



FleXtore

Openbaar Eindrapport

Rijksdienst voor Ondernemend Nederland

Project
Opdrachtgever

FleXtore
Rijksdienst voor Ondernemend Nederland

Document
Status
Datum
Referentie

Openbaar Eindrapport
Definitief
mei 2017
DV1174-3/17-006.851

Projectcode
Projectleider
Projectdirecteur

DV1174-3
Raphaël van der Velde
Eveline Buter

Auteur(s)

Raphaël van der Velde (Witteveen+Bos)
Nico Dekker (ECN)
Wiebrand Kout / Friso Sikkema (Elestor)
Ballard Asare-Bediako (HAN)

Gecontroleerd door
Goedgekeurd door

Raphaël van der Velde
Raphaël van der Velde

Paraaf



Adres

Witteveen+Bos Raadgevende ingenieurs B.V.
Van Twickelostraat 2
Postbus 233
7400 AE Deventer
+31 (0)570 69 79 11
www.witteveenbos.com
KvK 38020751

Het kwaliteitsmanagementsysteem van Witteveen+Bos is gecertificeerd op basis van ISO 9001.
© Witteveen+Bos

Niets uit dit document mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt in enige vorm zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Witteveen+Bos Raadgevende ingenieurs B.V. noch mag het zonder dergelijke toestemming worden gebruikt voor enig ander werk dan waarvoor het is vervaardigd, behoudens schriftelijk anders overeengekomen. Witteveen+Bos aanvaardt geen aansprakelijkheid voor enigerlei schade die voortvloeit uit of verband houdt met het wijzigen van de inhoud van het door Witteveen+Bos geleverde document.

INHOUDSOPGAVE

1	INLEIDING	5
1.1	Aanleiding	5
1.2	Projectbeschrijving	5
1.3	Het Consortium	5
2	DOELSTELLING	7
2.1	Doelstelling	7
2.2	Beoogd resultaat	7
3	PROJECTRESULTATEN	8
3.1	Inleiding	8
3.1.1	Onderzoek naar en realisatie van een 1 kW flowbatterijsysteem	8
3.1.2	Onderzoek naar en realisatie van een 1,2 kW PV systeem	11
3.1.3	Systeemintegratie en besturing	14
3.2	WP3 – Veldtest	15
3.2.1	Taak 3.1 Inrichten veldtest	15
3.3	Taak 3.2 – 3.3 Uitvoeren veldtest	16
3.3.1	Metingen	16
3.3.2	Veldproeven	16
3.3.3	Bepaling van accumulatorrendement	17
3.3.4	Bepaling van accumulatorprestatiecurve	17
3.4	Risico's en afhankelijkheden	18
3.4.1	Taak 3.4 Analyse testresultaten	18
3.4.2	Taak 4.1 Analyse inpasbaarheid (Vergunningen en RO)	18
3.4.3	Taak 4.2 Analyse financiële haalbaarheid	19
3.4.4	Taak 4.4 Assessment	23
4	MOGELIJKHEDEN VOOR SPIN-OFF EN VERVOLGACTIVITEITEN	28
4.1	Inleiding	28
4.2	Waterstofbromide Flowbatterij	28
4.3	PV-technologie	28
4.4	Commerciële Dienstverlening	29

4.5	Onderwijs	30
5	DISCUSSIE	31
5.1	Ontwikkeling van de PV panelen	31
5.2	Inpassing in het GRID en aansluiting op duurzame bronnen en gebruikers	31
5.3	Veiligheid en vergunningsplicht bij verdere ontwikkeling	31
6	CONCLUSIE EN AANBEVELINGEN	32
6.1	Conclusies	32
6.1.1	Conclusie - systeemarchitectuur	32
6.1.2	Conclusie - energiebeheer	32
6.1.3	Conclusie – Zonnepanelen	33
6.2	Aanbevelingen	33
	Laatste pagina	33

1

INLEIDING

1.1 Aanleiding

Slimme en goedkope energieopslag is een 'winnaar' als het gaat om verduurzamen van kantoren en andere bedrijfsgebouwen. Door de toenemende capaciteit aan windmolens en zonnepanelen is de stabiliteit van het elektriciteitsnet in het geding. Er is grote behoefte aan innovatieve vormen van elektriciteitsopslag, specifiek geschikt voor toepassing in onder meer bestaande bedrijfspanden.

1.2 Projectbeschrijving

Binnen het FleXtore project is een zeer interessant concept in beeld met de waterstof-broom flowbatterij die door Elestor wordt ontwikkeld. Deze is in potentie 10 x goedkoper dan bestaande batterijen en ook opschaalbaar tot opslag voor alle bedrijfsmatige toepassingen. Daarnaast lijkt opslag voor langere duur met slechts een zeer beperkt energieverlies een goede mogelijkheid.

Het consortium heeft een pilot test uitgevoerd bij het grootste kantoor van Witteveen+Bos in Deventer met een 1 kW batterij die aan een zestal door ECN ontwikkelde hoogwaardige zonnepanelen is gekoppeld.

Projectactiviteiten zijn:

- 1 systeemontwerp en voorbereiden veldtest;
- 2 testen en karakterisering;
- 3 validatie in de fysieke omgeving;
- 4 evaluatie/risico analyse:
 - technisch: op systeem en component niveau;
 - integreerbaarheid in lokale elektriciteitsnetten;
 - economische voordelen - de *levelized cost of energy* (LCOE) van het systeem, de revitalisatie en waardevermeerdering van bestaande utiliteitsbouw;
 - maatschappelijke voordelen - beperking CO₂ emissie, grondstofgebruik, mogelijke nieuwe business modellen en diensten;
 - juridische aspecten - vergunbaarheid, risico analyse, locale energielevering.

1.3 Het Consortium

Aan de uitvoering van het project hebben de volgende partijen deelgenomen:

- Witteveen+Bos
Penvoerder, project management, systeemintegratie, formuleren gebruikerseisen, economische (businesscase), vergunning aanvraag, vergunning analyse, risico analyse;
- ECN
Leveren zonnepanelen, beoordelen samenstelling data acquisitiesysteem en vertalen naar eisen componenten opwekking en naar opschaling. Eindevaluatie/ assessment technisch systeem microgrid, SWOT analyse, veiligheid, energiestaat;
- Elestor
Leveren flowbatterijsysteem, incl. omvormer-besturing-behuizing;

- HAN
Systeemintegratie en architectuur, uitvoering voorwerk assessment technisch systeem microgrid, bijdrage technische- en economische evaluatie, onderzoek business modellen.

De vier consortiumpartners hebben een binnen Nederland unieke kennispositie. Bij de partijen is uitgebreide ervaring aanwezig met zowel de elektriciteitsvoorziening als met elektrochemische opslag, onderzoek naar interfaces tussen opslag en het elektriciteitsnet en met experimentele validatie van opslagtechnologie. Bij het voorbereiden van het projectvoorstel en de uitvoering bleek deze kennis in hoge mate complementair te zijn. Het project FleXtore biedt een unieke kans om de in Nederland aanwezige kennis te bundelen en uit te breiden.

Naast de deelnemers is er een klankbordgroep ingericht, bestaande uit de gemeente Deventer, provincie Overijssel en Enexis. Deze partijen zijn betrokken vanwege het belang van het project en het belang van de betrokken partijen waar het gaat om veilige en economische inpassing in de bestaande omgeving.

DOELSTELLING

2.1 Doelstelling

Dit project heeft als doel het ontwikkelen van een schaalbare oplossing die als 'retrofit' gebruikt zou kunnen worden voor het verduurzamen van de energievoorziening in de bestaande bouw. Het behelst de combinatie van duurzame opwek (high end PV) en (low-cost) elektriciteitsopslag als de bouwstenen voor de verduurzaming van het bestaande kantoor van Witteveen+Bos, maar ook de analyse van inpasbaarheid in het totale integrale energieopslagsysteem waar de netbeheerder verantwoordelijk is. Via een te ontwerpen slimme regeling kan de batterij bijdragen aan de algehele behoefte aan energieopslag in de gebouwde omgeving.

Het project realiseert de ambitie van het iDEEGO door innovatie op het vlak van energiebesparing, duurzame opwekking en slim energiemanagement binnen de gebouwde omgeving. Het Energieakkoord vraagt om een versnelling van de energiebesparing en omschakeling naar duurzame, schaalbare energiesystemen die een op maat gesneden oplossing kunnen bieden voor de bestaande utiliteitsbouw.

Het vermogen van de installatie is bewust beperkt tot 1 kiloWatt. Dit volstaat om de belangrijkste technologische, economische en sociaal-maatschappelijke vragen te beantwoorden. Door het geringe vermogen blijft het systeem compact en kan het met een zeer efficiënte inzet van middelen worden gerealiseerd en getest. Opschaling kan in een volgend project eenvoudig worden gerealiseerd door meerdere FleXtore modules te schakelen.

2.2 Beoogd resultaat

Concreet zijn de volgende zaken resultaat van het project:

- een veldtest van een energiesysteem geschikt voor een kantoorgebouw bestaande uit: een 1 kW waterstof-broom flowbatterij, Metal Wrap Through zonnepanelen en een adaptieve regeling;
- een eindverslag met de meetresultaten;
- analyses van de veiligheid, exploitatiebaarheid en financierbaarheid van een opgeschaald energiesysteem bestaande uit deze elementen en impact op de waarde van vastgoed. De consortiumpartners maken hiervoor gebruik van de kennis van de leden van de klankbordgroep.

PROJECTRESULTATEN

3.1 Inleiding

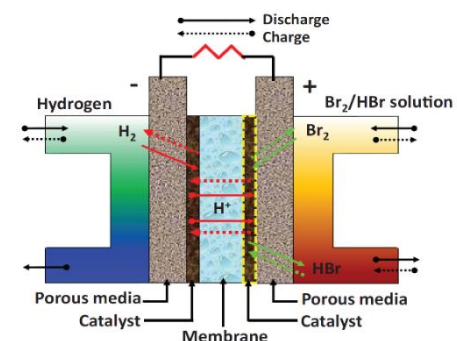
De inhoudelijke resultaten zijn hierna beschreven opgesplitst in een deel gericht op de waterstofbromide flowbatterij en een deel gericht op de PV-panelen.

3.1.1 Onderzoek naar en realisatie van een 1 kW flowbatterijsysteem

Inleiding

De flowbatterij (FB) technologie is een van de meest veelbelovende elektrochemische energie-opslag technologieën. In tegenstelling tot conventionele batterijen, waarbij de elektroden alle actieve stoffen bevatten, functioneert in een flowbatterij de 'stack' alleen als elektrochemische reactor. De elektrochemisch actieve stoffen zijn aanwezig in stromende media, die bestaan uit goedkope chemicaliën (in het geval van de Elestor oplossing, broom, waterstofbromide en water), die kunnen worden opgeslagen in eenvoudige tanks. Een aantal fundamentele schademechanismen die wijdverbreid in alle commerciële oplaadbare batterijen (Pb-zwavelzuur, Ni/Cd, Ni/MH, Li-Ion) wordt waargenomen spelen in een redox flow architectuur geen rol meer omdat deze plaatsvinden op vaste elektroden. Bij Li-Ion-, of zink-broom batterijen bijvoorbeeld wordt dendritische vorming van metalen op de elektroden als gevolg van overladen waargenomen. Deze dendriten zorgen voor verminderde capaciteit¹. Een ander vaak waargenomen effect is de schade aan vaste elektroden als gevolg van een groot aantal laad en ontlad cycli. Vooral in Lithium ion batterijen is dit een primair schademechanisme; de grafiet lagen in een Li-Ion batterij worden na vele cycli beschadigd, waarmee de capaciteit van de batterij daalt.

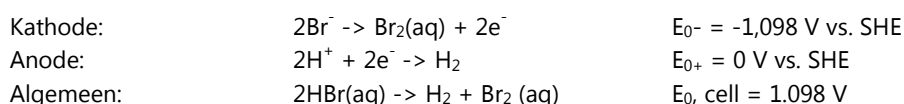
Afbeelding 3.1 Principe van een redox flowbatterij gebaseerd op waterstof gas en broom. De tanks voor de opslag van de chemische componenten zijn niet getoond



¹ A.Z. Weber, M. M. Mench, J. P. Meyers, P. N. Ross, J. T. Gostick, and Q. Liu, 'Redox flow batteries: a review,' *J. Appl. Electrochem.*, vol. 41, no. 10, pp. 1137–1164, Sep. 2011.

