

Van: DOAbIE consortium	Datum: 30 maart 2018
Aan: RVO Beheer Projecten	
Onderwerp: Openbaar eindrapport TES0114009 DOAbIE	

Inhoudsopgave

1	Inleiding	2
1.1	Uitgangspunten	2
1.2	Doelstelling	3
1.3	Samenwerkende partijen	3
1.3.1	Elestor BV	3
1.3.2	TU Eindhoven	3
1.3.3	DNV GL Netherlands	4
1.3.4	Alliander NV	4
2	Projectresultaten	5
2.1	Resultaten	5
2.2	Knelpunten	7
2.3	Perspectief voor toepassing	7
3	Bijdrage aan de doelstelling van het RVO programma systeemintegratie	9
3.1	Duurzame energiehuishouding	9
3.2	Versterking van de kennispositie	9
4	Mogelijkheden voor spin-off en vervolgactiviteiten	10
5	Overzicht van openbare publicaties	11

1 Inleiding

1.1 Uitgangspunten

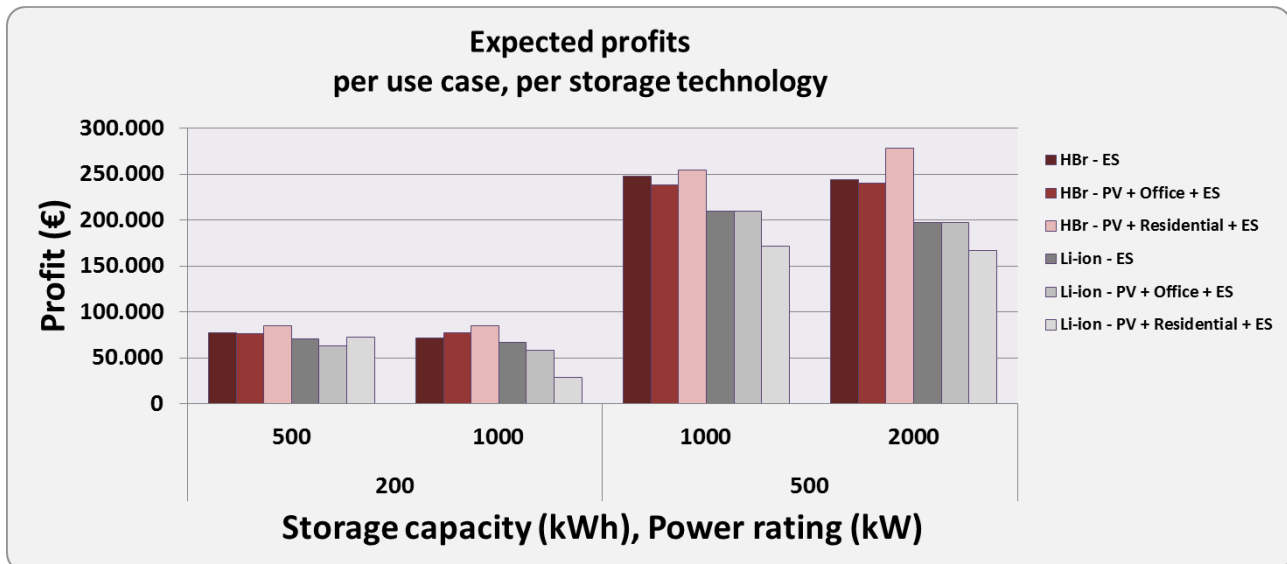
Er ontstaat steeds meer netinstabiliteit en prijsvolatiliteit doordat zonne- en windenergie wel groeien, maar de opslagcapaciteit voor elektriciteit nauwelijks. Elektriciteitsopslag kan worden ingezet voor het balanceren van vraag en aanbod en voor een efficiënter gebruik van het energienetwerk. Echter, conventionele opslagtechnologie is nog vaak te duur om economisch rendabel te kunnen worden toegepast.

De centrale vraag van het DOABIE (*Decentrale Opslag van Alternatieve Elektriciteit*) project¹ was: hoe kan de meeste waarde worden gecreëerd met de integratie van elektrochemische elektriciteitsopslag in het huidige elektriciteitssysteem?

