

NaSTOR

NaSTOR residential energy storage system prototype

Openbaar eindrapport TEUE116130

Research and development of sodium-based batteries using abundant raw materials for ultra-low-cost storage of electrical energy

Project ID: TEUE116130

Project title: NaSTOR residential energy storage system prototype / NaSTOR prototype

Coordinator and project partners: Exergy Storage, DIFFER, EME, Movements Group

Project duration: 1-4-2017 – 1-4-2021

Openbaar eindrapport Project NaSTOR (TEUE116130)

Inleiding

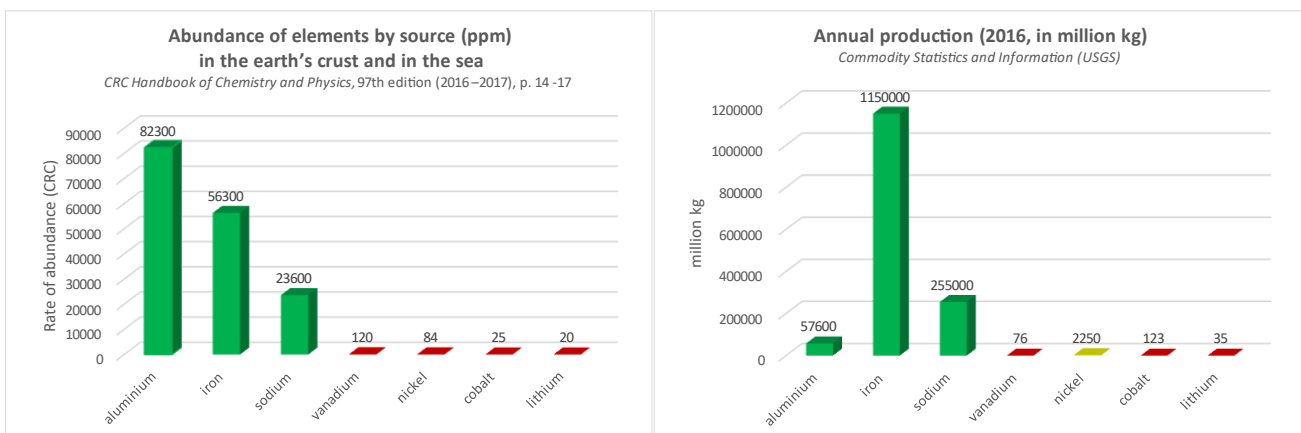
Voor de overstap van gas- en kolencentrales naar zon- en windenergie zijn grote hoeveelheden batterijen nodig. Met batterijen kun je bijvoorbeeld de energie opslaan die met zonnepanelen overdag wordt opgewekt wanneer de zon schijnt. Die energie kan dan later weer worden vrijgegeven, wanneer bedrijven of huishoudens deze nodig hebben. De meeste batterijen hebben als voordeel dat hierbij nauwelijks energie verloren gaat (de 'efficiëntie' is hoog). Dat is een belangrijk verschil met opslag in bijvoorbeeld waterstof waarbij juist veel energie verloren gaat; dat drijft de prijs van opgeslagen elektriciteit omhoog.

Batterijen zijn dus gunstig voor de opslag van energie uit zon en wind. De beste batterijen die je nu kunt kopen maken gebruik van lithium. Deze batterijen vind je in je mobiele telefoon, in je laptop en in elektrische auto's. Deze 'lithium' batterijen hebben echter een aantal nadelen. Zo zijn de batterijen zelf nog behoorlijk duur, maken ze vaak gebruik van zeldzame grondstoffen en kunnen ze brand veroorzaken, waarbij giftige gassen vrijkomen.



Foto prototype batterijsysteem voor gebruik in huis dat momenteel in ontwikkeling is.

In dit project, met de naam NaSTOR, is gewerkt aan de ontwikkeling een nieuw type batterij. Deze nieuwe batterijtechnologie maakt gebruik van zeer goedkope grondstoffen, zoals zout en aluminium. In tegenstelling tot andere zoutbatterijen, bevat deze batterij geen water; daardoor kan de batterij compact blijven (net zoals de lithium-batterij in je telefoon neemt hij weinig ruimte in). Het gebruik van uiterst goedkope grondstoffen en relatief eenvoudige productieprocessen maakt dat deze nieuwe batterij zeer goedkoop kan worden geproduceerd. Het betekent ook dat er nooit te weinig grondstoffen zijn om de steeds grotere hoeveelheid zonnepanelen en windparken van batterijen te voorzien. Er is namelijk zo'n 10,000 keer meer grondstoffen beschikbaar voor zoutbatterijen dan voor lithiumbatterijen.