Door de redox flowbatterij architectuur is een ont koppeling van de opgeslagen energie en het geleverde vermogen mogelijk: de energie is afhankelijk van het volume en de concentratie van de stromende media (liters), terwijl de stroomsterkte (in Ampère), en dus het vermogen, afhankelijk zijn van het actieve oppervlak¹. De HBFB is vergeleken met andere flowbatterijen zeer aantrekkelijk omdat hoge prestaties kunnen worden bereikt tegen de laagst mogelijke kostprijs. 90 % maximale energie efficiëntie, 75 % efficiëntie bij 0,4 A / cm², en 93 % bij 0,9 A / cm² energiegebruik zijn geobserveerd²; en de kosten van de actieve stoffen van HBFBs zijn erg laag (<20 € / kWh)³.

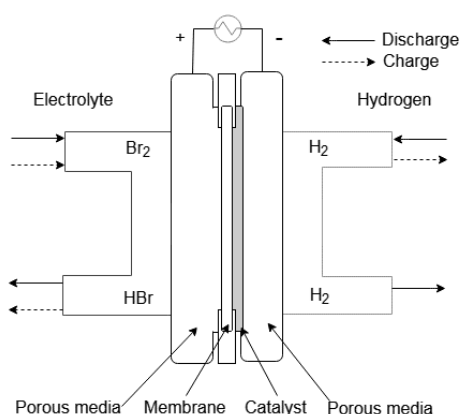
HBFBs maken gebruik van de laag energetische omkeerbaarheid van de redox reactie tussen waterstof en broom. Op celniveau worden het broom elektrolyt en de waterstof gescheiden door een membraan. Er ontstaat een elektrochemische potentiaal, die de drijvende kracht is voor de elektrochemische reacties. Afhankelijk van de externe potentiaal kan elektrische energie worden opgeslagen of worden opgenomen. De volgende redox half reacties zijn daarbij van toepassing bij ontladen:



Het membraan in de waterstof-broom stroomcel is een **proton geleidend membraan**, wat betekent dat alleen protonen (H^+ , strikt genomen H_3O^+) door het membraan kunnen worden geleid, waarmee een elektrochemische stroomkring kan worden voltooid. Hiermee wordt de kringloop gesloten en kan de batterij (ont)laden.

De structuur van waterstof-broom stroomcel wordt weergegeven in afbeelding 3.2. De aanwezigheid van de poreuze media (porous media) is vereist voor de elektrische geleidbaarheid. Immers, elektronen moeten naar en van het membraan geleid worden. Alleen aan het directe oppervlak van het membraan vindt een elektrochemische reactie plaats.

Afbeelding 3.2 Schematisch diagram van een waterstof-broom elektrochemische cel



¹ A. Z. Weber and T. Van Nguyen, 'Redox Flow Batteries—Reversible Fuel Cells,' *J. Electrochem. Soc.*, vol. 163, no. 1, pp. Y1–Y1, 2016.

² K.T. Cho, P. Ridgway, A. Z. Weber, S. Haussener, V. Battaglia, and V. Srinivasan, 'High Performance Hydrogen/Bromine Redox Flow Battery for Grid-Scale Energy Storage,' *J. Electrochem. Soc.*, vol. 159, no. 11, pp. A1806–A1815, Jan. 2012; K. T. Cho, P. Albertus, V. Battaglia, A. Kojic, V. Srinivasan, and A. Z. Weber, 'Optimization and Analysis of High-Power Hydrogen/Bromine-Flow Batteries for Grid-Scale Energy Storage,' *Energy Technol.*, vol. 1, no. 10, pp. 596–608, Oct. 2013; G. Lin *et al.*, 'Advanced Hydrogen-Bromine Flow Batteries with Improved Efficiency, Durability and Cost,' *J. Electrochem. Soc.*, vol. 163, no. 1, pp. A5049–A5056, Jan. 2016.

³ N. Singh and E. W. McFarland, 'Levelized cost of energy and sensitivity analysis for the hydrogen–bromine flow battery,' *J. Power Sources*, vol. 288, pp. 187–198, Aug. 2015.

Binnen het FleXtore project heeft Elestor een HBFB systeem ontwikkeld en in oktober 2016 is dit systeem geïnstalleerd op het terrein van het Witteveen+Bos kantoorgebouw in Deventer.

Dit systeem is gedurende vijf maanden succesvol getest in het veld.

FleXtore PV systeem

PV-systemen in de privé sector zijn tegenwoordig meer en meer in gebruik. Aangezien er door privé elektriciteitsverbindingen meer dan 20 eurocent per kWh wordt betaald, is er een vigerende economische reden om elektriciteit op te wekken met PV-systemen en terug te leveren aan het net. Deze constructie houdt dus verband met de huidige regelgeving en subsidies. Een inherent risico is echter dat regulering en subsidiëring in de nabije toekomst zullen veranderen. Aangezien PV-systemen een terugverdientijd van 8-12 jaar in Nederland hebben kunnen potentiële PV kopers terughoudend worden om te investeren en kan de groei van PV worden belemmerd door deze onzekerheid.

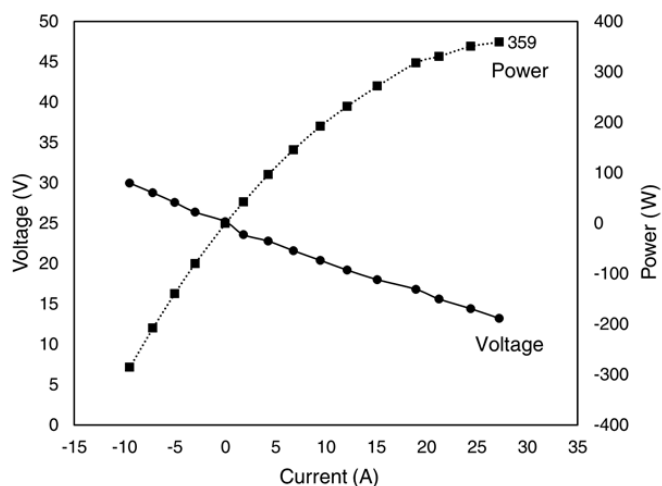
Het FleXtore batterijsysteem is geïntegreerd met een fotonvoltaïsche (PV) systeem. De gebruikte omvormer werkt zowel voor de accu als voor het PV-systeem. Door de integratie van PV-installatie met een HBFB systeem kan tijdens de dagen met veel PV opbrengst, elektriciteit worden opgeslagen in de flowbatterij. Andersom kan gedurende de nacht de elektriciteit uit de HBFB worden onttrokken.

FleXtore HBFBs systeemprestaties

Voorafgaand aan de pilot installatie

Het HBFBs systeem werd in eerste instantie getest in Arnhem, medio oktober 2016. De proeven werden uitgevoerd met één liter niet-gecomplexeerde HBr elektrolyt. Deze samenstelling verschilt met de samenstelling welke gebruikt wordt voor de veldtest; in de laboratoriumtesten is geen BCA aanwezig. Het gebruik van BCA werd noodzakelijk geacht om de elektrolyt dampdruk te verminderen in het veld. Het polarisatiegedrag en de prestaties van de HBFBs wordt getoond in afbeelding 3.3. Er werd een piekvermogen van 359 W behaald.

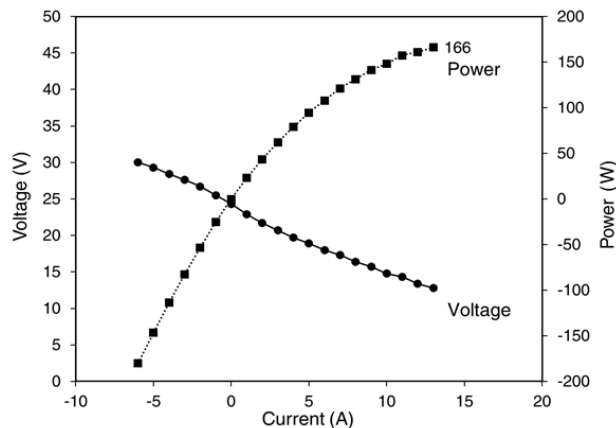
Afbeelding 3.3 Initiële prestatie (polarisatie) curve met niet-gecomplexiseerd elektrolyt, verkregen in de laboratoria in Arnhem



De veldtest

Het systeem werd geïnstalleerd bij Witteveen+Bos, Deventer op 19 oktober 2016 en de veldtest van het FleXtore systeem werd officieel gestart op 7 november 2016. Na de installatie is het systeem opgestart zonder grote obstakels. Het polarisatiegedrag / prestaties van HBFBs in het begin van de veldtest worden getoond in afbeelding 3.4. De nullastspanning (OCV) is 24,8 V en het piekvermogen is 166 W.

Afbeelding 3.4 Polarisatiecurve van RFBF gecomplexeerd met BCA



De gemeten spanningsafname bedroeg 0,9 mV per cel per dag. Tijdens het project zijn enkele elektrische en thermische problemen ondervonden en opgelost.

Conclusies en aanbevelingen

Samengevat kunnen de prestaties van de HFBF als volgt worden weergegeven:

- stand-by tijd: 1.974 uur (deze stand-by tijd is hoog voor een eerste veldtest systeem);
- draaiuren: 141 uur;
- piek vermogen: 166 W;
- efficiëntie van het systeem: 47,9 %.

De grote vraag naar kosteneffectieve elektriciteitsopslagsystemen heeft geleid tot de ontwikkeling van de HFBF door Elestor BV. De HFBF is gedemonstreerd in het FleXtore project. Het FleXtore systeem is gestart zonder grote problemen, wat bewijst dat HFBFs systemen in het centrum van een stad zonder significante veiligheidsrisico's kunnen worden geïnstalleerd. De systeem levensduur is hoog en relatief duurzaam gedurende de meetperiode met een lichte en constante vermindering van de prestaties. Deze prestatievermindering is gemeten op 0,9 mV per cel per dag.

Waardevolle technische kennis, in het bijzonder met betrekking tot de veiligheid van het ontwerp, zal worden overgedragen naar het volgende systeem.

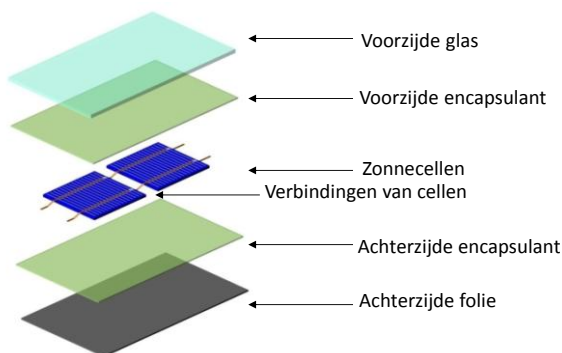
Volledig automatische werking zal mogelijk worden gemaakt.

3.1.2 Onderzoek naar en realisatie van een 1,2 kW PV systeem

In standaard 'H-patroon' zonnepanelen worden de cellen elektrisch in serie geschakeld door middel van zogenaamde tabs. De onderlinge verbinding van de cellen vindt hierbij plaats door het solderen van een tab aan de voorkant van een cel en de achterzijde van een volgende cel (afbeelding 3.5).

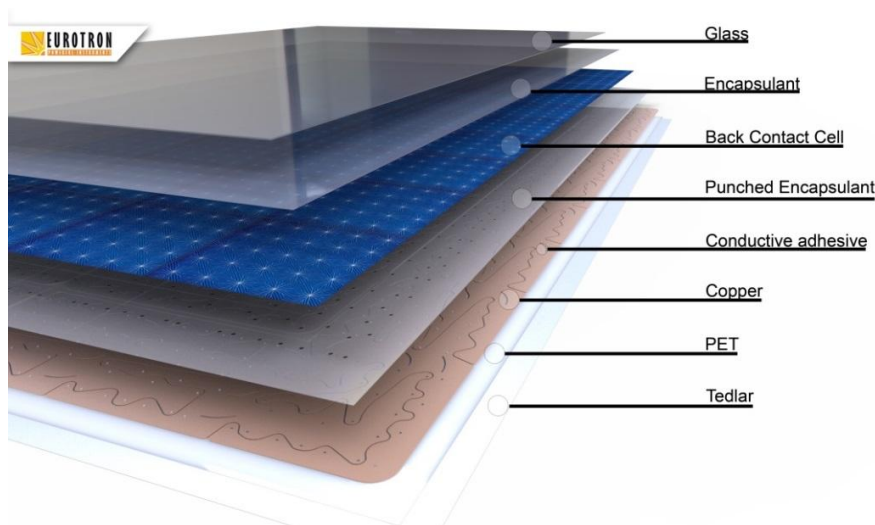
Deze manier van produceren heeft vele nadelen, zoals het ontstaan van cracks in de cellen tijdens het solderen van de verbindingen en bij het op elkaar stapelen van de verschillende componenten van het zonnepaneel. Na het stapelen wordt het zonnepaneel gelamineerd bij circa 150°C, waarbij het encapsulant materiaal zich vormt naar de andere componenten en de cellen goed geschermd zijn tegen invloed van buitenaf.