Om deze vraag te kunnen beantwoorden zijn verschillende computermodellen van de consortiumpartners samengekomen bij de TU/e en aldaar gebruikt voor een economische analyse. Deze modellen zijn verrijkt met gevalideerde modellen van de Elestor waterstofbromide (HBr) flowbatterij. In de simulatie is een economische vergelijking gemaakt tussen deze innovatieve opslagtechnologie en lithium-ion batterijen. Gekeken is naar een combinatie van toepassingen bij kantoren, bij woonwijken en als buffer voor zonneparken.

Er is aangetoond dat bij alle onderzochte toepassingen en voor alle onderzochte technologieën de meeste economische waarde ontstaat door het slim combineren van inkomstenstromen. In dit project heeft DNV GL de business case uitgerekend voor de inzet van opslag voor verschillende toepassingen. Vervolgens heeft de TU/e een model ontwikkeld waarbij de economische waarde wordt uitgerekend voor de situaties waarin met één opslagsysteem meerdere toepassingen worden gecombineerd. Het model van de TU/e heeft technologie-eigenschappen van de HBr en Li-ion technieken gecombineerd met een realistische inschatting van aansluitkosten op het net van Liander. Deze gegevens zijn vervolgens gebruikt om, op basis van handelsgegevens uit 2015, uitspraken te doen over de winstgevendheid van batterijsystemen in verschillende scenario's, gebruikmakend van de verschillende technologieën. De resultaten hiervan zijn te vinden in Figuur 1. De gevonden resultaten ogen erg hoog. Door de complexiteit van het rekenmodel, de gemaakte aannames en de bijbehorende rekentijd is het niet mogelijk gebleken om een duidelijke opsplitsing van de baten te maken teneinde deze resultaten beter te kunnen duiden. Vervolgonderzoek is hiervoor gewenst.

¹ **TES0114009**, regeling nationale EZ subsidies § 4.2.11 Systeemintegratie, 01-03-2015 tot 31-12-2017



Figuur 1 Verwachte winst [€] per toepassing, per jaar, per opslagtechnologie afhankelijk van vermogen en capaciteit

1.2 Doelstelling

Doelstelling van het DOABIE project was het middels computermodellen berekenen van de economische waarde die kan worden gecreëerd met elektrochemische elektriciteitsopslag. Hiervoor zijn verschillende computermodellen van de consortiumpartners gebruikt en is de modellering van de HBr technologie gevalideerd met experimenten op kleine schaal.

1.3 Samenwerkende partijen

1.3.1 Elestor BV

Elestor BV is de enige Europese ontwikkelaar van HBr flowbatterijen². Het grote voordeel van dit batterijtype zit in de zeer lage materiaalkosten van <€20/kWh. Bij Vanadium flowbatterijen zijn deze kosten zesmaal hoger, en bij Lithium-ion batterijen zelfs tienmaal.



Figuur 2 Prototype HBr flowbatterij

1.3.2 TU Eindhoven

TU/e EES doet onderzoek naar het ontwerpen van Smart Energy Systems, energieopslag, duurzame energiedistributie en de ontwikkeling van nieuwe functionaliteiten voor het Smart Grid. Energie is een van de belangrijkste thema's van het onderzoek aan de TU/e. De TU/e is betrokken bij zowel nationale als internationale onderzoeksprojecten tussen de academische wereld en de industrie met betrekking tot de integratie en de karakterisering van energieopslag oplossingen van elektrische energieopslag technologieën.

² Kyu Taek Cho, Michael C. Tucker and Adam Z. Weber, *A Review of Hydrogen/Halogen Flow Cells*, Energy Technol. 2016, 4, 655 – 678

1.3.3 DNV GL Netherlands

De energiedeskundigen van DNV GL ondersteunen klanten over de hele wereld bij het leveren van een veilige, betrouwbare, efficiënte en duurzame energievoorziening. Om dit te kunnen doen investeert DNV GL in kennisopbouw rondom nieuwe energietechnologieën en diensten. Hierbij kan het enerzijds gaan om de technologische ontwikkelingen en anderzijds over nieuwe diensten of business modellen voor deze technologieën. Energieopslag is hierbij een zeer interessant onderwerp, waarbij zowel de technologie als de business modellen nog veel ontwikkeling kennen.