De grafieken hierboven laten de zeldzaamheid zien van grondstoffen die in concurrerende batterij technologieën verwerkt worden (zoals Li-ion en vanadium redox flow-batterijen) t.o.v. de grondstoffen die voor Exergy NaSTOR batterijen gebruikt worden (bron: CRC & USGS).

In de loop van het project zijn er een aantal doorbraken gerealiseerd. Daardoor is dit nieuwe type 'NaSTOR' batterij veel veiliger dan lithium-batterijen die we nu nog gebruiken. Ze zijn namelijk niet brandbaar en kunnen niet exploderen. Bovendien laten de uitgevoerde testen zien dat de batterijcellen een lange levensduur hebben, zonder dat de werking terugloopt.

Naast de technologische ontwikkeling in dit project is ook een studie uitgevoerd om te bepalen wat de kostprijs van deze nieuwe batterijen zou zijn, wanneer ze in grote hoeveelheden gemaakt worden. Daaruit volgt een zeer lage te bereiken **kostprijs** van 70 euro per kilowattuur voor thuisbatterijen. De productiekosten van een redelijk grote thuisbatterij zouden daarmee zo'n 700 euro bedragen—een vergelijkbare (qua opslagcapaciteit) lithium-ion thuisbatterij kost momenteel ruim 10 keer zo veel. Voor grotere systemen, bijvoorbeeld naast een zonnepark, daalt deze prijs naar ongeveer 50 euro per kilowattuur. Met andere woorden, deze batterijcellen kunnen (veel) goedkoper geproduceerd worden dan de huidige lithium-batterijen.

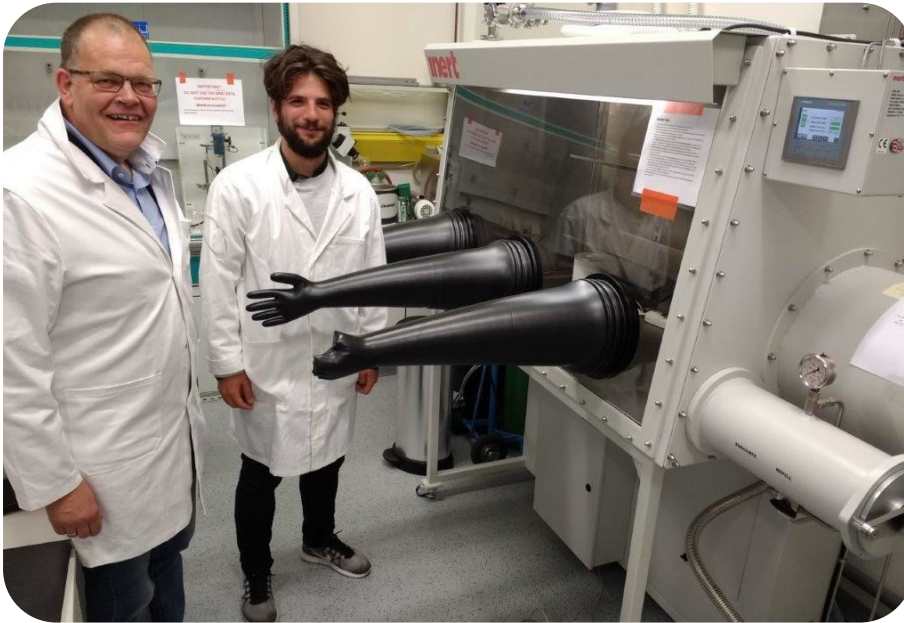
Momenteel zijn de projectpartners de ontwikkeling van de grote, opgeschaalde batterijcellen aan het afronden, worden de lange-termijnprestaties van de grote cellen verder in kaart gebracht, wordt er gewerkt aan een volledig functioneel prototype batterijsysteem dat in een huishouden kan worden ingezet, en worden de mogelijkheden voor seriematige massafabricage met productiepartners verkend.