Afbeelding 3.5 Opbouw van een standaard 'H-patroon' zonnepaneel



ECN heeft in dit project zes zonnepanelen geleverd van de nieuwste generatie met Metal Wrap Through (MWT) technologie, zoals door het ECN ontwikkeld (<https://www.ecn.nl/nl/onderzoeksprogramma/zonne-energie/>). Bij deze relatief nieuwe technologie wordt de stroom aan de achterzijde van de cellen afgevoerd (afbeelding 3.6). De cellen worden via de contacten aan de achterzijde van de cellen elektrisch verbonden door een elektrisch geleidende folie in plaats van via tabs. De verbindingen tussen cel en folie komen tot stand tijdens het lamineren van het encapsulant, zodat de breukgevoelige stappen van solderen en stapelen na solderen wordt vermeden.

Afbeelding 3.6 Opbouw van een back contact zonnepaneel met MWT technologie



MWT zonnepanelen worden (nog) niet in massaproductie geproduceerd, hierdoor zijn het aantal producenten beperkt. Voor de levering van de zonnepanelen is allereerst voor het Nederlandse Eurotron gekozen (<https://www.eurotron.nl/>). Eurotron kon de panelen niet leveren binnen het gestelde budget en had problemen met de toelevering van een van de componenten van de zonnepanelen. Als alternatief zijn daarom Exasun (<http://exasun.com/>) en Valoe (<http://www.valoe.com/>) benaderd. Exasun is een nieuwe Nederlandse MWT PV zonnepanelen producent in opstartfase en bood een competitieve offerte. Helaas kon Exasun bij aanvang van het FlexTore project niet leveren omdat de opstartfase langer duurde dan gepland, waardoor alle geproduceerde zonnepanelen nodig waren om te voldoen aan de leveringscontracten die al waren afgesloten. Valoe kon wel modules leveren.

Valoe bood zonnepanelen aan met een vermogen van 265 Wp onder Standard Test Condition (STC, instraling 1.000 W/m², 25°C). De eerste batch geleverde zonnepanelen zijn door ECN gekarakteriseerd met IV metingen en Electroluminescence (EL). De panelen hadden een lager vermogen (255Wp) en een degradatie

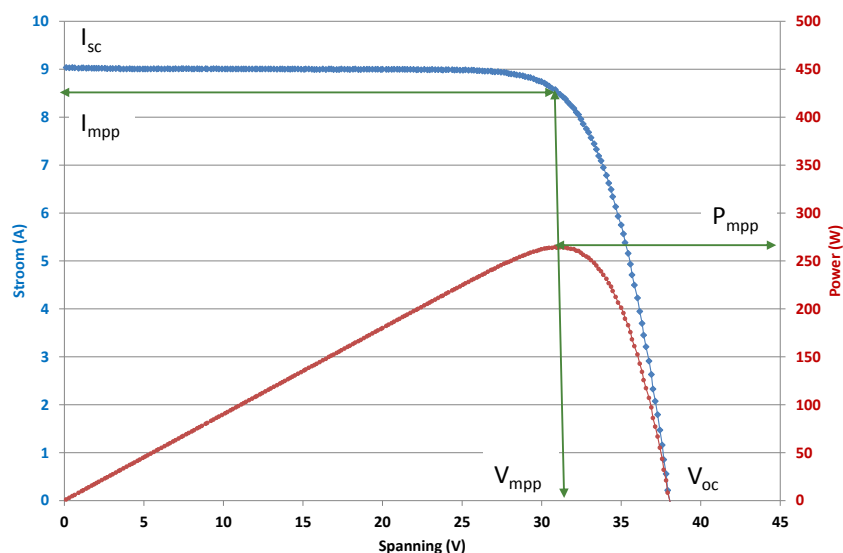
van 7 % na 3 maanden opslag. De EL metingen gaven de reden voor het lagere vermogen en degradatie. Deze batch zonnepanelen is door ECN afgekeurd.

In overleg met ECN heeft Valoe een 2^e batch zonnepanelen geleverd. Ook deze zonnepanelen zijn gekarakteriseerd met IV (afbeelding 3.7) en EL. De zonnepanelen hadden een vermogen van 264 Wp (tabel 3.1). De kwaliteit van deze zonnepanelen was goed, zoals blijkt uit de zeer geringe verschillen tussen de zonnepanelen onderling, de goede resultaten van de EL metingen en geen degradatie na opslag.

Tabel 3.1 Resultaten IV metingen bij ECN (STC, 2^e batch Valoe zonnepanelen)

Nr	Pm[W]	Isc[A]	Imp[A]	Voc[V]	Vmp[V]
1	264.3	9.02	8.52	38.07	31.04
2	264.6	9.05	8.53	38.09	31.01
3	264.3	9.02	8.52	38.08	31.01
4	264.2	9.03	8.52	38.12	31.02
5	264.3	9.05	8.51	38.12	31.05
6	264.4	9.02	8.52	38.08	31.04

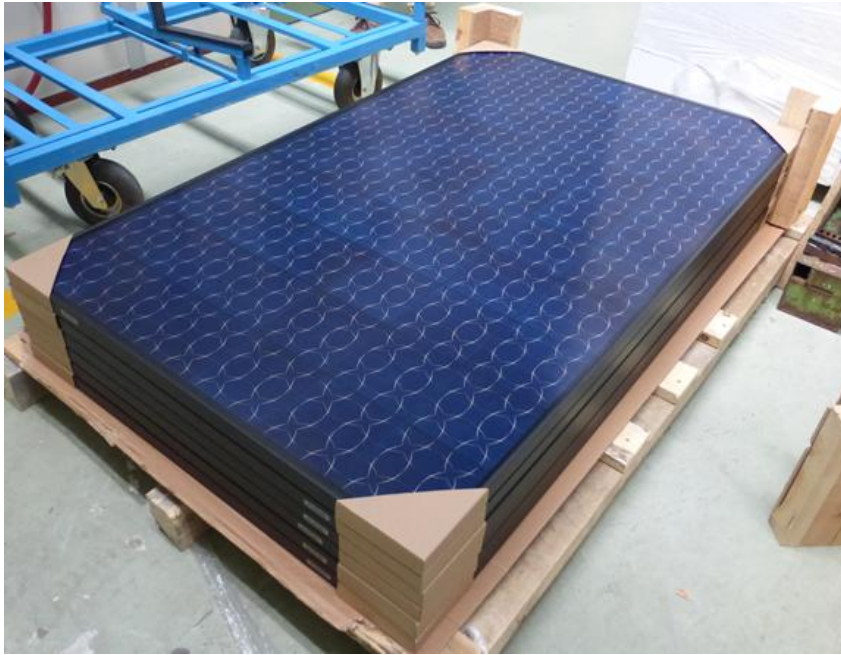
Afbeelding 3.7 Voorbeeld van een IV (blauw) en PV (rood) curve van een Valoe zonnepaneel (STC)



De kortsluitstroom (I_{sc}) wordt gemeten bij een spanning van 0V, de open cel spanning (V_{oc}) bij stroom 0. Het maximum vermogen (P_{mpp}) wordt gemeten bij een spanning V_{mpp} bij een stroom I_{mpp} .

Deze 6 panelen zijn geleverd aan Witteveen+Bos met een totaal vermogen van 1584 Wp (STC).

Afbeelding 3.8 MWT zonnepanelen zoals geleverd aan Witteveen+Bos



Afbeelding 3.9 MWT zonnepanelen zoals geïnstalleerd bij Witteveen+Bos



3.1.3 Systeemintegratie en besturing

Systeemarchitectuur

De geselecteerde systeemarchitectuur is een compromis tussen de kosten en de doelstellingen van de belanghebbenden. De topologie wordt ook beïnvloed door de afmeting van het micro-netwerk. De doelstellingen van het micro-netwerk zijn:

- de werking van de flowbatterij in een micro-netwerk demonstreren: deze doelstelling wordt door Elestor benadrukt, maar het belang wordt ook op prijs gesteld door alle projectpartners. Deze doelstelling impliceert de noodzaak van onafhankelijkheid van accu's en fotovoltaïsche (PV) cellen;
- de opbrengst van zonne-energie maximaliseren: dit is de belangrijkste doelstelling voor ECN. Hoewel deze doelstelling deels ondergeschikt is aan de eerste, moet er nog steeds rekening mee worden gehouden bij de kwalificatie van de verschillende architecturen;
- netwerkafhankelijkheid minimaliseren: deze doelstelling wordt meer beïnvloed door de relatieve afmetingen van PV, opslag, afnemer en door de regelstrategie dan door de eigenlijke systeemarchitectuur. Het wordt dus tijdens het ontwerp van het energiebeheersysteem aangekaart.

Energiebeheer

Het micro-netwerk FlexTore is een energiesysteem dat duurzame productie en nieuwe energieopslag combineert. Het systeem kan onafhankelijk worden ingezet of in verbinding met het openbare netwerk.. Het omvat drie hoofdsystemen:

- **flowbatterij-systeem:**
- **fotovoltaïsche panelen:** Drie ketens van twee panelen in serie vertegenwoordigen de duurzame energiebron van het micro-netwerk. Onder standaardomstandigheden, d.w.z. een zonnestraling van 1.000 W/m^2 en een temperatuur van $25 \text{ }^\circ\text{C}$, kan elk paneel een maximale energieafgifte (MPP) van 264 W bereiken;
- **vermogenselektronica:** Het doel van de vermogenselektronica is de integratie van de duurzame energie, opslag, afnemer en het openbare netwerk en tegelijkertijd het vermogen binnen de aanvaardbare marges te houden.

Energiebeheerstrategie

Ontwerp

Een vermogenbeheersysteem bevat de regels, prioriteiten, beperkingen en uitzonderingen voor de werking van het micro-netwerk. Het ontwerp van het energiebeheersysteem is afhankelijk van de relatieve afmeting van de levering, opslag en vraag van energie en de topologie van het micro-netwerk. Hieronder vindt u een korte omschrijving van het energiebeheersysteem voor het micro-netwerk FlexTore. Deze strategie is ontworpen met het doel om het eigen gebruik van de verkregen energie te maximaliseren, d.w.z. het eigen verbruik van het verkregen vermogen van de zonne-energie:

- voor stand-alone systemen waarvan de batterij vol is, worden zonneladers vaak onder hun MPP ingezet zodat de accumulator niet wordt overladen. Dit houdt in dat zonne-energie ongebruikt blijft. Dit kan worden vermeden door de zonnelader altijd maximaal te laten werken in grid-connected systemen. Alle overtollige energie kan naar de AC-afnemers worden gestuurd. Indien de vraag lager is dan het aanbod wordt de zonne-energie aan het netwerk aangeboden. Oftewel, de status van de zonne-energie bepaalt de status van de overige subsystemen;
- indien er geen PV-vermogen beschikbaar is, wordt de afnemer gevoed door de accumulators. Alleen wanneer de vraag het vermogen van de accumulator te boven gaat, wordt het netwerk ingeschakeld om aan de vraag te kunnen voldoen. Wanneer de vraag onder een drempelwaarde komt, neemt de accumulator het over en wordt de verbinding met het netwerk ongedaan gemaakt;
- aangezien het netwerk erg betrouwbaar is (beschikbaarheid > 99 %), is het niet nodig om afnemers af te schakelen. Wanneer de laadstatus van de accumulator het minimumniveau bereikt (onafhankelijk van de vraag naar vermogen), neemt het netwerk het over om aan de vraag van afnemers te voldoen;
- kortom, de energiebeheerstrategie zorgt voor een maximum gebruik van de zonne-energie, en de bescherming van de accumulator tegen overladen en over-ontladen. Het zorgt ook dat er 100 % van de tijd aan de vraag van afnemers wordt voldaan.

