VISIEDOCUMENT

Grootschalige energieopslag

FME POWERED BY DUTCH TECHNOLOGY

Energy Storage NL POWERED BY DUTCH TECHNOLOGY

NEL INGENIEURS

Inleiding

Grootschalige energieopslag biedt Nederland een bijzondere kans om zich tot een Europese energie- en innovatiehub te ontwikkelen. Het energielandschap in Europa gaat de komende jaren sterk veranderen. De energietransitie, hard nodig om klimaatverandering tegen te gaan, zorgt voor een snelgroeiend aandeel duurzame energie. Ons energiesysteem verandert daarmee van vraag- naar aanbodgestuurd en dat aanbod is niet langer voorspelbaar en constant.

Om tegen die achtergrond de leveringszekerheid veilig te stellen, moet het energiesysteem verregaand geflexibiliseerd worden. Dat kan op verschillende manieren: door vraag en aanbod op elkaar af te stemmen, verbindingen tussen landen uit te breiden, door energienetten slimmer te maken én door mogelijkheden te creëren om energie grootschalig op te slaan. Vooral om seizoenswisselingen in vraag en aanbod op te kunnen vangen, zal grootschalige energieopslag onmisbaar zijn.

Nederland lijkt uitstekend gepositioneerd om met innovatieve technologie en infrastructuur grootschalige seizoensopslag te realiseren. Daarmee kan ons land een substantiële bijdrage leveren aan de leveringszekerheid, hier én in andere Europese energiemarkten. Deze kans wordt door veel partijen herkend en de eerste ideeën en initiatieven komen op gang.

Een versnelling is nodig om zowel onze eigen energievoorziening op termijn veilig te stellen als om de Nederlandse economie optimaal van deze kans te laten profiteren. De doorlooptijd van dit type projecten is immers lang en het aandeel duurzame energie stijgt de komende jaren snel. Alleen als bedrijfsleven, kennis-instituten, netbeheerders en overheid erin slagen snel sleutelprojecten te realiseren, kan Nederland de beoogde rol als energie- en innovatiehub van de toekomst waarmaken en de opgedane kennis en ervaring exporteren.

Kortom, grootschalige energieopslag is een niet te missen kans om de energie-transitie te versnellen en die kans om te zetten in duurzame economische groei.

NOODZAAK

Wat is grootschalige opslag en waarom hebben we het nodig?

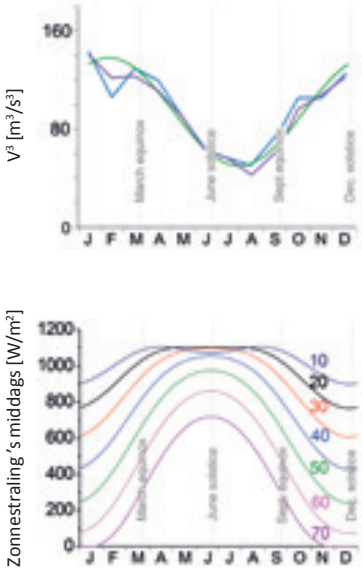
Grootschalige opslag definiëren we hier als opslagsystemen met een capaciteit groter dan 100 MWh. Seizoensopslag is een vorm van grootschalige opslag die – in de vorm van elektriciteit, warmte of chemische verbindingen – energieopslag over de seizoenen heen mogelijk maakt, maar ook voor andere toepassingen met een kortere tijdshorizon kan worden gebruikt.

Waarom is seizoensopslag nodig?

Door de toename van het aandeel duurzame energie wordt het energieaanbod volatieler en ontstaan er meer verschillen tussen vraag en aanbod. Duurzame energie-productie heeft immers een instabiel leveringspatroon: zon en wind zijn niet altijd in dezelfde mate beschikbaar. Figuur 1 laat zien dat wind- en zonne-energie deels complementair zijn: in de maanden met veel wind is er relatief weinig zon en omgekeerd.

Het totale aanbod aan duurzame energie in de zomer is echter groter dan de vraag, terwijl in de winter de vraag juist groter is [1]. Deze verschillen vormen de komende jaren een groeiende bedreiging voor de stabiliteit van de energievoorziening. In West-Europa komen bovendien langdurige periodes van mistig en windstil weer voor, waarbij het aanbod van duurzame energie drastisch terugloopt (de zogenoemde 'Dunkelflaute') [2].

Seizoensopslag is dus nodig om (1) het structurele verschil tussen vraag en aanbod over de seizoenen heen op te vangen en (2) de stabiliteit van de energievoorziening te garanderen gedurende lange, windstille en mistige periodes.