De verwachting van het projectteam is dat deze nieuwe technologie een belangrijke bijdrage aan de Nederlandse economie kan leveren, voor nieuwe werkgelegenheid kan zorgen, en een belangrijke bijdrage kan leveren aan de grootschalige overstap naar hernieuwbare energie, met lagere kosten, minder milieu-impact en een betere veiligheid dan mogelijk is met bestaande batterij technologieën.

De rest van dit openbare eindrapport beschrijft de activiteiten en resultaten binnen dit project in meer detail.

Achtergrond van het NaSTOR project

Ruim 10 jaar geleden is Exergy Storage begonnen met onderzoek naar nieuwe mogelijkheden voor energieopslag, gegeven het belang van eenvoudig opschaalbare, uiterst goedkope en veilige opslag van energie voor de energietransitie. Vanaf het begin is het uitgangspunt gehanteerd dat het belangrijk is om gebruik te maken van grondstoffen die overal ter wereld ruim voorradig zijn en dat bij voorkeur gebruik gemaakt wordt van relatief eenvoudig productieprocessen die weinig investering behoeven. Dit zorgt ervoor dat kosten laag kunnen blijven, en dat de productietechnologie wereldwijd opgeschaald kan worden. Samen met het onderzoeksinstituut DIFFER uit Eindhoven en het Engelse Ionotec zijn aanvankelijk de mogelijkheden voor batterijen op basis van zeer ruim voorradige grondstoffen onderzocht. Op basis van de resultaten die waren behaald met de eerste werkende laboratoriumcellen, werd dit NaSTOR project in 2017 gestart. In dit project was het de bedoeling om deze technologie verder uit te werken op laboratoriumschaal, om deze cellen op te schalen naar een formaat waarmee prototype batterijen voor bijvoorbeeld thuisbatterijen gebouwd kunnen worden, om ondersteunende systemen en elektronica te ontwikkelen voor batterijtesten en voor besturing van de cellen (in de vorm van een 'battery management system'). Voor de ontwikkeling van elektronica ten behoeve het batterij-management-systeem werd de onderneming Movements Group betrokken.



Glovebox in het laboratorium van DIFFER voor preparatie van materialen in een inerte atmosfeer. (Links Dr. Gert Jan Jongerden oprichter van Exergy Storage, rechts dr. George Nikiforidis van DIFFER.)

Bij de start van het project zijn enkele industriële partijen betrokken als liaison-partners, namelijk zoutproducent Nobian (voorheen Akzo Nobel Chemicals), VDL met haar maakindustrie, en zonne-energiebedrijf Solar Century (nu onderdeel van Statkraft). Momenteel onderzoekt Exergy Storage met onder meer deze partners hoe de nieuwe batterijtechnologie naar industrialisatie en commercialisatie gebracht kan worden.

Het NaSTOR project bestond uit de volgende hoofdtaken:

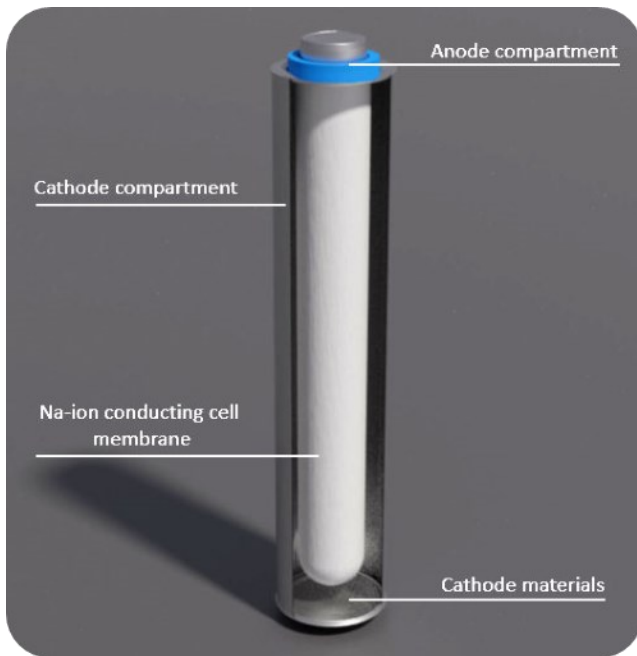
- Elektrochemisch basisonderzoek van actieve materialen en (batterij)cellen;
- Ontwikkeling van het celmembraan en van de laboratoriumcellen;
- Opschaling van cellen;
- Ontwerp en realisatie van een batterij inclusief BMS ('battery management system');
- Procesontwerp voor seriefabricage en kostenanalyse bij massaproductie van cellen en batterij-units.