1.3.4 Alliander NV

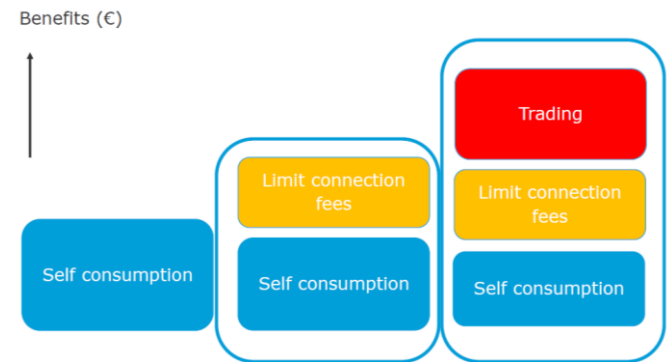
Voor de toekomstige energievoorziening is flexibiliteit noodzakelijk, terwijl dat bij de aanleg van onze netten geen ontwerpvereiste was. Daarom investeert Alliander veel in onderzoek naar en experimenten met smart grids en energieopslag. Verschillende schaalniveaus worden hierin meegenomen, van home energy tot regionale gebieden.

Alliander heeft met Liandon een expertcentrum in huis dat gespecialiseerd is in duurzame energietechnologie, verduurzaming, technische innovaties en complexe energienetten. Hier worden complexe energievraagstukken rond bijvoorbeeld de ontwikkeling van intelligente netten, het aansluiten van windparken op zee of het ontwerpen van reinigingsinstallaties voor biogas behandeld. De basis van die kennis ligt in jarenlange werkzaamheden voor de gas- en elektriciteitsnetten van Liander, de hoogspanningsnetten van TenneT en de warmte- en koudnetten van Nuon. Met deze werkzaamheden levert Liandon een belangrijke bijdrage aan de continuïteit en de verbetering van de energievoorziening.

2 Projectresultaten

2.1 Resultaten

Een belangrijk inzicht is dat het voor winstgevende toepassing van elektriciteitsopslag essentieel is om verschillende inkomstenstromen te stapelen. In het Engels heet dit: *revenue stacking*. Hierbij kan gedacht worden aan verschillende combinaties. Het eigen verbruik van elektriciteit opgewekt door zonnepanelen kan bijvoorbeeld



Figuur 3 Binnen het project onderzochte inkomstenstromen

worden geoptimaliseerd door een passende aansluiting te kiezen, waardoor er kan worden bespaard op de aansluitkosten op het net en er kan worden gehandeld in elektriciteit op onder andere de *day-ahead* en op de onbalansmarkt.

In het project is gekeken naar een aantal combinaties die goed bij elkaar passen en ook interessant lijken. Dit zijn de volgende 5 cases:

1. Opslag bij een boerderij met veel zonnepanelen. Hierbij kan de opslag worden gebruikt voor de verhoging van het eigen verbruik van de opgewekte energie, het beperken van de aansluitkosten en handelen op de verschillende elektriciteitsmarkten.
2. Een opslagsysteem bij een kantoor, met dezelfde doelstellingen als bij de boerderij.
3. Opslag bij een windturbine, waarbij het opslagsysteem kan worden gebruikt voor handel op de elektriciteitsmarkten, maar ook voor het reduceren van de aansluitkosten.
4. Een woonwijk met zonnepanelen, waarbij opslag gebruikt wordt voor de verhoging van het eigen verbruik van de opgewekte energie en voor handel op de verschillende elektriciteitsmarkten. Dit kan enerzijds een *Virtuele Power Plant* betreffen bestaand uit vele kleine batterijen bij mensen thuis, maar ook uit een buurtbatterij die hiervoor wordt ingezet.
5. Opslag bij grootschalige eindgebruikers (industrie), waarbij de belangrijkste doelstelling is om aansluitkosten te beperken.