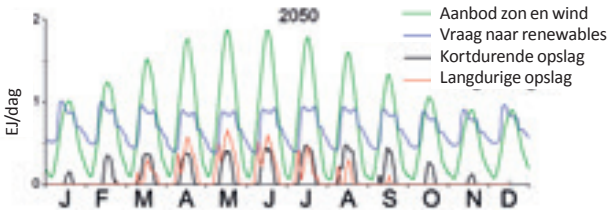


Figuur 1. (Boven) Deze figuur toont het verschil in potentiële opbrengt uit windenergie tussen zomer en winter voor onshore (blauw) en offshore (paars). (Onder) Deze figuur toont het verschil in potentiële opbrengst uit zonne-instraling tussen zomer en winter, voor verschillende noordelijke breedtegraden (10-70). Bron: Mulder (2014).

Wanneer is het nodig en hoeveel is er nodig?

Ook in Nederland kan het in de toekomst voorkomen dat er meer duurzame energie wordt opgewekt dan er kan worden verbruikt. In de zomer ontstaat zelfs een structureel overschot aan duurzame energie (zie figuur 2)[3]. Dat brengt het risico met zich mee dat duurzame bronnen afgekoppeld moeten worden. Meer flexibiliteit, door bijvoorbeeld energieopslag, is nodig om te voorkomen dat deze schone en duurzame energie verloren gaat.

Hoe groot deze toekomstige behoefte aan seizoensopslag is en wanneer de noodzaak hiervoor urgent wordt, hangt sterk af van de ontwikkeling van het aandeel duurzame energie. Berekeningen laten zien dat de behoefte aan grootschalige opslagcapaciteit in 2030, afhankelijk van de gekozen aannames over de percentages duurzame energie, kan variëren van 0[4] tot 50.000 GWh (vergelijkbaar met de huidige strategische olievoorraad van Nederland)[5].



Figuur 2. Gemodelleerd dagpatroon voor de 12 afzonderlijke maanden van de opbrengst uit zon en wind in 2050. Dit betreft een groot deel van Europa en Noord-Afrika (uitgaande van 35% duurzame energie) en de vraag naar kortdurende en langdurige opslag. Bron: Mulder (2014).

Deze berekeningen gaan echter nog uit van aannames die vóór het COP21-akkoord in Parijs zijn gedaan. Sindsdien zijn de ambities op het gebied van duurzame energie alleen maar toegenomen, waardoor seizoensopslag eerder nodig zal zijn dan tot nu toe werd aangenomen[6]. Ook blijkt dat de daadwerkelijke implementatie van zonne-energie in veel landen ver voor loopt op alle prognoses[7]. Omdat implementatie van grootschalige seizoensopslag veel tijd kost, met name vanwege de lange aanlooptijd van investeringen[8], is het belangrijk er nu mee te beginnen.

Hierbij moet worden opgemerkt dat energieopslag zich niet beperkt tot elektriciteit. Seizoensopslag is ook nodig om ervoor te zorgen dat andere vormen van energie (zoals warmte en gas) op momenten van beperkt duurzaam aanbod beschikbaar blijven.

Zijn er alternatieven voor grootschalige opslag?

Er zijn naast energieopslag nog drie manieren om de energievoorziening flexibeler te maken, die elk hun eigen voor- en nadelen hebben[9].

- Aanbodsturing
Het energieaanbod kan gestuurd worden met behulp van flexibele opwekcapaciteit of curtailment, het (deels) afschakelen van duurzame energiebronnen.

Bij de verduurzaming van sectoren, zoals mobiliteit, industrie en verwarming, speelt elektrificering een belangrijke rol. Voor de momenten dat er niet voldoende duurzame elektriciteit wordt opgewekt, is er flexibele opwekcapaciteit in de vorm van (fossiele) energiecentrales. Het verdienmodel van deze centrales staat echter onder druk, juist door de groei van de hoeveelheid duurzame elektriciteit. Daardoor neemt het aantal draaiuren af, worden de centrales minder rendabel en zullen er steeds meer centrales gesloten worden.*

Kortom: terwijl de vraag naar flexibel aanbod stijgt, neemt de hoeveelheid flexibele opwekcapaciteit af[10].

In de warmtevoorziening is er op dit moment flexibel aanbod in de vorm van bijvoorbeeld gasopslag, kolenopslag en flexibele gasproductie. Door de verminderde vraag naar kolen en aardgas, zullen deze buffers in de toekomst vervangen moeten worden door andere methoden van energieopslag.