3.2 WP3 – Veldtest

3.2.1 Taak 3.1 Inrichten veldtest

De installatie voldoet aan de voorwaarden zoals gesteld in de melding.

De bevindingen van de veiligheidsinspectie d.d. 19 oktober 2016 inclusief de genomen beheersmaatregelen zoals weergegeven in het veiligheidsinspectierapport zijn naar tevredenheid van de veiligheidskundige van Witteveen+Bos opgeleverd.

Locatie:

De pilot is opgesteld in een afsluitbare 6-voets container op de parkeerplaats van Leeuwenbrug 8.

Afbeelding 3.10 Locatie pilot



Beschrijving situatie

Er is een container geplaatst waar binnen een waterstofbromide batterij wordt opgesteld. De aanwezige installaties en voorzieningen zijn ter plaatste beoordeeld.

3.3 Taak 3.2 – 3.3 Uitvoeren veldtest

3.3.1 Metingen

Het is belangrijk om een aantal metingen uit te voeren om de prestaties van het micro-netwerk als geheel en de verschillende subsystemen apart te kunnen analyseren. Op basis van deze metingen kunnen een aantal technische en financiële conclusies worden getrokken.

Metingen van accumulatorvermogen

Het doel van de meting is om het rendement van de accumulator te bepalen. Deze metingen bepalen mede de duurzaamheid van de accumulator en het aantal laad-/ontlaadcycli.

Metingen van zonne-energie

Om de PV-panelen in kaart te brengen en de opbrengst van duurzame energie te meten.

3.3.2 Veldproeven

De testmethodes van conventionele secundaire accumulatoren worden uitgebreid omschreven in een aantal IEC-normen, maar er is nog geen standaardtestmethode voor flowbatterijssystemen.

Toch kunnen een aantal belangrijke accumulatoreigenschappen worden bepaald door middel van een aantal tests. Dit document bevat een omschrijving van de door HAN geplande experimenten en proeven.

- 1 bepaling van accumulator-gerelateerde rendementen;
- 2 bepaling van accumulatorprestatiecurve en vermogensdichtheid;
- 3 bepaling van het rendement van de PV-panelen.

3.3.3 Bepaling van accumulatorrendement

Doel

Het spanningsrendement, Coulomb-rendement en energierendement zijn belangrijke prestatie-indicatoren van een accumulatorsysteem. Deze waarden vormen de criteria voor de vergelijking van verschillende accumulatoren. Deze waarden zijn ook onontbeerlijk bij het maken van een financiële analyse. Daarnaast is het identificeren van deze rendementen nodig om een wiskundig model te kunnen maken voor verschillende operationele scenario's.

Benodigde middelen

- flowbatterijsysteem;
- omvormer;
- regelbare belasting;
- DC-vermogensmeter;
- pc om metingen vast te leggen.

Risico's en afhankelijkheden

- bij conventionele accumulatoren wordt de laadstatus geschat gebaseerd op de klemspanning. De waterstofdruk zal worden gebruikt om de laadstatus te schatten aangezien de conventionele methode niet kan worden toegepast op flowbatterijsystemen. De nauwkeurigheid van de resultaten is hierdoor afhankelijk van het gebruik van de druksensor als indicator voor de laadstatus, en van de mate waarin de waterstof eventueel weglekt naar dan wel de omgeving, dan wel het broomvat;
- het flowbatterijsysteem is eigenlijk meer een *machine* dan een eenvoudige stapel cellen. De prestaties van de accumulator zijn afhankelijk van een aantal operationele factoren. Deze omstandigheden dienen te worden vastgelegd en zo nodig moet het experiment meerdere malen worden herhaald onder verschillende omstandigheden om te bepalen hoe de factoren de accumulator beïnvloeden.

Procedure

- laden: Beginnend met een beginlaadstatus S_{begin} [%], wordt de accumulator opgeladen met stroom I_C [A] gedurende tijd T_C [s] om laadstatus S_{eind} [%] te bereiken;
- gedurende de laadtijd worden de metingen voor spanning V_C [V], vermogen [W] en energie [Wh] vastgelegd in de vermogensmeter (aangesloten aan een pc);
- ontladen: Wanneer laadstatus S_{eind} [%] wordt bereikt, wordt de omvormer omgeschakeld naar omvormmodus en wordt de accumulator ontladen met stroom I_D [A] gedurende tijd T_D [s] tot de beginlaadstatus S_{begin} [%] weer is bereikt;
- gedurende deze tijd worden de metingen van de ontladspanning V_D [V], ontlaadstroom, ontladvermogen en ontladenergie vastgelegd door middel van de DC-vermogensmeter.

Opmerkingen

- bij alle accumulatorsystemen, zo ook de flowbatterij, varieert het rendementsresultaat bij het wijzigen van de experimentparameters (begin- en eindwaarde van de laadstatus en de laad- en ontlaadstroom). Het wordt aangeraden om het experiment te herhalen met verschillende parameters zodat er bruikbare conclusies kunnen worden getrokken;
- zoals gemeld bij het onderdeel over afhankelijkheid, zijn de accumulatorprestaties afhankelijk van een aantal externe factoren. Het wordt aangeraden om de omstandigheden vast te leggen om herhaalbare resultaten te kunnen verkrijgen.

3.3.4 Bepaling van accumulatorprestatiecurve

Doel

De prestatiecurve is de verhouding tussen de verbruikte stroom of de geleverde stroom van de accumulator en de bijbehorende hogere of lagere spanningswaarde. De verschillende soorten flowbatterijen worden vergeleken voor wat betreft vermogensdichtheid [W/m²]. De prestatiecurve is handig bij het selecteren van vermogenslektronica dat kan worden geïntegreerd met het accumulatorsysteem.

Benodigde middelen

- flowbatterijsysteem;
- omvormer/lader;
- regelbare belasting;
- DC-vermogensmeter;
- pc om metingen vast te leggen.

3.4 Risico's en afhankelijkheden

Lees het onderdeel Risico's en afhankelijkheden van het vorige experiment.

Procedure

- 1 start het experiment met de accumulator op zijn OCV (nullastspanning). Sluit de DC-vermogensmeter aan en leg hiermee de gemeten waarden vast gedurende de volgende stappen;
- 2 incrementeel laden: De accumulator wordt geladen met een startstroom (net genoeg om de spanning in de accumulator te zien stijgen);
- 3 wanneer de spanning stabiel wordt, wordt de laadstroom verhoogd;
- 4 herhaal stap (2) tot de spanning de nominale spanning bijna heeft bereikt;
- 5 incrementeel ontladen: De accumulator wordt ontladen met lage stroomsterkte (net genoeg om de spanning in de accumulator te zien dalen);
- 6 wanneer de spanning stabiel wordt, wordt de ontlaadstroom verhoogd door de regelbare belasting te wijzigen;
- 7 herhaal stap (6) tot de spanningsdaling zodanig is dat de omvormer wordt uitgeschakeld omdat de DC-spanning te laag is.

Opmerkingen

Hoewel de resultaten van dit experiment handig zijn voor verdere analyse, wordt dit experiment ideaal gezien uitgevoerd op celniveau door gebruik te maken van DC-toevoer en regelbare DC-belastingen in een laboratorium. De resultaten verschaffen echter nuttige data om de prestaties van de stapeling te bepalen. Er moet rekening mee worden gehouden dat alle cellen niet dezelfde state-of-health hebben. Ook zijn er verliezen verbonden aan de stapeling.

3.4.1 Taak 3.4 Analyse testresultaten

Vaststellen efficiëntie batterij

Ontladingstest

Ten behoeve van dit experiment, werd de OCV (Open circuit voltage) van de batterij gebruikt als een indicator van de SOC (State-of-charge). De batterij werd ontladen met een constant tempo vanaf een start OCV. Metingen van de aansluit spanning, stroom en vermogen werden geregistreerd met behulp van de DC-vermogensmeter. De test werd gestopt toen de aansluitspanning daalde naar de laagste veilige spanning aanbevolen door Elestor.

3.4.2 Taak 4.1 Analyse inpasbaarheid (Vergunningen en RO)

Op 21 maart 2016 heeft een bespreking met de gemeente plaatsgevonden. Hieruit zijn enkele vragen naar voren gekomen over de te volgen procedure:

- vanwege kleine opslagvolumina onder meldingsgrens; echter gemeente ziet pilot opstelling als proces in plaats van opslag waardoor toch melding nodig; de proceduredtijd voor een melding is 4 weken;
- de gemeente heeft de vraag opgeworpen of een bouwvergunning nodig is omdat de container hoger is dan 1,0 m; mogelijk kan de pilot opstelling worden beschouwd als zogenaamd bijbehorend bouwwerk,

- in dat geval is vrijstelling van bouwvergunning tot circa 3,0m hoogte mogelijk; dit moet nader uitgezocht worden; de proceduretijd voor een melding is 8 weken;
- de pilot opstelling is zeer tijdelijk; dit kan invloed hebben op meldings/vergunningsplicht.

De locatie van de pilot opstelling bevindt zich op het terrein dat ook dienst doet als verzamelplek bij ontruiming van het pand Leeuwenbrug van Witteveen+Bos.

De pilot opstelling is dicht tegen het pand Leeuwenbrug. Voorkomen moet worden dat dit dichtbij een ventilatie inlaat is in verband met risico op inlaten van H₂ en/of Br₂ gas.

3.4.3 Taak 4.2 Analyse financiële haalbaarheid

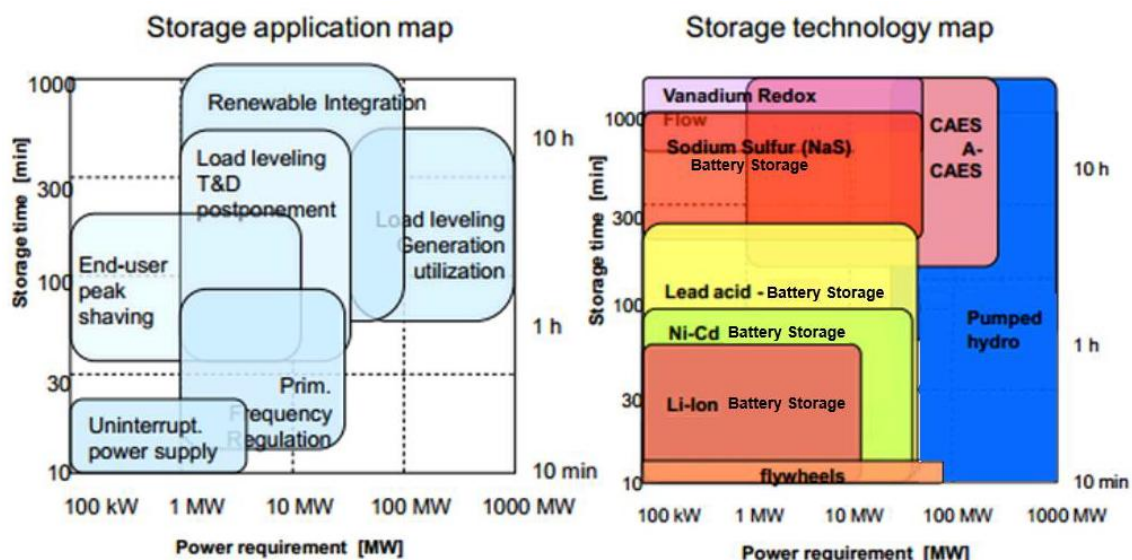
Bestaat er een markt voor flowbatterijen?

De behoefte aan een betrouwbare en kost effectieve energieopslag is het onderwerp geweest van een aantal academische en industriële studies. Omdat de hedendaagse uitdagingen voor energieopslag niet alleen erkend zijn binnen engineering en industriële kringen, maar ook binnen de beleidsvorming instituten zal dit document dit niet verder toelichten.

Energie opslag toepassingen variëren van elektronische consumentenproducten, tot automotieve tractie, off-grid installaties en netwerk ondersteuningstoepassingen. Elke toepassing heeft een aantal vereisten. Deze verschillen in de vraag naar energiebehoeften, vermogensbehoeften, operationele cycli, veiligheidseisen en verwachte levensduur.