Hoofdfouten van het project:

- Laboratoriumcellen en membranen waarmee inmiddels over langere periodes (meer dan 9 maanden) bij continu gebruik de stabiele werking van de chemie is vastgesteld;
- Nieuwe oppervlaktebehandelingen voor chemische stabiliteit en het realiseren van een lange levensduur;
- Fabricage van een ultra-lage-kosten kathode, gebaseerd op zout en aluminium, met zeer hoge ionische geleidbaarheid;
- Ontwikkeling van diverse celdesigns en membranen;
- Realisatie en testen van opgeschaalde cellen;
- Realisatie van precisie-elektronica voor het automatisch testen en analyseren van batterijcellen;
- Ontwerp prototype batterij en start realisatie inclusief BMS;
- Kostenanalyse van seriematige cel- en batterijfabricage.

Samenvattend heeft het project geresulteerd in een serie belangrijke resultaten waarmee een strategische kennispositie is verworven voor uitrol van de nieuwe batterijtechnologie op basis van alomtegenwoordige grondstoffen. De technologie is intrinsiek schaalbaar op wereldschaal om batterijen in massafabricage tegen uiterst lage kosten te produceren. Bij de fabricage worden de cellen in een ongeladen toestand opgebouwd, waardoor productie en handling van materialen tijdens productie robuust en relatief eenvoudig uitgevoerd kan worden. De nieuwe batterij-technologie heeft een hoge energiedichtheid en is tegelijkertijd intrinsiek

veilig doordat (i) de actieve kathodematerialen niet brandbaar zijn, (ii) de elektrodes worden gescheiden door een vast elektrolyt en (iii) doordat in het uiterste geval van inwendige beschadiging zich een kortsluiting vormt tussen de elektrodes van de gehele cel waardoor een serieschakeling (string) van cellen gewoon door kan blijven werken.



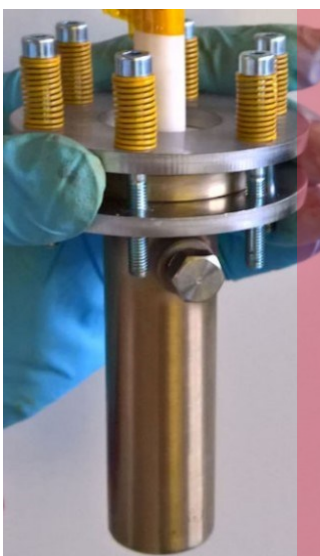
Exergy NaSTOR batterijtechnologie:

- Lage kosten in massafabricage
 - ⇒ lage kosten
- Hoge energiedichtheid
 - ⇒ compact
- Intrinsieke veiligheid
 - ⇒ in gebouwde omgeving
- 4 – 8 uur ontlaadtijd
 - ⇒ Zeer geschikt voor energieopslag in combinatie met zon en wind
 - ⇒ Geschikt als thuisbatterij, maar ook toepasbaar in grootschalige batterij containers

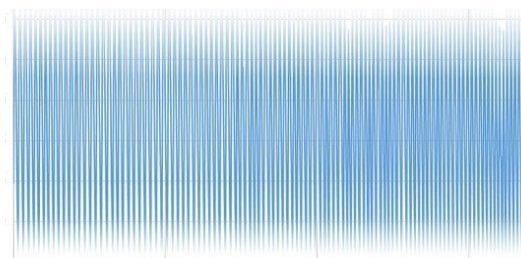
Resultaten

Laboratoriumcellen en membranen zijn ontwikkeld waarmee inmiddels gedurende langere tijd ‘deep-cycling’ een geheel stabiele werking van de chemie is vastgesteld. In onderstaande figuur is een laboratorium cel afgebeeld, die gedurende 9 maanden cycling een uitstekende stabiliteit en reversibiliteit (de lading die bij opladen wordt ingevoerd laat zich weer geheel ontladen) laat zien.