Curtailment wordt onder meer toegepast bij een overschot aan duurzame energie, een tekort aan transmissiecapaciteit en om snelle vermogenswisselingen in het elektriciteitsnet te dempen. In Duitsland werd op deze manier in 2016 voor ruim 1 miljard euro[11] aan duurzame energie 'weggegooid'. Deze verspilde energie moet later weer worden gecompenseerd, vaak uit

* *Daarbij komt dat LTO Nederland aangeeft dat vóór 2040 de warmtekrachtinstallaties op aardgas verdwenen zullen zijn uit de glastuinbouwsector. Hiermee komt een groot deel van de snelle flexibele opwekcapaciteit te vervallen.*

fossiele bronnen, waardoor er meer CO_2 wordt uitgestoten dan nodig[12]. Grootschalige opslag helpt om deze verspilling tegen te gaan.

- Vraagsturing (demand side management)
Dit is een verzamelterm voor maatregelen die erop gericht zijn het gebruikspatroon bij de eindgebruiker te beïnvloeden. Dat kan op verschillende niveaus: van de wasmachine thuis die pas aangezet wordt bij een lage elektriciteitsprijs, tot industriële afnemers die hun productieprocessen afstemmen op de energieprijs. Het principe wordt vooral gebruikt om fluctuaties met een tijdsspanne tot 12 uur tegen te gaan. De mogelijkheden om seizoensfluctuaties op deze manier tegen te gaan, zijn beperkt[13].

- Interconnectie
Internationale transportverbindingen in de energie infrastructuur maken het mogelijk om overschotten en tekorten aan energie met andere landen te vereffenen. Op de korte termijn is dit een aantrekkelijk model: vanwege regelmatige overschotten in buurlanden kan er goedkoop energie worden geïmporteerd[14].

Deze internationale verbindingen maken het mogelijk om pieken en dalen in het aanbod af te vlakken, maar bieden een beperkte oplossing voor overschotten of tekorten waar heel West-Europa tegelijk last van heeft. Denk aan de zomer-winter- en dag-nachtverschillen, tekorten bij windstille perioden in de winter[15] of overschotten op stormachtige en/of zonnige dagen. Weersystemen zijn namelijk grensoverschrijdend en strekken zich vaak uit over honderden kilometers. Een connectie over grotere afstanden (bijvoorbeeld naar Noord-Afrika) is wegens de lage efficiëntie economisch niet haalbaar[16]. Nog los van de vraag of afhankelijkheid van verder weg gelegen capaciteit wenselijk is en of de benodigde productie- en connectiecapaciteit wel gerealiseerd kan worden.

Conclusie

Vraag- en aanbodsturing en interconnectie bieden op de korte termijn nog voldoende flexibiliteit om de leveringszekerheid veilig te stellen. Met de toename van het aandeel duurzame energie groeit echter ook de behoefte aan opslag. Zoals tabel 1 laat zien is opslag de enige vorm van flexibiliteit die seizoensverschillen kan overbruggen en een oplossing biedt voor langdurige perioden met onvoldoende aanbod van zonne- en windenergie. Hoewel een flexibel energiesysteem een mix is en zal blijven tussen alle beschreven maatregelen, is duidelijk dat energieopslag op de lange termijn onmisbaar is voor een CO_2-vrije en gegarandeerde energievoorziening.

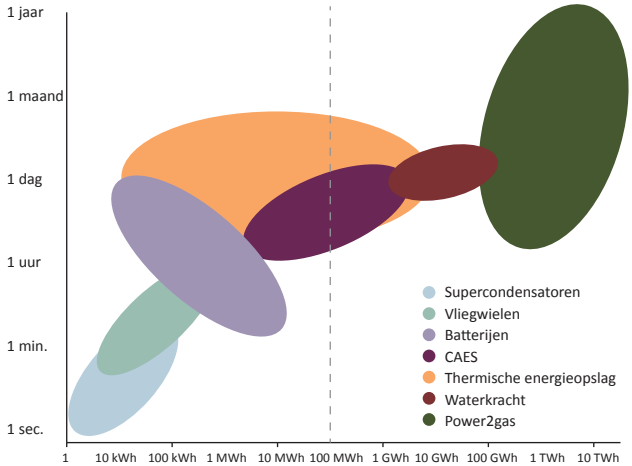
Tabel 1. Voor- en nadelen van verschillende flexibiliteitsmogelijkheden.