Dus de vraag is welke energieopslag toepassingen markt het beste past bij de kenmerken van flowbatterijen? De afbeelding hieronder geeft een overzicht door de eisen van de verschillende energie opslag marken naast de eigenschappen van de verschillende opslag technologieën te plaatsen.

Afbeelding 3.11 Batterij technologieën Vs. toepassingen Source (Ecofys, Energy storage: Challenges and opportunities. White paper. April 2014. URL: <http://www.ecofys.com/files/files/ecofys-2014-energy-storage-white-paper.pdf>



Vanwege de relatief lage energie en vermogensdichtheid van flowbatterijen vergeleken met Li-Ion batterijen heeft de laatste de voorkeur bij automotieve toepassingen en kleinschalige consumenten elektronica. Echter, als het vermogen en de energie-eisen stijgen, verdienen flowbatterijen de voorkeur in vergelijking met

conventionele batterijen, hoewel Li batterijen zich snel ontwikkelen. Potentiële markten waar flowbatterijen beter zijn worden behandeld in de volgende paragraaf.

Welke markten kunnen profiteren van HBr batterijen?

Load leveling (Peak shaving)

Load leveling betreft meestal het opslaan van vermogen tijdens periodes van een lichte netbelasting en het leveren tijdens periode dat er een grote energievraag is. Load leveling zorgt voor een besparing op investering in net upgrades of in nieuwe productiecapaciteit. Bovendien, door gebruik te maken van load leveling kunnen de classificaties van de vermogensbronnen worden verlaagd (omdat het net ontworpen is om aan piekbelasting te kunnen voldoen, wat alleen in korte periodes voorkomt).

In het geval van load leveling/peak shaving, is een opslagmedium met hoge energie-efficiëntie vereist. Bovendien, is een hoge vermogensdichtheid nodig en zal de opslag technologie een groot aantal diepe ontladingen aan moet kunnen. Deze vereisten laten zien dat flowbatterijen een sterke kandidaat zijn voor deze toepassing. Gebaseerd op deze toepassing, bestaat er een potentiële markt voor flowbatterijen in:

- **lokale opslag:** waar een aantal huishoudens met een PV installatie een uniforme energieopslag delen. Hierdoor is peak shaving op de dagelijkse en seizoensgebonden basis mogelijk. Het feit dat het vermogen en de energie van flowbatterijen onafhankelijk kan worden gekozen maakt het mogelijk om de batterij te optimaliseren voor een specifieke situatie;
- **MKB bedrijven:** meestal zijn de aansluitkosten voor de klant gebaseerd op de piek installatie capaciteit. Echter, in de meeste belasting profielen, is deze piekbelasting slechts gedurende een beperkte tijd gevraagd. Deze extra aansluitkosten kunnen worden vermeden als een flowbatterij is geïnstalleerd met load leveling als doel;
- **Off-Grid applicaties:** Off-grid installaties, zoals boten of externe telecom sites, gebruiken vaak dieselgeneratoren als de belangrijkste energiebron. De generator moet grote variaties in de belasting volgen. Dit resulteert in een inefficiënte consumptie van de brandstof, vooral in situaties waar de belasting laag is in vergelijking met de nominale belasting. Naast het efficiëntie verlies, heeft deze operating modus ook een negatief effect op de levensduur van de generator. Om dit te ondervangen, kan energieopslag toegevoegd worden aan deze systemen. Het doel is dan om de generator constant te laten opereren op nominaal vermogen. In dit geval wordt de in balans tussen energie vraag en aanbod opgevangen door de batterij. Wanneer de vraag hoger is dan het nominale vermogen van de generator, zal de batterij ontladen om de mismatch te dekken. Anderzijds, als de vraag lager is dan het nominale vermogen van de generator, zal de batterij ontladen. Omdat in off-grid toepassingen, het belasting profiel nauwkeurig kan worden geraamd, kan de grootte van de batterij voor dit doel worden geoptimaliseerd. Bovendien, het feit dat flowbatterijen vrijwel geen zelfontlading hebben maakt hen een geschikte energieopslag voor deze toepassing. De winstgevendheid van de toepassing wordt echter beïnvloed door de energie-efficiëntie van de batterij.

Grid Support (Grid Stabilisatie)

Het aandeel van hernieuwbare energiebronnen in het elektriciteitsnet is snel toegenomen. Deze stijging wordt gestimuleerd door de vooruitgang in de efficiëntie, kostenreductie van deze bronnen en gunstig beleid. De groei van het aandeel hernieuwbare energie maakt grote schaal energieopslag steeds belangrijker, niet alleen om volledig gebruik te maken van de energie maar vooral ook om de vraag-aanbod balans en daarmee de frequentie stabiliteit van het net te handhaven.

Energiebronnen in het net worden gekenmerkt door hun snelle respons, betrouwbaarheid en lange levensduur. Flowbatterijen hebben al deze eigenschappen. De elektroden ondergaan geen fysische en chemische veranderingen terwijl ze in gebruik zijn (omdat ze geen actieve stoffen bevatten), wat leidt tot stabielere en duurzame prestaties. Door een langere levensduur, kunnen de investeringskosten van het batterij systeem worden afgeschreven over een langere periode. En met een grotere batterij kan de batterij het net gedurende langere periodes ondersteunen. Een andere belangrijke factor is de flexibiliteit in de dimensionering van de flowbatterij, waardoor energieleveranciers in een dynamische markt kunnen optimaliseren op basis van de energie uurtarief prijzen. Het feit dat flowbatterijen vrijwel geen zelfontlading hebben maakt hen een geschikte energieopslag voor deze toepassing. Echter, de rentabiliteit van deze toepassing wordt beïnvloed door de energie-efficiëntie van de batterij.

Flowbatterijen Vs. Li-Ion batterijen

Aangezien Li-Ion de dominante opslagtechnologie in de huidige markt is, is het de moeite waard de eigenschappen te onderzoeken in vergelijking met flowbatterijen. Hoewel zowel Li-Ion als flowbatterij elektrochemische energie opslag apparaten is hun werkingsprincipe anders. Dit leidt tot verschillen in kosten, operationele doelmatigheid en levensduur. Op basis van deze verschillen, kan het concurrentievoordeel van flowbatterijen worden geïdentificeerd.

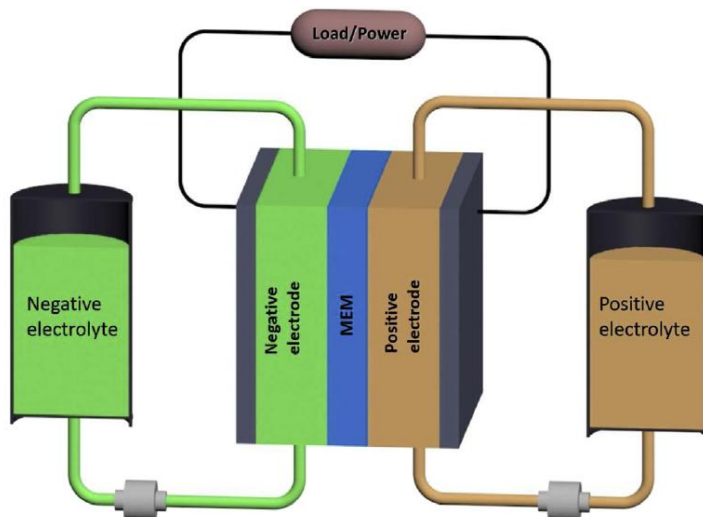
In een Li-Ion batterij verplaatsen Lithium-ionen van de anode naar kathode tijdens de ontlading, en van de kathode naar de anode tijdens het opladen, met alle elektrolyt in de batterij cel. Omdat Lithium het lichtste metaal element is, is de uiteindelijke grootte van de batterij klein in vergelijking met andere batterijen. Dit maakt deze batterij aantrekkelijk voor toepassingen zoals smartphones, laptops, elektrische voertuigen en andere draagbare toepassingen waar het gewicht van het product een belangrijke factor is. Bovendien hebben Li-Ion batterij een hoge energie-efficiëntie (meer dan 90 %) en kunnen ze veelal sneller worden opgeladen in vergelijking met hun tegenhangers (lood-zwavelzuur en Nikkel - Metaal Hydride).

Uit deze discussie blijkt dat Li-Ion eigenschappen geschikt zijn voor kleinschalige toepassingen, bij relatief hoge vermogens en lage energie dichtheden. Echter, componenten voor grid support toepassingen, worden vaak afgeschreven over decennia. Li-Ion batterijen zijn niet in staat om deze levensduur te bereiken. Bovendien, van grid ondersteunende batterijen wordt verwacht dat ze langdurig ontladen met diepe ontladingscycli. Bovendien, zullen veiligheidskwesties zorgen voor verhoogde kosten om gevaarlijke situaties te voorkomen.

Commerciële Flow-Batterijen

In het vorige deel, werden toepassing en markten waarin de flowbatterij superieur kan zijn aan andere energieopslagtechnologieën geïdentificeerd. In dit deel zal een vergelijking worden gemaakt tussen de huidige flowbatterij technologieën in de markt en de HBr flowbatterij ontwikkeld door Elestor. Deze vergelijking is gemaakt om mogelijke ontwikkelingsgebieden en de juiste positionering van Elestor's product te identificeren.

Afbeelding 3.12 Lay-out van een generieke flowbatterij



De bovenstaande afbeelding toont de belangrijkste onderdelen van de flowbatterij. Verschillende flowbatterij technologieën werden ontwikkeld met behulp van verschillende elektrolytische oplossingen. De keuze van elektrolyt heeft een directe invloed op de tanks, pompen, membraaneisen, energie efficiëntie laad-ontladingsprestaties, cyclus van de prestaties en de investeringskosten van de batterij.

Voor de commercialisering van de voorgestelde batterijtechnologie zijn de belangrijkste overwegingen; de investeringskosten, energie-efficiëntie en levenscyclus. Daarom zijn deze gekozen als de criteria waarmee de vergelijking zal worden gemaakt.

All-Vanadium flowbatterij

Vandaag de dag zijn vanadium redox flowbatterijen (VRFB) één van de meest aantrekkelijke redox-technologieën. Dit komt voornamelijk omdat zowel de positieve en negatieve elektrolyt hetzelfde materiaal gebruikt (Vanadium heeft verschillende oxidatie toestanden van V(5+) tot V(2+)), daardoor wordt het probleem van half-cel kruisbesmetting vermeden, wat een belangrijk probleem is voor flowbatterijen. Daarnaast hebben verschillende VRFBs een hoge betrouwbaarheid gedemonstreerd met een werking van meer dan 10.000 laad-ontlaad cycli zonder verslechtering van de prestaties van een 2kW-systeem gemeld in Japan.

Verschillende producenten bieden VRFB's commercieel aan:

- **UniEnergy Technologies:** biedt een 500kW, 2MWh VRFB onder de commerciële naam *Uni.System*;
- **RedT energy storage:** biedt een scala van producten van 5kW vermogen met 20kWh capaciteit aan 60KW ~ 300KWh batterijen met een levensloop van maximaal 25 jaar en 80 % efficiëntie van een laadcyclus;
- **VIONX energy:** biedt energie-opslagoplossingen gebaseerd op 1MW/1MWh batterij bouwstenen.

