dat TU Delft moet zorgen voor een veilige situatie. Bij TU Delft speelt de afdeling 'Health, Safety & Environment' een belangrijke rol in de uitvoering van de wettelijke taken die voortkomen uit de Arbowet.



Figuur 3: Verhouding Omgevingsdienst en Toetsingscommissie

Omgevingsvergunning

Seasonal Storage System is niet het eerste waterstof-project op The Green Village. 'De WaterstofStraat' is hieraan voorafgegaan. Op de WaterstofStraat wordt een regulier aardgasnetwerk gebruikt om waterstof te transporteren. In 2018 is het proces gestart voor het aanvragen van een omgevingsvergunning. De toepassing van waterstof in de gebouwde omgeving is niet iets wat voor 2018 gangbaar was.

In juli 2020 werd aan The Green Village de vergunning verleend, als onderdeel van de bredere TU-campusvergunning. Vanaf dat moment konden experimenten met waterstof worden uitgevoerd. Vanwege de aard van het onderzoek dat wordt uitgevoerd bij The Green Village en de benodigde flexibiliteit is er gekozen voor een 'koepelvergunning'; deze koepel geeft de ruimte aan waarbinnen de activiteiten van The Green Village zich

³ De Crisis- en herstelwet is van toepassing, waardoor onder andere delen van het Bouwbesluit niet gelden.



©Jurriaan Hutting

af moeten spelen. Het staat een breed scala aan activiteiten toe, zolang die binnen de kaders van de aanvraag en binnen de milieuruimte van de koepel blijven en de voorschriften worden nageleefd. Het complexe proces van de vergunningaanvraag is uitgebreid geëvalueerd^{4,5}.

Om toestemming te krijgen voor de uitvoering van Seasonal Storage System binnen de vergunning van The Green Village, is een informatiepakket samengesteld en voorgelegd aan Omgevingdienst Haaglanden. Een onderdeel van dit pakket was een QRA, oftewel een berekening van het invloedgebied van potentiële ongewone voorvallen. Dit invloedsgedebied mag volgens de vergunning niet buiten de hekken van het The Green Village terrein reiken. De berekening liet zien dat de invloed wel buiten het terrein ligt. Het effect van veiligheidsmaatregelen die het invloedgebied verkleinen,

kan echter niet worden doorgerekend om de voorgeschreven software. In een gesprek met externe veiligheidsadviseurs heeft The Green Village kunnen aantonen dat door gebruik van de PGS15-opslagvoorziening (waarin de gasbuffer is geplaatst) wel aan de regels in de vergunning wordt voldaan. Omgevingsdienst Haaglanden bevestigde kort na het gesprek per brief dat het project kan worden uitgevoerd binnen de bestaande vergunning.

Interne veiligheidstoets

Het projectteam Seasonal Storage System is verantwoordelijk voor het opleveren van een goed werkend en veilig systeem aan de toekomstige eigenaar, TU Delft faculteit Electrotechniek, Wiskunde en Informatica (EWI). Het projectteam, met vertegenwoordigers van Wintersol, TU Delft faculteit EWI en The Green Village, betrok bij het werk vele collega's van TU Delft en

⁴⁾ <https://www.thegreenvillage.org/waterstofstraat-lessen-van-4-jaar-innoveren>

⁵⁾ In de praktijk bleek dat met de omgevingsvergunning onvoldoende tegemoet werd gekomen aan de belangen en behoeften van zowel het bevoegd gezag als van The Green Village. Zo ontstond er in 2021 onduidelijkheid over de voorwaarden waaronder het tweede project met waterstof kon worden uitgevoerd, H2@Home. Met het oog op toekomstige projecten waaronder Seasonal Storage System zijn Omgevingsdienst Haaglanden en The Green Village in juli 2022 overeengekomen om een nieuwe vergunningaanvraag in te dienen. De nieuwe omgevingsvergunning wordt in de loop van 2023 verwacht. Het project H2@Home was eind 2021 met de aansluiting op de WaterstofStraat de eerste gebruiker van waterstof. Een bewoonde woning werd gedurende een aantal maanden verwarmd met behulp van waterstof. Het bepalen van de voorwaarden en condities waaronder dit project kon worden uitgevoerd, duurde een half jaar. <https://www.thegreenvillage.org/eindrapport-project-h2athome>

experts van buiten de organisatie. Zo werd er onder andere vroeg in het project overlegd met de veiligheidskundige van faculteit Electrotechniek, Wiskunde en Informatica. De afdeling 'Health, Safety & Environment' adviseerde daarop intensieve projectbegeleiding door een veiligheidskundige. Er was op dat moment echter onvoldoende capaciteit om dit te doen. Daarnaast bestond de wens om een expert te betrekken die ruimere kennis en ervaring had met de veiligheidsaspecten van waterstofsysteemen. Daarom is besloten om een 'toetsingscommissie' in het leven te roepen. Deze toetsingscommissie is opgericht begin 2022 en bestaat uit twee veiligheidsadviseurs van TU Delft en één externe veiligheidsadviseur met specifieke waterstofkennis.