In eerste instantie is gekeken naar de business case voor de individuele toepassingen van opslag. Hieruit bleek dat opslag gebruiken voor slechts 2 cases nu al een aantrekkelijke business case oplevert. Dit betreft de 3^e case, waarbij opslag wordt toegepast bij windturbines. Opslag bij windturbines toepassen voor *Frequency Containment Reserve* (FCR) of de onbalansmarkt kan financieel al aantrekkelijk zijn. En de 5^e case waarbij opslag wordt

toegepast voor het beperken van aansluitkosten heeft in hele specifieke gevallen ook al een aantrekkelijke business case voor opslag. Dit geldt echter alleen voor de situaties waarbij aan specifieke voorwaarden wordt voldaan. Het opslagsysteem kan in die gevallen gebruikt worden om de aansluitkosten voor de eindgebruiker significant te verlagen.

Voor alle andere cases wordt de business case pas positief als de juiste combinatie van toepassingen wordt gekozen. Dit is bijvoorbeeld het geval voor de combinatie van het verhogen van eigen verbruik van opgewekte energie en handels bij huishoudens of kantoren.

Om een overschatting van de mogelijke opbrengst te voorkomen, is het belangrijk dat er voldoende informatie is over: marktprijzen, belastingprofielen, zoninstraling, de waarden van het handelen op de energiemarkt. Daarnaast zijn kennis van het systeem, zowel van het elektriciteitsnet als van de batterij, en een goed algoritme in het model essentieel. Door het opslagsysteem en de aansluiting op het elektriciteitsnet juist te dimensioneren, kunnen significante besparingen worden bereikt.

Het onderzoek heeft geleid tot de volgende conclusies:

- Netgekoppelde opslag kan winstgevend worden toegepast. Een jaarlijkse winst van omstreeks €400 per kiloWatt geïnstalleerd vermogen is mogelijk volgens de DOABIE analyse, voor zowel de li-ion als HBr opslagtechnologie. De precieze opbrengst zal variëren met de opslagcapaciteit en de toepassing.
- Voor winstgevendheid is *revenue stacking* essentieel. Hierbij moet nog uitgebreider naar alle mogelijke *stacking* combinaties gekeken worden. Vanuit de klant gedacht is er vooral heel veel inzicht in het *hoe* nodig. Tijdens deze analyse moeten de inkomstenbronnen helder inzichtelijk gemaakt worden, zodat duiding altijd mogelijk blijft. Dan zal ook duidelijk worden of het echt mogelijk is om deze toepassingen te combineren. Want theoretisch zijn sommige combinaties erg aantrekkelijk, maar het is de vraag of dit in de praktijk ook te realiseren is. Bijvoorbeeld omdat veel belanghebbenden dan moeten samenwerken, of omdat prijzen op bijvoorbeeld de onbalansmarkt niet goed te voorspellen zijn. Door deze factoren kan het in de praktijk lastig zal zijn om de berekende economische voordelen ook daadwerkelijk te realiseren.
- Er bestaan geen grote technische problemen voor de inpassing van opslag in het elektriciteitsnet.
- Het is aan te bevelen om de toegang tot handel op elektriciteitsmarkt te vergemakkelijken voor eigenaren van elektriciteitsopslagsystemen. Een verduidelijking van wat wel en niet is toegestaan voor netwerkbeheerder, inzake eigenaarschap en gebruik van opslag, is eveneens gewenst.

De onderzoeksresultaten zijn gedocumenteerd in 8 vertrouwelijke *deliverable* rapporten.

2.2 Knelpunten

Tijdens de uitvoering van het project zijn er geen grote problemen geweest. Op een aantal details is afgeweken van de oorspronkelijke opzet. Het bleek voor de projectpartners een uitdaging om betrouwbare inputdata met een voldoende hoge resolutie (10 minuten, meerdere jaren) voor zon-instraling, eigen verbruik en elektriciteitsmarktprijzen³ te krijgen. Met name verbruiksprofielen waren aanvankelijk niet voor alle typen gebruikers beschikbaar. Een tweede knelpunt was de onzekerheid over de toekomstige ontwikkeling van de wet- en regelgeving.

2.3 Perspectief voor toepassing

Er is veel veranderd tijdens de projectperiode. De kosten voor de opwek van elektriciteit met zonne- en windenergie zijn sneller gedaald dan werd verwacht. De kosten voor elektriciteitsopslag daalden eveneens, maar het kostenverschil tussen opwek en opslag is sinds 2015 alleen maar groter geworden. Omdat opslag niet snel genoeg in prijs daalt op dit moment, blijft het toepassen van opslag voor veel toepassingen onaantrekkelijk.