Zink-broom flowbatterijen

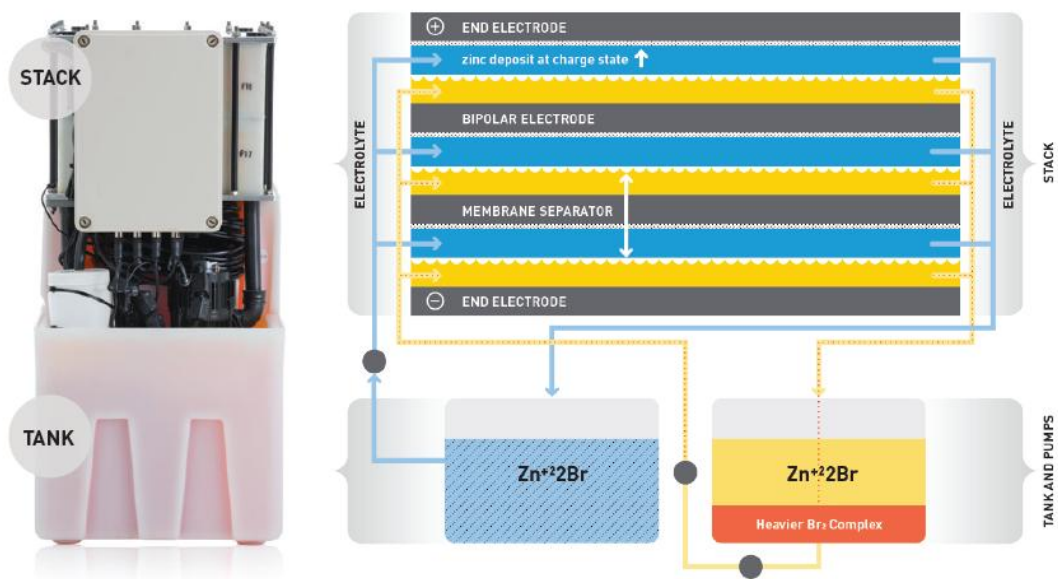
De zink-broom batterij is een hybride redox flowbatterij. De totale energie opslagcapaciteit van het systeem is afhankelijk van zowel de stapelgrootte (elektrode oppervlak) en de grootte van de elektrolyt opslag reservoirs. Het vermogen en de energie ratings van de zink-broom flowbatterij zijn niet volledig ontkoppeld. De zink-broom flowbatterij was ontwikkeld door Exxon als een hybride flowbatterij systeem begin jaren 70.

De commerciële producenten van zink-broom flowbatterijen zijn:

- **Primus Power:** produceert zink-broom batterijen, compleet met vermogenselektronica op middelgrote en grote schaal (25KW, 25MW, 5 uur ontlading. Met 75 % DC energie-efficiëntie tijdens een levensduur van 20 jaar. Hun afzetmarkten zijn van home storage tot grid support;
- **Smart Energy:** Gelegen in Shanghai, China. Deze fabrikant biedt een oplossing die is gebaseerd op zink-broom flowbatterijen. Afhankelijk van het vermogen en de energie omvang van de toepassing, is de verhouding tussen de verschillende energie-opslagtechnieken geoptimaliseerd;
- **EnSync Energy Solutions:** produceert een zink-broom-batterij met 55KWh capaciteit, 25KW (piek) en nominaal ontladvermogen van 12.5KW. De efficiëntie van de batterij is 70 % tijdens de geschatte levensduur van 20 jaar;
- **RedFlow energy storage:** de grootste leverancier van zink-broom gebaseerde energieopslag. Redflow biedt verschillende (10KWh 5KWp en 600KWh 300KWp met 10 jaar garantie) afhankelijk van de specifieke toepassingsgebieden:
 - transmissie en distributie uitstel;
 - microgrids en smart-grids;
 - telecommunicatie sites;
 - integratie van hernieuwbare energiebronnen;
 - off-grid externe energie.

Nadelen van een zink broom batterij zijn onder meer de noodzaak om eens in de zoveel tijd de gehele batterij volledig te ontladen, waarbij alle zink wordt opgelost. Als dit gebeurt, is de batterij offline.

Afbeelding 3.13 RedFlow ZnBr flowbatterij



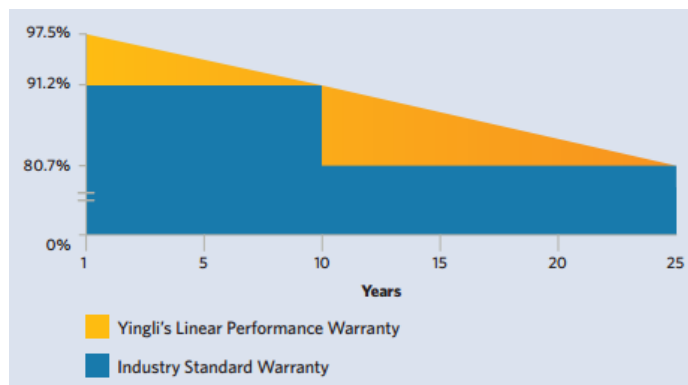
3.4.4 Taak 4.4 Assessment

Het systeem bestaat uit de, zonnepanelen, inverter, HBr flowbatterij met regeling, power meters en sensoren.

Assesment zonnepanelen

Voor het FlexTore project waren 8 Valeo zonnepanelen gekocht. Alle panelen voldeden aan hun initiële specificaties, zoals gemeten bij het ECN met de PASAN flashtester. 6 zonnepanelen zijn op het dak in Deventer geplaatst en 2 panelen zijn achtergebleven bij het ECN als controle/reserve panelen. Na de test in Deventer zijn de panelen nogmaals bij het ECN gemeten. Het vermogen van de 6 panelen uit Deventer was circa 3 % lager geworden als gevolg van een 1 % lagere kortsluitstroom (I_{sc}) en 2 % lagere Fill Factor (FF). De 2 controle panelen, die niet in Deventer waren geplaatst en daardoor geen zonlicht hadden gezien, vertoonden geen achteruitgang. De achteruitgang van de panelen kan daarom worden toegeschreven aan Light Induced Degradation (LID), de achteruitgang van zonnepanelen in de eerste periode van gebruik (http://files.pvsyst.com/help/lid_loss.htm). Dit is conform de garantievoorwaarden van Valeo (within the first year of performance at least 97 % of the rated power output, years 2 to 25: power output degradation not higher than 0.7 % per year, starting with the minimal guaranteed 97 % power output after one year). Een typisch voorbeeld van een dergelijk degradatieprofiel staat grafisch weergegeven in afbeelding 3.14.

Afbeelding 3.14 Typisch degradatieprofiel van p-type zonnepanelen (Yingli module, 25 Years Linear Warranty)



De zonnepanelen hebben hierdoor voldaan aan de gestelde eisen.

Assesment inverter

De inverter bestaat uit de volgende geïntegreerde componenten:

- Solar MPPT tracker (voor de bepaling het maximale vermogenswerkpunt van de zonnepanelen);
- Battery charger (optimaal laad- en ontlad regelaar van de HBR flowbatterij);
- DC/AC converter (omzetting van de gelijkstroom in wisselstroom en andersom).

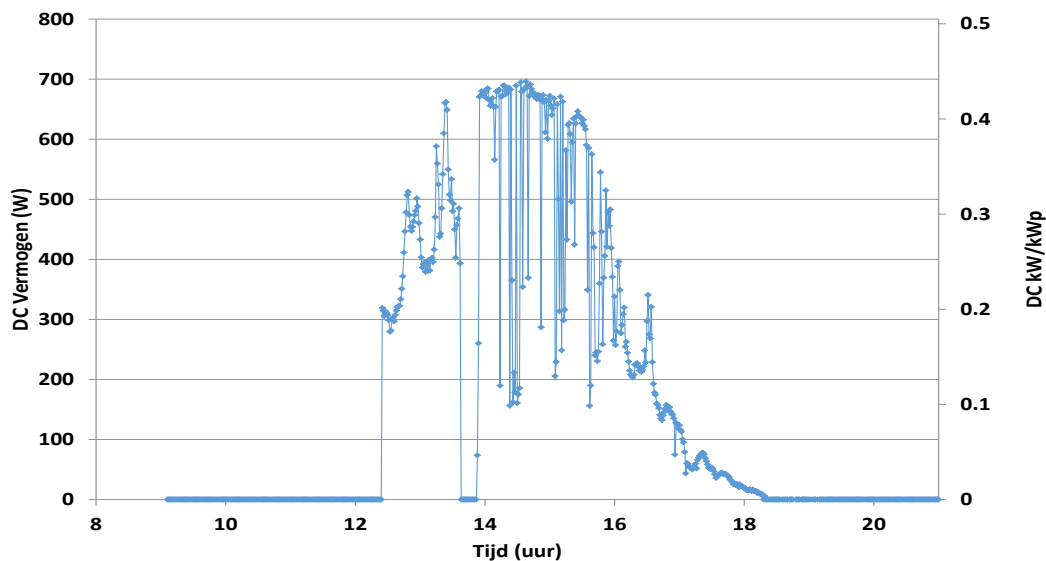
De inverter was bedoeld voor de volgende functies:

- energielevering van de zonnepanelen aan het net;
- energielevering van de HBR flowbatterij aan het net;
- opladen van de batterij met zonne-energie;
- opladen van de HBR flowbatterij uit het net.

Energielevering van de zonnepanelen aan het net.

De prioriteit in het project is gegeven aan het meten van de HBR flowbatterij. De zonnepanelen zijn daarom slechts 5 dagen gemeten, te weten van 17 tot 21 maart 2017. Hierbij werd het vermogen van de zonnepanelen aan het net geleverd. Op 17 maart 2017 werd de hoogste opbrengst bereikt (afbeelding 3.15). De resultaten die worden gegeven, zijn daarom van deze dag.

Afbeelding 3.15 Absolute (links) en genormeerde (rechts) DC power output in de tijd (17 maart 2017)



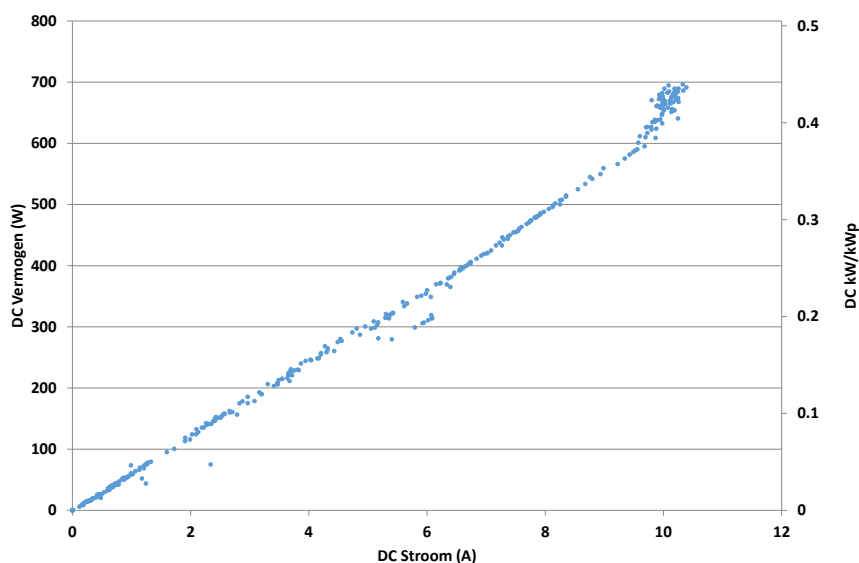
Voor de evaluatie van de opbrengst van het PV systeem was een instralingssensor en temperatuursensor gekocht. Helaas is het de HAN niet gelukt om deze sensoren werkend te krijgen. Om de opbrengst van het systeem te beoordelen is daarom een vergelijking gemaakt met de instralingsgegevens van de KNMI. Dit bleek niet goed mogelijk, omdat de instraling bij de KNMI in het horizontale vlak wordt gemeten en de zonnepanelen onder een hoek gemonteerd staan. Daarnaast worden door de KNMI alleen uurgemiddelde gegevens terwijl de instraling gedurende de meetperiode continu varieerde als gevolg van wolken. Daarom is er een vergelijking gemaakt met de opbrengst van een PV systeem in Deventer (afbeelding 3.16).

Afbeelding 3.16 Genormeerde output PV systeem in Deventer (Solarlog data, postcode 7413 VT, 17 maart 2017)



De opbrengst van dit systeem is, ondanks een andere ligging en sampling tijd, redelijk vergelijkbaar met het systeem bij Witteveen+Bos. Opvallend is dat de piek rond 14 uur in het systeem van Witteveen+Bos ontbreekt. Het lijkt erop dat het systeem bij Witteveen+Bos gelimiteerd wordt in output. Om de oorzaak hiervoor te vinden is de data van dit systeem verder geanalyseerd.