De toetsingscommissie beoordeelt in elke fase van het project de veiligheidsdocumentatie die wordt opgeleverd door de projectgroep volgens de ISO 45001 richtlijn en geeft een advies af aan de stuurgroep. Met dit advies kan worden aangetoond dat de risico's zoveel

mogelijk geminimaliseerd zijn. De stuurgroep kan vervolgens akkoord gaan met het vervolg van het project.

Deze manier van werken was intensief maar ook zeer waardevol. Regelmatig speelde de vraag of de aandacht voor veiligheid van het systeem niet 'te groot' werd gemaakt. Terugkijkend op het project zijn de betrokkenen tevreden over de gedegen manier van werken. Daardoor is waardevolle kennis opgebouwd waar TU Delft op voort kan bouwen. TU Delft 'Safety & Environment' heeft dit project benut om de begeleiding van andere projecten met een hoog risicoprofiel te stroomlijnen. Er worden handleidingen en templates ontwikkeld en de veiligheidskundigen kunnen door een beter inzicht in de behoeften aan begeleiding hun adviesrol beter vormgeven. Er was veel interesse vanuit andere onderzoeks- en onderwijsinstellingen in de manier van werken en de resultaten van de veiligheidsstudies. TU Delft en The Green Village zien graag dat de inzichten ook door anderen worden benut.



Projectresultaat: Lijst van documenten

Per fase van het project zijn documenten opgesteld in het kader van ontwerp- en veiligheidsdocumentatie. Het programma 24/7 Energy Hub wil een deel van deze documenten, na oplevering van het project aan de eigenaar en na definitief maken van de documenten, beschikbaar stellen aan andere waterstofprojecten in

de bebouwde omgeving. Bij interesse kunt u contact opnemen met de auteurs van dit artikel.

Ontwerpfase

Het ontwerp van het systeem wordt beschreven in de volgende documenten:

Product	Doel
Projectbeschrijving	Achtergrondinformatie over project, principes van systeemfunctionaliteit, afbakening en ontwerpfilosofie
Systeemtekeningen	Tekeningen van de componenten in het systeem tbv communicatie
P&ID's (Piping and instrumentation diagram)	Technische tekeningen die schematisch laten zien hoe leidingen en andere onderdelen met elkaar verbonden zijn
Elektrische tekeningen	Grafische voorstelling van elektrische installatie, gebruikmakend van elektrische symbolen en verbindingen
Componentenlijst (specificaties en certificaten)	Een uitgebreide inventaris (stuklijst) van grondstoffen, (sub)assemblages, onderdelen en componenten en de hoeveelheden van elk die nodig zijn om een product te bouwen. Per component informatie over merk, type, specificaties, bedrijfsomstandigheden, eventuele certificering (CE, atex)
Oorzaak en gevolg diagram	Hulpmiddel om inzicht te krijgen in de aansturing van een systeem (besluitvormingsmatrix die aan basis staat van programmatuur)
Safety in design	Toelichting op de getroffen veiligheidsmaatregelen

In deze documenten zijn gedurende het project vele wijzigingen doorgevoerd als gevolg van nieuwe inzichten tijdens het ontwerpproces, de bouw en de testfase. De verwachting is dat ook tijdens de operationele fase wijzigingen aan het systeem nodig zullen zijn, die resulteren in een update van de ontwerpdocumentatie.

Daarnaast is een groot aantal documenten opgesteld om het proces en de uitkomsten van de veiligheidsstudies te beschrijven. Het uitvoeren van de studies heeft geleid tot vele inzichten die hebben geleid tot wijzigingen in het ontwerp. En die wijzigingen brachten de noodzaak met zich mee om de andere delen van de

veiligheidsstudie te herzien. Het moge duidelijk zijn dat dit een zeer arbeidsintensief proces is geweest. En ook een proces dat doorgaat na oplevering van het systeem aan de eigenaar. Er zullen ongetwijfeld wijzigingen nodig zijn gedurende de operationele fase. Die wijzigingen moeten goed worden overdacht en gedocumenteerd (veiligheidsstudie⁶) en de wijzigingen in het systeem vastgelegd in de ontwerpbeschrijvingen.