De cel opbouw met een vast elektrolyt, een ionengeleidend celmembraan, tussen de kathode en anode staat garant voor een Coulombische efficiëntie van 100% (er gaat geen lading verloren tijdens cycling). Bij nominale vermogensdichtheid wordt een round-trip-efficiëntie van tenminste 75% bereikt.



continuous cycling over ~9 months



(l) Laboratorium cel (r) cycling test - cycling periode 12 hr cycling amplitude 1000 mAh.

Realisatie opgeschaalde grote cellen

Op basis van de laboratorium cel technologie worden opgeschaalde cellen ontwikkeld en gevalideerd. Typische energiehoeveelheden die in een opgeschaalde cel uiteindelijk opgeslagen kunnen worden bedragen ongeveer 500 Wh. En bij een nominale ontladtijd van 8 uur betekent dit een vermogen van ruim 60 W per cel. Dergelijke cellen hebben een afmetingen van ca 50 cm hoog, 10 cm buitendiameter en zien eruit als grote staafbatterijen.

Realisatie precisie-elektronica voor cel analyse en batterij monitoring en control

Om nauwkeurig cellen te analyseren is precisie-elektronica nodig waarmee de laad- en ontladhoeveelheden zeer nauwkeurig gemeten kunnen worden. Bijvoorbeeld accurate Coulomb counting gedurende lange duur test met deep cyclen. In bijgaande figuur is een 'cell-analyser' ontwikkeld door Exergy's partner EDS afgebeeld. Deze precisie-apparatuur kan ook aan derden worden geleverd.



Als onderdeel van het project is een prototype batterij ontwikkeld waarin 24 cellen in serie kunnen worden geschakeld. In bijgaande foto is het prototype, dat momenteel in aanbouw is, afgebeeld.

Prototype batterij

De beoogde energieopslagcapaciteit is 12 kWh met een vermogen van 1440 W. Middels een hybride batterij omvormer zal de batterij worden aangesloten in het veld voor een demonstratie toepassing. De behuizing is gebouwd en gereed maakt. Voor de ontwikkeling van monitoring en control van de prototype-batterij werkt Exergy Storage samen met EDS, een specialistische ontwikkelaar van precisie-elektronica. Inmiddels zijn op basis van simulaties gebruiksdata gegenereerd voor de invloed van de batterij op zelfconsumptie. Op basis van realistische gebruiksdata van een doorsnee gemiddeld NL huishouden met zonnedak is de zelfconsumptie berekend voor 2 scenario's: met Exergy thuisbatterij prototype en zonder. (De zelfconsumptie is de hoeveelheid lokaal opgewekte elektriciteit, die ook lokaal weer wordt gebruikt zonder dat in tussentijd teruglevering aan en consumptie vanuit het elektriciteitsnet plaatsvindt.) Uit de analyse kan geconcludeerd worden dat een batterij gebaseerd is op Exergy's technologie de zelfconsumptie aanzienlijk verhoogd, tot waarden van 85% in de maanden april tot september, terwijl in deze periode zonder batterij de zelfconsumptie tussen 40% en 55% varieert. Daarmee levert de thuisbatterij een aanzienlijke verhoging van zelfconsumptie en navenante bijdrage aan de vermindering van CO₂-emissies.



Foto: Exergy prototype batterij

Kostenanalyse

Als onderdeel van het project is een kostenanalyse gemaakt van de productiekosten, waarbij benodigde materialen en de investering in fabricageprocessen voor seriematige productie in kaart gebracht zijn. Massafabricage van cellen en (relatief kleine) batterij-units voor residentiële energieopslag resulteert in een kostprijs van ca. 70 Euro/kWh. Wanneer de analyse wordt gemaakt voor grotere batterij-eenheden (containers met batterijcellen) zijn lagere kostprijzen tot ca. 50 Euro/kWh haalbaar.