Afbeelding 3.17 Absolute (links) en genormeerde (rechts) DC vermogen als functie van DC stroom (17 maart 2017)



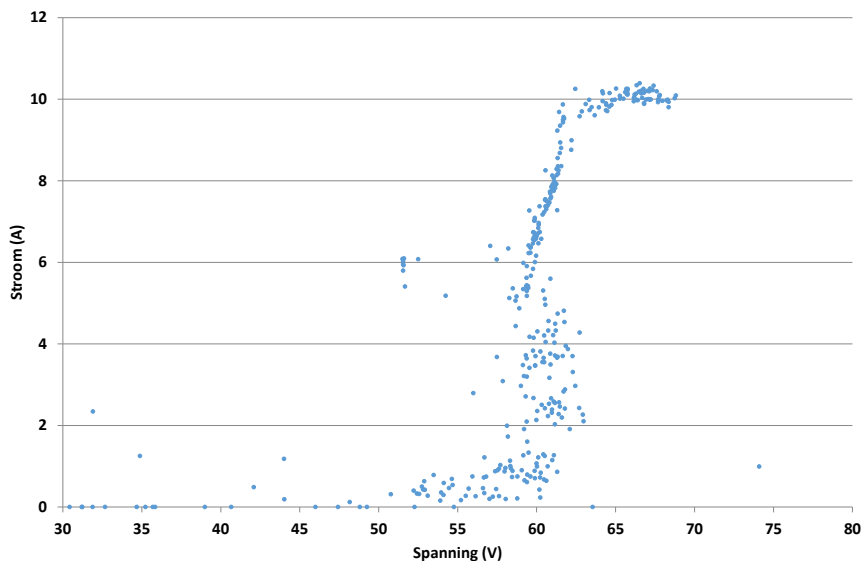
In afbeelding 3.17 is het DC vermogen gegeven als functie van de DC stroom. Het vermogen neemt zoals verwacht lineair toe met de stroom, maar boven de 9.5A treedt er een afwijking op. De reden hiervoor blijkt uit afbeelding 3.18, waarin de DC stroom staat gegeven als functie van de DC spanning in het maximum power punt. De spanning is laag bij lage stroom (= lage instraling) en loopt op met de stroom tot circa 60V. De spanning is overeenkomstig met de verwachting van IV metingen (serieschakeling van 2 panelen = 62 V).

Bij een stroom boven de 9.5A neemt de spanning toe terwijl de stroom nauwelijks meer hoger wordt, terwijl de spanning vrijwel constant had moeten blijven. Deze afwijking kan 2 oorzaken hebben:

- de MPPT van de inverter is gelimiteerd op een ingangsstroom van 10A;
- de inverter bereikt zijn maximum omzettingsvermogen, waarbij de vermogensopname uit het zonnepaneel wordt beperkt. Dit is een standaard regeling van inverters om de vermogensopname uit

zonnepanelen te beperken ('clippen'). De inverter kiest daarbij een spanning boven de V_{mpp} , zodat het zonnepaneel niet meer zijn volledige vermogen levert aan de inverter (zie PV curve van afbeelding 3.18).

Afbeelding 3.18 DC Stroom als functie van de DC spanning (17 maart 2017)



Om de oorzaak te vinden is na de test met de zonnepanelen de inverter getest met een DC voedingsbron in plaats van de zonnepanelen. Deze metingen hebben aangetoond dat de stroom niet gelimiteerd werd door de inverter. Door het ontbreken van een DC voedingsbron met hoog vermogen kon niet worden aangetoond dat de inverter gelimiteerd was in vermogen. In de datasheet van de inverter staat vermeld dat de charge controller het vermogen van de zonnepanelen limiteert tot 700 W indien de batterijspanning laag is. Omdat de HBr flowbatterij was losgekoppeld, heeft de charge controller waarschijnlijk de opname van het vermogen uit de zonnepanelen gelimiteerd tot 700 W door verhoging van de PV spanning, zoals aangetoond in de afbeeldingen 3.17 en 3.18.

Energielevering van de HBr flowbatterij aan het net bleek niet mogelijk te zijn met deze inverter. Voor het laden en ontladen van de HBr flowbatterij is beperkt gebruik gemaakt van de inverter, omdat separate apparaten een beter regelbereik hadden zoals nodig om de HBr flowbatterij goed te kunnen meten. De inverter voldeed hiermee wel aan zijn specificaties maar was in de praktijk minder goed bruikbaar. Een apparaat met gescheiden MPPT, charge controller en DC/AC inverter was waarschijnlijk beter geschikt geweest doordat de verschillende onderdelen onafhankelijk van elkaar konden worden geregeld en gemeten.

Assesment HBR flowbatterij

- het doel was een vermogen van 1 kW. Het maximaal behaalde vermogen zonder BCA was 359W en 166W met BCA, zoals gemeten aan het begin van de testperiode;
- het doel was een energieopslag capaciteit van 4 kWh. Bij het opladen wordt H_2 en Br_2 gevormd uit HBr, bij ontladen treedt de omgekeerde reactie op. De maximale energieopslagcapaciteit wordt door een combinatie van factoren bepaald, zoals:
 - ontladen: maximaal om te zetten hoeveelheid H_2 , zoals bepaald door het volume van de H_2 opslagvaten en de maximale H_2 druk;
 - opladen: maximaal hoeveelheid te vormen H_2 , zoals bepaald door de initiële hoeveelheid aanwezig HBr;
- dit zijn de theoretisch maximale waarden, in beiden gevallen moet er rekening worden gehouden dat de batterij niet volledig mag worden ontladen om extreme degradatie te voorkomen. De maximale capaciteit bij ontladen is niet gemeten maar het is duidelijk dat de ingeschatte 3 - 4 kWh niet is gehaald. Dit had de volgende hoofdoorzaken:

- het gebruik van een complexerend middel wat broom in een aparte, olie achtige laag onder een waterlaag separeert zorgt voor een laag voltage aan de stacks;
- kort voor het in dienst nemen van deze batterij werd duidelijk dat ditzelfde complexerend middel bij lage state of charge oplost in de waterlaag erboven en zorgt voor een ongewenste interactie met het gebruikte membraan. Als gevolg daarvan was het niet mogelijk diep te ontladen;
- ook de lek dichtheid van de batterij liet te wensen over; de beoogde druk van 20 bar kon niet bereikt worden. De lek dichtheid van de batterij zal daarom verbeterd moeten worden;
- de zelfontlading van de batterij is nog te hoog en zal lager worden door verbetering van de lek dichtheid;
- het rendement bij een commercieel bruikbaar vermogen is nog te laag en zal verbeterd moeten worden door vermindering van de verliezen in de batterij;
- de degradatie van 0.9 mV/cel/dag is te hoog en zal voor een commercieel product sterk verbeterd moeten worden;
- de efficiency van de flowbatterij is vooralsnog bepaald op 48 % bij een stroom van 3A
Dit is de efficiency van de batterij, hierbij is geen rekening gehouden met het verbruik van de systeemcomponenten zoals pompen, verwarming, regelingen en het veiligheidssysteem. Deze pilot is dusdanig klein van vermogen dat het externe verbruik onevenredig groot is, bovendien is het nog geen optimaal systeem. Het is daarom niet zinvol om voor dit systeem een systeemefficiency te berekenen. Voor grotere systemen zal wel rekening gehouden moeten worden met het externe verbruik om het systeem rendement te bepalen.

SWOT analyse HBr flowbatterij systeem

Op basis van deze assessment is de volgende SWOT analyse gemaakt van het HBR flowbatterij systeem.

Strength

- mogelijkheid tot ontkoppeling van vermogen ((k)W) en energie ((k)Wh);
- mogelijkheid tot diep ontladen;
- schademechanismen zoals in batterijen met vaste kathoden en anoden ontbreken;
- mogelijkheid tot vervangen individuele componenten.

Weakness

- systeem is ingewikkelder dan bijvoorbeeld Li-Ion batterij;
- round trip efficiency van HBr systeem is momenteel nog lager dan Li-Ion batterij;
- voor de veiligheid is complexeer middel gebruikt, waardoor de prestatie van de HBr batterij lager wordt;
- er is nog ontwikkeling nodig om doelen te bereiken met betrekking tot efficiency, vermogen, energie, levensduur en energieverlies in de tijd door lekkage.

Opportunity

- er is uitzicht op lagere kosten (€/kWh) voor grote systemen in vergelijking tot batterijen, omdat het opslag medium goedkoop is;
- veelzijdig systeem door de ontkoppeling van vermogen en energie.

Threat

- H₂ is een klein molecuul dat gemakkelijk weglekt, waardoor extra eisen gesteld moeten worden aan de lek dichtheid;
- HBr en Br₂ zijn corrosief, waardoor de materialen in het systeem corrosiebestendig moeten zijn;
- er wordt gebruik gemaakt van een katalysator die indien omstandigheden niet juist worden gekozen, gevoelig is voor corrosie.

4

MOGELIJKHEDEN VOOR SPIN-OFF EN VERVOLGACTIVITEITEN

4.1 Inleiding

De betrokken partners in het project kijken terug op een leerzaam en succesvol project. De samenwerking wordt gecontinueerd in een vervolgproject in Emmeloord met een batterij van 50 kW. Daarbij wordt nadrukkelijker gefocust op de inpassing van de batterij in het grid en de diensten die nodig zijn om de batterij optimaal in te zetten ten dienste van de elektriciteitsvoorziening. Hierna is voor elke partij beschreven welke spin-off zij verwacht.

4.2 Waterstofbromide Flowbatterij

De ontwikkeling van de waterstof-broom redox flowbatterij gaat door bij Elestor. De volgende stappen zijn onder meer:

- efficiëntie vergroting (de round trip efficiency is een belangrijke maat voor de economische haalbaarheid);
- een uitbreiding van het vermogen en de opgeslagen energie;
- een sterke reductie in de afmetingen;
- een focus op veilige werking van de batterij (inherente veiligheid versus 'toegevoegde' veiligheid);
- een verdere reductie van de kostprijs van de componenten;
- doorontwikkeling van de kerncomponenten in de stack, te weten de Membrane-Electrode-Assembly (MEA).

4.3 PV-technologie

Zonnepanelen hebben een lange gegarandeerde levensduur, zoals nodig voor het terugverdienen van de investering. Veranderingen in materialen en ontwerp kunnen een onbekende invloed hebben op de levensduur. Een zonnepanelenfabrikant kan het zich niet veroorloven dat een batch zonnepanelen in de praktijk niet goed functioneert, omdat vervanging veel geld kost en de fabrikant een slechte naam krijgt.

Fabrikanten willen daarom niet veel afwijken van bekende materialen en technieken, zonder dat de technologie zich bewezen heeft. MWT back contact zonnepanelen hebben veel voordelen boven de standaard H-patroon zonnepanelen, maar hebben zich nog niet in de markt bewezen. Een overstap van standaard H-patroon zonnepanelen naar MWT back contact zonnepanelen is daarom een grote stap die veel fabrikanten niet durven te nemen. Daarbij treedt ook het kip-ei effect op: zonder grootschalige productie van MWT back contact panelen zullen de benodigde specifieke componenten van deze zonnepanelen (MWT cellen, stroom geleidende folie) niet op grote schaal worden gemaakt en is de kostprijs nog relatief hoog. Door de relatief hogere kostprijs van de componenten is het lastig om te concurreren met de standaard H-patroon zonnepanelen. Om deze situatie te doorbreken ontwikkelt ECN stroom geleidende folies op basis van goedkopere materialen, hoog rendement cellen met minder productiestappen en minder materiaalgebruik en heeft het diverse projecten om de betrouwbaarheid van de MWT back contact technologie aan te tonen.

Voor zover bekend zijn er op dit moment de volgende machinebouwers die productielijnen leveren voor het maken van MWT back contact zonnepanelen:

- Eurotron (Nederland, <https://www.eurotron.nl/>);
- Formula E (Italië, <http://www.formulaeworld.com/>);
- Valoe (Finland, <http://www.valoe.com/>).

Op dit moment zijn er minstens 3 zonnepanelen fabrikanten actief voor het maken van MWT zonnepanelen, te weten:

- Exasun (Nederland, <http://exasun.com/>, zelf ontwikkelde productielijn);
- Sunport (Chinees, <http://www.sunportpower.com/>, verkoop in NL onder de naam Youen (<https://www.youen.nl/>), productielijn van Eurotron);
- TriEnergia (Italië, <http://www.trienergia.com/>, verkoop in NL door o.a. EnergieAnders (<http://energieanders.nl/trienergia-driehoek-paneel-100wp-detail>), productielijn van Formula E).

Daarnaast zijn er verschillende zonnepanelen productie faciliteiten in oprichting, zoals:

- Unknown investor (Ethiopië, https://www.pv-magazine.com/2016/02/11/valoe-signs-biggest-deal-with-150-mw-module-line-to-ethiopia_100023159/, productielijn van Valoe);
- Energyra (Nederland, <http://www.energyra.com/>).

Er zijn meer productielijnen verkocht, maar hier zijn nog geen openbare gegevens over bekend.