⁶ Een deel van die studies, zoals de HAZID en QRA, kunnen als definitief beschouwd worden.

Product	Doel
HAZard IDentification (HAZID)	Brede inventarisatie van risico's, het gevarenpotentieel, barrières en mogelijke risicoverlagende maatregelen
Risk Inventory & Evaluation van het project (RI&E)	Gestructureerde evaluatie van gevaren uit de HAZID, met evaluatie van de risico's o.b.v. waarschijnlijkheid en ernst, maatregelen per risico en herbeoordeling van risico's
Hazard and operability studies (HAZOP)	Methode voor identificeren van gevaren en ongewenste situaties in (o.a. industriële) installaties. Overzicht van oorzaken en gevolgen van verschillende scenario's, de gevolgen bij mens en milieu en geschiktheid van beveiligingsmaatregelen HAZOP van het systeem HAZOP van niet-waterstofvoerende delen HAZOP van de compressor HAZOP van het afzuigsysteem HAZOP van de brandstofcel
Quantitative Risk Analysis (QRA)	Berekening van inpasbaarheid of vergunbaarheid (externe veiligheid) door berekening van het invloedgebied van potentiële ongewone voorvallen
Explosie Veiligheids Document (EVD)	Document rondom de risico's voor werknemers m.b.t. explosiegevaar. Het bestaat uit een risicoanalyse, een gevarenzone-indeling, technische en organisatorische maatregelen en voorlichting aan gebruikers
Referentievoorwaarden	Beschrijving van de toets die wordt gedaan om te bevestigen dat de faciliteit veilig en volgens de geldende normen is ontworpen en voldoet aan de vergunningvereisten, de faciliteit veilig in gebruik kan worden genomen en bediend, de organisatie klaar is om de faciliteit in gebruik te nemen en te bedienen en de integriteit is gewaarborgd tijdens de werkings- en ontmantelingsfasen
Toestemming van vergunningverlener (milieu en veiligheid)	Schriftelijke bevestiging dat er akkoord van bevoegd gezag is om (omgevingsvergunning) het project uit te voeren

Bouwfase

De documentatie horend bij de bouwfase is beperkt. De schriftelijke communicatie over de aanschaf van componenten en de inhuur van partijen wordt hier buiten beschouwing gelaten. Het belangrijkste document

horend bij de bouwfase is een inventarisatie van de risico's die gepaard gaan met de bouwwerkzaamheden en de bijbehorende maatregelen.

Product	Doel
HSE plan voor bouw	Overzicht van de risico's voor mens en milieu als gevolg van de bouwwerkzaamheden en de maatregelen die nodig zijn om de risico's te beperken

Commissioningfase

Veruit het belangrijkste resultaat van de commissio- ning- of testfase is het testplan. Dit ruim 150 pagina's tellende document beschrijft de testprocedures van de elektrische delen, mechanische delen en gas- en wa- terapparatuur van het systeem. Ook het maken van dit plan heeft geleid tot nieuwe inzichten over het systeem,

die resulteerden in wijzigingen in het ontwerp en de bij- behorende veiligheidsstudies. Dit bevestigt het advies dat wordt gegeven bij het ontwerpen van complexe systemen; dat het belangrijk is om tijdens het ontwerp alle toekomstige fases in ogenschouw te nemen, tot en met de fase van verwijdering.

Product	Doel
Testplan (Commissioning plan)	Beschrijving van de inbedrijfstellings- en testprocedure van de elektrische, mechanische, gas- en waterapparatuur die wordt gebruikt in het project
Veiligheidsplan m.b.t. tests	Overzicht van de risico's voor mens en milieu als gevolg van de testwerkzaamheden en de maatregelen die nodig zijn om de risico's te beperken
Keuring van ingebruikname (notified body)	Verslag van de keuring voor ingebruikneming, die moet plaatsvinden voor het in gebruik nemen van drukapparatuur. De keuring is van toepassing op nieuwe en bestaande drukapparatuur die na montage of op een nieuwe locatie wordt geïnstalleerd
Bevindingen van de tests en aanbevelingen	Overzicht van de resultaten van de testprocedures zoals beschreven in het testplan



Operationele fase

Onderstaande documenten dragen bij aan een veilige situatie bij reguliere operatie en het beperken van het effect bij eventuele incidenten. Zoals al eerder werd opgemerkt moeten de veiligheidsstudies worden geëvalueerd bij elke kleine of grote wijziging in het

systeem (van het vervangen van een enkele klep tot het toevoegen van functionaliteiten). Hoe dat moet worden gedaan, is beschreven in de procedure 'management of change'.