Vergelijking met Li-ion (LFP)-technologie en concurrerende technologieën

De technologie kan door deze eigenschappen een sterke concurrent worden van de huidige belangrijkste Li-ion batterij-technologie voor stationaire opslag, nl. de lithium ijzerfosfaat (LFP) batterijtechnologie (LiFePO_4). De technologie biedt een met Li-ion vergelijkbare energiedichtheid zonder de nadelen van Lithium batterijen. Ter vergelijking, de energiedichtheid is een factor 5 - 10 hoger ten opzichte van zoutwater batterijen ('salt-water battery',) en redoxflow-batterijen, zoals bijv. vanadium redoxflow-batterijen of waterstof-bromide redoxflow-batterijen.

In de hieronder weergegeven tabel worden belangrijkste kenmerken vergeleken:

	Li-ion battery (LiFePO ₄)	Exergy battery
Battery type	Li-ion intercalation	Ionic liquid using salt and aluminum, solid electrolyte
Cost (utility-scale, residential)	250 – 750 EUR/kWh	50 – 70 EUR/kWh
Levelized cost (€/kWh)	0.2 – 0.5	0.04 – 0.05
Energy density	120 Wh/kg	100 Wh/kg
Discharge time	1 - 2 hours	4 - 8 hours
Safety	Cells have to be kept within a narrow safe operating area; batteries can catch fire, explode	The smart mixture of active materials is non-flammable
Raw materials	Limited Lithium supply for stationary storage due to need in EV-batteries	Raw materials are abundantly available and can be sourced anywhere at low cost
Circularity	Difficult, expensive processes; as of today, hardly any Lithium-ion cells are recycled	Recycle-friendly design; possibility of active material reuse enables completely closed circular material flow

Qua kosten in massafabricage, veiligheid en stabiliteit biedt Exergy's NaSTOR technologie het perspectief van een aanzienlijke verbetering t.o.v. Li-ion LFP. De intrinsieke veiligheid maakt het mogelijk om dit type batterijen ook in de gebouwde omgeving in te zetten.

De langere onlaadtijden, 4 - 8 uur (typische waarden, afhankelijk van het gekozen cel ontwerp) op nominaal vermogen, zijn daarnaast zeer geschikt om dit type batterijen toe te passen voor stationaire opslag van PV- en wind elektriciteit, waarbij grotere hoeveelheden energie gebufferd dienen te worden.

Tenslotte is de nieuwe batterij-technologie 'recycleable by design'; de manier waarop de cellen worden gefabriceerd in combinatie met de eenvoudige materialen biedt het perspectief van een volledig circulair product.

Momenteel wordt deze veelbelovende ontwikkeling voortgezet in een aansluitend ontwikkelingsproject.

Parallel is Exergy Storage met enkele industriële partijen samenwerking aan het opbouwen om de technologie verder voor te bereiden op seriematige fabricage.

Samenvattend heeft het project geresulteerd in een serie belangrijke resultaten waarmee een strategische kennispositie is verworven voor uitrol van de nieuwe batterijtechnologie op basis van alomtegenwoordige grondstoffen. De technologie is intrinsiek schaalbaar op wereldniveau om batterijen in massafabricage tegen uiterst lage kosten te produceren en kan daarmee bijdragen als belangrijke hoeksteen voor het slagen van de energietransitie.

Wetenschappelijke publicaties:

- [High and intermediate temperature sodium-sulfur batteries for energy storage: development, challenges and perspectives](#), G. Nikiforidis, M.C.M. van der Sanden and, M.N. Tsampas, *RSC Adv.*, 2019, **9**, 5649-5673.
- [An electrochemical study on the cathode of the intermediate temperature tubular sodium-sulfur \(NaS\) battery](#), G Nikiforidis, GJ Jongerden, EF Jongerden, MCM van de Sanden, *Journal of The Electrochemical Society* 166 (2), A135
- [Operational Strategies to Improve the Performance and Long-Term Cyclability of Intermediate Temperature Sodium-Sulfur Batteries](#), Kandhasamy, Sathiyaraj; Nikiforidis, Georgios; Jongerden, Gert Jan; Jongerden, Ferdy; van de Sanden, Richard; Tsampas, Mihalis N.; *ChemElectroChem* 2021, **8**, 1156-1166.

Contactpersoon voor meer informatie: Dr. Gert Jan Jongerden, contact@exergy-storage.nl

Het project is uitgevoerd met subsidie van het Ministerie van Economische Zaken, Nationale regelingen EZ-subsidies, Topsector Energie uitgevoerd door Rijksdienst voor Ondernemend Nederland.