Sinds het begin van het FlexTore project zijn er een aantal fabrikanten die zonnepanelen kunnen leveren bijgekomen, zoals Exasun, Sunport en TriEnergia.

Exasun richt zich op zonnepanelen met lange levensduur (glas/glas in plaats van glas/folie) en een mooi uiterlijk (geen busbar, zwart) tegen een concurrerende prijs. Youen zet in op de laagste prijs met goede kwaliteit en refereert hierbij naar de aankondiging dat de Europese landen tegen het verlengen van de anti-dumping import heffingen op zonnepanelen uit China hebben gestemd waardoor de prijzen van Chinese panelen naar verwachting verder zullen dalen. TriEnergia maakt panelen met verschillende afmetingen zoals driehoeken, zoals eenvoudiger te maken is met de folietechnologie in vergelijking tot zonnepanelen met verbindingen via busbars. Met deze zonnepanelen zijn systemen op daken te maken met een betere dakvulling.

Om de levensduur en betrouwbaarheid van MWT zonnepanelen aan te tonen meet ECN sinds 2007 het gedrag van onder ander een MWT zonnepaneel in Petten met een IV tracer en zal binnenkort een veldtest worden gestart met circa 400 MWT zonnepanelen.

Met een prijsdoorbraak, hogere esthetiek, flexibele vormgeving, hoge opbrengst en aangetoonde betrouwbaarheid is de verwachting dat back contact MWT zonnepanelen in de toekomst een groeiend aandeel in de markt zullen krijgen.

4.4 Commerciële Dienstverlening

Witteveen+Bos ziet dat interesse vanuit de markt als gevolg van de betrokkenheid bij de pilot bij haar kantoor aan de Leeuwenbrug 8 in Deventer aantrekt. Er is vooral veel interesse naar de in potentie goedkope energieopslag.

Daarnaast is Witteveen+Bos als penvoerder betrokken bij een volgend project in Emmeloord dat mede door een Urban Energy subsidie mogelijk is gemaakt. Dit project met een 50 kW HBr flowbatterij zal benut worden om enerzijds de kennis van het systeem en inpassing in de gebouwde omgeving te vergroten. Door de grotere capaciteit zal ook kennis worden opgedaan van de veiligheidsaspecten van grotere hoeveelheden broom en waterstof. Deze veiligheidskennis kan Witteveen+Bos benutten om een positie te verwerven bij de ontwikkeling van locaties waar vergelijkbare installaties in de gebouwde omgeving komen.

Vragen vanuit de markt komen vanuit overheden, industrie en transportsector. Dit betekent dat Witteveen+Bos samen met Elestor en de andere projectpartners in contact is met potentiële nieuwe klanten en bestaande klanten van Witteveen+Bos waar door dit project nieuwe diensten geleverd kunnen worden. Waar in het begin de betrokkenheid beperkt was tot feitelijk alleen de projectmanager van Witteveen+Bos heeft het project ertoe geleid dat er in de loop van het project diverse specialisten vanuit verschillende disciplines bekend zijn geworden met het systeem: veiligheidskundigen, vergunningspecialisten, werktuigbouwkundigen.

Vanwege de aansluiting op het gebouw aan de Leeuwenbrug 8 waar vanaf 2017 PV panelen en een warmtepomp worden geplaatst naast isolatie maatregelen en ombouw naar ledverlichting is er vanuit Witteveen+Bos ook interesse om de batterij wanneer deze commercieel beschikbaar is in te bouwen in het pand.

4.5 Onderwijs

Flowbatterijen zijn opkomende opslagsystemen met een zeer hoog potentieel om de energietransitie te faciliteren. De effecten variëren van een effectieve grootschalige opslag tot het ondersteunen van een lokaal netwerk. Inzicht in de technologieën van flowbatterijen en hun rol in de elektriciteitsinfrastructuur is als kennisinstituut zeer nuttig voor de HAN. Tijdens het FlexTore project kregen studenten de gelegenheid om aan opdrachten te werken en te leren over de technologie van de flowbatterij. Dit hield in literatuur studies over flowbatterij technologieën, flowbatterij systeem modellen maken en het ontwerpen van controletechniek voor effectieve laden/ontladen voor het systeem.

Aanvullend, bood het project het Lectoraat Meet- en Regeltechniek de gelegenheid om een nieuwe lijn van opslagtechnologieën te onderzoeken die voorheen niet de primaire focus hadden voor de groep. De verworven kennis en de lessen die zijn geleerd via dit project heeft de groep solide basis voor toekomstige projecten voor onderzoek en uitvoering geboden.

5

DISCUSSIE

De discussie is opgesplitst in de volgende aspecten:

- ontwikkeling van de PV panelen;
- inpassing in het GRID en aansluiting op duurzame bronnen en gebruikers;
- veiligheid en vergunningsplicht bij verdere ontwikkeling.

5.1 Ontwikkeling van de PV panelen

De Valeo MWT zonnepanelen voldeden aan de specificatie van de fabrikant en de gestelde eisen binnen het project. De panelen met 60 cellen hadden een vermogen van 265 Wp onder standaard test condities (STC). Sinds het begin van het FlexTore project is de ontwikkeling van PV panelen doorgegaan. Exasun levert op dit moment MWT panelen met een vermogen van 300 Wp door onder andere het gebruik van cellen met een hoger rendement. Andere ontwikkelingen zijn zonnepanelen die minder gevoelig zijn voor schaduw en zonnepanelen die zowel licht aan de voorkant als achterkant omzetten in elektriciteit. Hierdoor zal de opbrengst per geïnstalleerd vermogen hoger zijn en kunnen panelen worden toegepast op daken zonder dat rekening hoeft te worden gehouden met schaduwobjecten zoals schoorstenen en dakkapellen. Door de MWT folie technologie kunnen gemakkelijk zonnepanelen worden gemaakt met verschillende formaten, waardoor deze panelen beter inpasbaar zijn in standaard bouwelementen. Dit maakt het voor architecten niet alleen makkelijk om zonnepanelen in te passen in de gebouwde omgeving, ook kunnen esthetisch mooie ontwerpen worden gemaakt.

5.2 Inpassing in het GRID en aansluiting op duurzame bronnen en gebruikers

De geïmplementeerde systeemarchitectuur topologie was voldoende voor de demonstratie van het micro-netwerk met de volgende doelstellingen; de werking van de flowbatterij in een micro-netwerk, minimaliseren van netwerkafhankelijkheid, en maximaliseren van de opbrengst van zonne-energie. Het energie managementsysteem is ontworpen met het doel om het eigen gebruik van de verkregen energie (van de zonne-energie en de flowbatterij) te maximaliseren. De PV-opbrengst wordt gemaximaliseerd door gebruik te maken van de MPPT-lader, de flowbatterij wordt opgeladen/ontladen naar het AC-net via de wisselstroomomvormer/lader, onafhankelijk van de beschikbaarheid van zonne-energie.

5.3 Veiligheid en vergunningsplicht bij verdere ontwikkeling

Elestor is voornemens 50 kW units als standaard eenheid te ontwikkelen. Deze omvang zal naar verwachting vergunningplichtig zijn.

CONCLUSIE EN AANBEVELINGEN

6.1 Conclusies

6.1.1 Conclusie - systeemarchitectuur

De geïmplementeerde systeemarchitectuur is een goed compromis tussen de kosten en de doelstellingen van de belanghebbenden. De topologie was voldoende voor de demonstratie van het micro-netwerk met de volgende doelstellingen; de werking van de flowbatterij in een micro-netwerk, minimaliseren van netwerkafhankelijkheid (door de regelstrategie), en maximaliseren van de opbrengst van zonne-energie.

Het systeem is niet alleen eenvoudig, maar kan worden ingezet om diverse doelen te bereiken. De PV-opbrengst wordt gemaximaliseerd door gebruik te maken van de MPPT-lader, de flowbatterij wordt opgeladen/ontladen naar het AC-net via de wisselstroomomvormer/lader, onafhankelijk van de beschikbaarheid van zonne-energie. Bij de geïmplementeerde architectuur kunnen de zonnepanelen en de flowbatterij volledig worden ontkoppeld.

6.1.2 Conclusie - energiebeheer

Het energie managementsysteem voor het micro-netwerk FlexTore is ontworpen met het doel om het eigen gebruik van de verkregen energie (van de zonne-energie en de flowbatterij) te maximaliseren. De zonnelader (MPPT) werkt altijd maximaal om de flowbatterijen te laden. Alle overtollige energie kan naar de AC-energieverbruikers worden gestuurd. Indien er geen PV-vermogen beschikbaar is, wordt de afnemer gevoed door de flowbatterijen. Als de vraag boven een drempelwaarde gaat, wordt het netwerk ingeschakeld om aan de vraag te kunnen voldoen. Wanneer de vraag onder de drempelwaarde komt, neemt de flowbatterij het over. Als de laadstatus van de flowbatterijen het minimumniveau bereikt (onafhankelijk van de vermogensvraag), neemt het netwerk het over om aan de vraag van energieverbruikers te voldoen. De energiebeheerstrategie zorgt voor een maximum gebruik van de zonne-energie, en de bescherming van de flowbatterijen tegen overladen en over-ontladen.

De grote vraag naar kosteneffectieve elektriciteits opslagsystemen heeft geleid tot de ontwikkeling van de HBr Flowbatterij door Elestor BV, en is gedemonstreerd in het FlexTore project. Het FlexTore systeem is gestart zonder grote problemen wat bewijst dat HBrFlowbatterij systemen in het centrum van een stad zonder significante veiligheidsrisico's kunnen worden geïnstalleerd. De systeem levensduur is hoog en relatief duurzaam gedurende de meetperiode met een lichte en constante vermindering van de prestaties. Deze prestatievermindering is gemeten op 0,9 mV per cel per dag. De stabiliteit en het rendement hangen af van de stroomsterkte.

Waar in de huidige pilot een melding volstond zal in de toekomst bij opschaling naar 50 kW of grotere installaties rekening moeten worden gehouden met een lange vergunningprocedure van 26 weken in het kader van het Besluit Omgevingsrecht.

6.1.3 Conclusie – Zonnepanelen

De MWT zonnepanelen op basis van folie technologie hebben voldaan aan de specificatie van het project. Deze nieuwe technologie heeft vele voordelen ten opzichte van de standaard H-patroon technologie. Bij de standaard H-patroon modules worden de cellen onderling met elkaar verbonden door middel het solderen van tabs en busbars. Na het solderen worden de zonnepanelen gemaakt door het stapelen van componenten gevolgd door lamineren. Door het solderen en verplaatsen van gesoldeerde cellen kunnen cracks in cellen ontstaan die leiden tot degradatie of zelfs falen van modules. Bij de MWT zonnepanelen worden de cellen niet aan elkaar gesoldeerd maar worden de elektrische verbindingen gemaakt tijdens het lamineren van de zonnepanelen. De stap met solderen wordt hierbij overgeslagen.

Standaard H patroon zonnepanelen bestaan uit 60 cellen met een maat van 1 m x 1.64 m², bouwmaten zijn vaak veelvoud van 30 cm. De MWT technologie op basis van geleidende achterzijdefolie kunnen op verschillende formaten worden gemaakt.

Door het ontbreken van de tabs aan de voorzijde van de cellen kunnen modules worden gemaakt met een fraai uiterlijk zonder een storend lijnenpatroon van glimmende materialen. De MWT Valeo modules hadden hierdoor een opvallend uiterlijk dat door velen werd gewaardeerd. In combinatie met de vrijheid in maatvoering kunnen architecten met de MWT zonnepanelen technologie elementen maken die direct inpasbaar zijn in de bouw en een fraai uiterlijk hebben.

6.2 Aanbevelingen

Vanwege het innovatieve karakter van de HBr-flowbatterij, wordt sterk aangeraden om bij toekomstige installaties tijdig (meer dan 8 maanden voor de vergunning aanwezig dient te zijn) in vooroverleg te gaan met het bevoegd gezag, ten einde de vergunningprocedure zo soepel mogelijk te kunnen laten verlopen. Voor toekomstige installaties is het van belang om een algemeen aanvaarde set aan 'fail-save' maatregelen met het bevoegd gezag af te stemmen, waardoor wordt voorkomen dat voor elke nieuwe opstelling hierover discussies met het bevoegd gezag moeten worden gevoerd.