Product	Doel
Veiligheidsplan m.b.t. operatie	Overzicht van de risico's voor mens en milieu in de operationele fase van het project en bijbehorende maatregelen om de risico's te beperken
Bedieningshandleiding	Beschrijving van de wijze waarop de beheerder het systeem dient te bedienen
Management of change	Een procedure die wordt gebruikt om te zorgen dat de milieu-, gezondheids- en veiligheidsrisico's zorgvuldig worden geëvalueerd en beheerst voordat wijzigingen worden doorgevoerd
Rollen en verantwoordelijkheden	Beschrijving van de operationele taken en bevoegdheden voor de commissioning-, operationele en verwijderingsfase
Informatieset	Document met relevante informatie over het systeem voor verschillende stakeholders (bezoekers, hulpdiensten, onderzoekers, ...)
Calamiteitenplan	Procedures met de benodigde acties in geval van incidenten
Onderhoudsplan	Overzicht van de benodigde onderhoudswerkzaamheden, het moment waarop (of frequentie waarmee) deze moeten plaatsvinden en aanwijzing voor de manier waarop de werkzaamheden moeten worden uitgevoerd
RI&E The Green Village (risico-inventarisatie & evaluatie)	Gestructureerd overzicht van arbeidsrisico's binnen de organisatie, leidend tot een plan van aanpak om gezondheidsklachten en ongevallen te voorkomen

De energietransitie doen we samen – Inzichten vanuit het TU Delft programma 24/7 Energy Hub

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 ontwerp-proces.

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. Ook als daarmee het project buiten de begroting loopt. Of als de gewenste opleverdatum daardoor niet wordt gehaald. 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 project Seasonal Storage System 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 de auteurs 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.

Nawoord

Dit artikel is geschreven door Lidewij van Trigt (The Green Village) en Roby van Praag (The Green Village). Lidewij is vanaf 2018 betrokken bij vele energie- en waterstofprojecten van The Green Village en houdt zich bij The Green Village daarnaast bezig met veiligheid en milieuzaken. Roby is vanaf 2022 betrokken bij het project 'Seasonal Storage System' als programmamanager vanuit 24/7 Energy Hub.

Bij **The Green Village** onderzoeken, experimenteren, valideren en demonstreren kennis- en onderwijsinstellingen, ondernemingen, overheden én burgers hun duurzame innovaties. The Green Village is een regelluw "openlucht-laboratorium" of field lab op TU Delft Campus met een focus op de gebouwde omgeving waar getest kan worden op wijk-, straat- en gebouwniveau. Er wordt gewoond, gewerkt en geleerd. Door aandacht te besteden aan technische, bedrijfseconomische, sociaal maatschappelijke en regel/beleidsmatige uitdagingen, helpt The Green Village innovatieve partijen te versnellen van theorie naar praktijk om daar impact te realiseren. Voor meer informatie, zie www.thegreenvillage.org

Het budget voor dit project is beschikbaar gesteld door TU Delft. Daarnaast ontvangt het consortium (The Green Village, TU Delft, Haagsche Hogeschool, Wintersol, HyEt en Nedstack) een vergoeding van TKI Nieuw Gas. Dit gedeelte van het project valt onder de naam SHPLES (Smart Hydrogen Local Energy Systems). Tenslotte willen wij 'Stichting Goeie Grutten' en het 'Maarten de Groot Fonds' danken voor de financiële bijdrage en het vertrouwen in dit project vanaf het allereerste begin.

Binnen het **programma 24/7 Energy Hub** koppelt TU Delft verschillende energiesystemen met energiedragers elektriciteit, warmte en waterstof en zorgt voor slimme aansturing daarvan. Hiermee ontstaat een lokaal, CO₂-vrij energiesysteem voor de gebouwde omgeving. Voor meer informatie zie:

www.thegreenvillage.org/24-7-energyv-hub

Contactinformatie:

Lidewij van Trigt	l.vantrigt@tudelft.nl
Roby van Praag	r.j.vanpraag@tudelft.nl



THE GREEN VILLAGE

The Green Village
+31 15 278 20 64
info@thegreenvillage.org

Van den Broekweg 4, Delft
The Netherlands
www.thegreenvillage.org



**Funded by
the European Union**