Voor kleinverbruikers is dit nu geen probleem. Zolang de salderingsregeling bestaat, zal voor de kleinverbruiker gelden dat de behoefte vooral emotioneel is en het een zeer kleine nichemarkt blijft. Pas zodra energie opslaan economisch voordeel oplevert, zal de marktbehoefte bij kleinverbruikers groeien. Maar bij grootverbruikers, met een aansluiting groter dan 3x80 Ampère, is inmiddels wel een marktbehoefte aan opslagtechnologie ontstaan. Gebruikers van zonne- en windenergie zijn op zoek naar opslagcapaciteit, maar alleen tegen een juiste prijs. Dit wil zeggen een prijs waarbij de kosten van het ontsluiten van opgeslagen energie niet langer hoger zijn dan de kosten van energie vanaf het net.

Hoewel Nederland zich met het ondertekenen van het Klimaatakkoord van Parijs verplicht heeft tot een sterke reductie van de CO₂-uitstoot, om opwarming van de aarde tegen te gaan, is de hoeveelheid duurzame energie nog steeds beperkt. Hierdoor is er ook nog maar een beperkte vraag naar opties zoals energieopslag. Pas bij grotere hoeveelheden duurzame energie zal er een echte transitie plaatsvinden en zal er ook meer behoefte komen aan energieopslag. Deze behoefte kan bestaan uit:

- De behoefte om de autonomie te vergroten
- De behoefte om de aansluitkosten te verlagen en
- De behoefte om in elektriciteit te handelen.

Binnen het project is gekeken naar de mogelijkheid om deze behoeften/mogelijke inkomstenstromen te stapelen (in het Engels: *revenue stacking*).

Anno 2018 zijn goedkope opwektechnologie en marktvraag naar opslag aanwezig. Er zijn echter nog een aantal zaken nodig voor een omslag naar een duurzame elektriciteitsvoorziening waarin opslag een sleutelrol speelt:

1. Meer mismatch tussen vraag en aanbod van elektrische energie. Mismatch kan bijvoorbeeld ontstaan in een energievoorziening met een hogere penetratie aan

³ on-line aanwezig via het ENTSO-e *transparency portal* en via TenneT

zonne- en windenergie, met een inherent onvoorspelbaar en beperkt regelbaar karakter.

2. Gestandaardiseerde *smart grid* interfaces met de bestaande infrastructuur, inclusief laagdrempelige toegang tot de markten voor handel in elektriciteit.
3. Innovatie in opslagtechnologie en handelsdiensten, gericht op lagere *levelized costs of storage* en op een betere toegankelijkheid.
4. *Launching customers* die opslagtechnologie toepassen en promoten.
5. Marktacceptatie door consumenten en bedrijven.

3 Bijdrage aan de doelstelling van het RVO programma systeemintegratie

3.1 Duurzame energiehuishouding

Het feit dat de Nederlandse uitstoot van broeikasgassen nog altijd stijgt⁴, laat zien dat alleen het plaatsen van windturbines en zonnepanelen niet volstaat om een duurzame energiehuishouding te realiseren. Een duurzame elektriciteitsvoorziening is dringend gewenst, maar een weersafhankelijke elektriciteitsvoorziening is dat nadrukkelijk niet. Met elektriciteitsopslag kan de weersafhankelijkheid van zonne- en windenergie geheel of gedeeltelijk worden geëlimineerd.

De projectresultaten dragen bij aan een betere onderbouwing van investeringsbeslissingen inzake opslag. Als de investeringen in elektriciteitsopslag toenemen, zal de opslagcapaciteit voor duurzame elektriciteit toenemen. Hiermee stijgt de prestatiefactor⁵ van de netkoppeling van zonne- en windenergie parken en wordt het gebruik van fossiele energie vermeden.

3.2 Versterking van de kennispositie

Elestor BV is wereldwijd de enige ontwikkelaar van HBr flowbatterijen met systemen in een veldtest en voor zover bekend ook de enige met betalende klanten. Deze positie is opgebouwd gedurende de projectperiode 2015-2017. De gekwantificeerde economische analyse van DOAble bleek tijdens de gesprekken met (potentiële) klanten van grote waarde.

DNV GL heeft tijdens dit project haar computermodel om de business case van opslagsystemen door te rekenen verbeterd. Hetzelfde geldt voor de TU/e, dat de nieuwe inzichten heeft beschreven in 2 wetenschappelijke papers (zie hoofdstuk 5).

Voor Alliander is duidelijk geworden dat de kostenstructuur van een netaansluiting veel invloed heeft op de potentiële besparingsmogelijkheden die een nieuw (opslag) project kan maken bij de overweging van de gewenste aansluitcapaciteit.

⁴ <https://www.volkskrant.nl/buitenland/cbs-uitstoot-broeikasgas-in-nederland-stijgt-ondanks-klimaatakkoord-parijs~a4514766/>

⁵ De verhouding tussen de daadwerkelijk opgewekte hoeveelheid energie en het theoretisch maximum dat bereikt zou worden als de installatie constant op het maximale vermogen zou werken.

4 Mogelijkheden voor spin-off en vervolgvactiteiten

Elestor werkt aan de realisatie van HBr flowbatterijssystemen die overeenkomen met de binnen het project geanalyseerde toepassingsmogelijkheden. Hierbij gaat het om een toepassing bij een zonnepark⁶ en om toepassingen bij kantoorgebouwen^{7,8}. Deze systemen zullen in 2018 en 2019 worden geplaatst.

TU Eindhoven gaat verder onderzoek doen naar het inpassen van verschillende opslag technologieën. Dit zal gebeuren in samenwerking met onderwijs- en onderzoeksinstellingen en met verschillende industriële partijen. Het meenemen van veroudering en non-lineair gedrag zal leiden tot meer gecompliceerde maar wel accurate modellen.

Binnen Alliander is duidelijk geworden dat de externe markt baat kan hebben bij een digitale ontsluiting van aansluitkosten, waarbij de beoogde geografische locatie van een project ook is meegenomen. Hiervoor is de aansluitcalculator op Liander.nl ontworpen. Dit project heeft echter duidelijk gemaakt dat uitgebreide wetenschappelijke studies baat kunnen hebben bij een ander soort toegang tot deze informatie. Dit inzicht wordt mogelijk meegenomen bij toekomstige versies van diensten, zoals de aansluitcalculator.

DNV GL heeft tijdens dit project haar computermodel om de business case van opslagsystemen door te rekenen verbeterd. Hiermee is een model ontwikkeld dat goed gebruikt kan worden voor het doorrekenen van de business case van verschillende opslagtechnieken en voor verschillende toepassingen.

De economische evaluatie kan door belanghebbenden gebruikt worden om rendabele toepassingen en strategieën te identificeren voor toekomstige investeringen met betrekking tot gedistribueerde energieopslag oplossingen.

⁶ <https://www.evhb.nl/aanleg-zonnepark-duiven-gestart/>

⁷ <https://www.ecn.nl/nl/nieuws/item/pilot-innovatieve-manier-van-energieopslag-krijgt-vervolg-in-emmeloord/>

⁸ <http://www.elestor.nl/elestor-bv-and-itmgroup-cooperating-for-scaling-up-hbr-flow-battery/>

5 Overzicht van openbare publicaties

(Interim) projectresultaten zijn verspreid op:

- 21 april 2015: *Congres systeemintegratie* (Apeldoorn)
- 7 juli 2016: *Bijeenkomst Systeemintegratie: lessen en ervaringen* (Utrecht)

Daarnaast zijn er twee wetenschappelijke papers geschreven en gepresenteerd:

- “*Investigation of arbitrage between the Dutch day-ahead and imbalance markets as a business case for the hydrogen bromine flow battery*” gepresenteerd op IEEE Powertech 2017, 18-22 juni, Manchester, UK. Te verkrijgen op <http://ieeexplore.ieee.org/document/7981146/?part=1>
- “*Stochastic Optimization for Maximizing Energy Arbitrage and Self-consumption Profit of HBr Flow Battery Storage*” (nog te presenteren bij ENERGYCON 3-7 juni 2018, Limassol, Cyprus, daarna online verkrijgbaar)

Contactpersoon voor meer informatie of het (gratis) bestellen van meer exemplaren van dit rapport is:

Ing. W. Kout (CTO Elestor)

Wiebrand.Kout@Elestor.nl

06 24421517

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