	Aanbodsturing	Vraagsturing	Interconnectie
Van toepassing op seizoensflexibiliteit	Ja	Beperkt	Beperkt
Voordeel t.o.v. opslag	Op dit moment relatief goedkoop vanwege lage grondstof- en CO_2-prijs.	Breed toepasbaar (van huishoudens tot industrie).	Zorgt op korte termijn voor goedkope energie-import door overschotten in buurlanden.
Nadeel t.o.v. opslag	In afnemende mate beschikbaar. Vervuilend. Curtailment vernietigt duurzame energie.	Zeer beperkt inzetbaar voor seizoensflexibiliteit.	Afhankelijkheid van andere landen. Geen leveringszekerheid gedurende windstille en mistige dagen.

TECHNOLOGIE

Welke mogelijkheden voor grootschalige opslag zijn er?

Lang niet elke energieopslagtechnologie is geschikt voor grootschalige- of seizoensopslag. Voor langdurige opslag is belangrijk dat de technologie opgeschaald kan worden, goedkoop is en weinig tot geen last heeft van zelfontlading of verliezen. Daarom worden in Nederland tot nu toe voornamelijk fossiele brandstoffen opgeslagen. Dankzij de snelle technologische ontwikkelingen komen echter nieuwe, schonere mogelijkheden voor grootschalige opslag in zicht:



Een overzicht van opslagtechnologieën, hun capaciteit en opslagduur. Langdurige (seizoens)opslag vraagt om een minimale capaciteit van 100 MWh (bewerking van: PwC, 2015).

Chemisch

Energie kan chemisch opgeslagen worden door elektriciteit om te zetten in een (gasvormige of vloeibare) brandstof. Voorbeelden zijn:

- Waterstof
Energie wordt opgeslagen door water via elektrolyse om te zetten in waterstof. De waterstof kan weer worden opgeslagen als gas (bijvoorbeeld in tanks of cavernes) of in carriermaterialen, zoals stikstof (ammoniak) of koolstofdioxide (methaan of mierenzuur, zie kader).

- Ammoniak
Energie kan via waterstof en stikstof uit de lucht in ammoniak worden omgezet, die in tanks vloeibaar kan worden opgeslagen. Bestaande opslagtanks uit de kunstmestindustrie kunnen 100.000 ton vloeibaar ammoniak opslaan, wat overeenkomt met 625 GWh aan energie. Bij schone verbranding (met toepassing van NOx-filters in de uitlaat) komt alleen water en stikstof vrij, geen CO_2.

- Methaan
Door waterstof te laten reageren met koolstofdioxide ontstaat methaan, dat in bestaande aardgascentrales kan worden verbrand. De koolstofdioxide die hierbij vrijkomt, kan weer worden opgeslagen voor gebruik in een volgende cyclus.

TECHNIEK VOOR CHEMISCHE ENERGIEOPSLAG

Bij de aardgasbuffer Zuidwending zet **Hystock** energie uit een zonnepark om in waterstof. De waterstof wordt in eerste instantie opgeslagen in tanks, in de toekomst in zoutcavernes.

Het **VoltaChem**-innovatieprogramma onderzoekt opslag van duurzame energie in mierenzuur: een omzetting via waterstof en een reactie met CO_2. Mierenzuur is niet ontvlambaar en behoeft geen opslag onder hoge druk.

Nuon wil in 2023 één van de drie units in de Magnumcentrale elektriciteit laten opwekken uit waterstof. Deze wordt in eerste instantie gewonnen uit aardgas, waarbij vrijgekomen CO_2 wordt opgeslagen.

Met de **TU Delft** onderzoekt Nuon de mogelijkheid om energie via waterstof op te slaan in ammoniak. Dat maakt vervoer op grote schaal over grote afstanden én langdurige opslag mogelijk.

Elektrochemisch

De bekendste vorm hiervan is de oplaadbare batterij, die in veel consumentenelektronica en elektrisch vervoer wordt gebruikt. Om de prijs per opgeslagen kWh te verlagen, zijn de meeste typen elektrochemische batterijen zo ontworpen dat ze veel geladen en ontladen moeten worden, waardoor ze alleen geschikt zijn voor kortetermijnopslag.*

Daarnaast hebben veel elektrochemische batterijen last van zelfontlading en zijn daardoor niet geschikt voor langdurige opslag. Een uitzondering zijn flow-batterijen[17]. Deze maken gebruik van bepaalde chemische samenstellingen (zoals waterstofbromide) en kennen geen zelfontlading.

** Bij seizoensopslag zou een batterij 's zomers geladen en 's winters ontladen worden. Uitgaande van 100 euro per kWh zouden de kosten na 30 jaar uitkomen op 3,30 euro per opgeslagen kWh. Dat is veel te hoog voor een rendabele businesscase.*

TECHNIEK VOOR ELEKTROCHEMISCHE ENERGIEOPSLAG

Elestor heeft eerste testopstelling met een flowbatterij operationeel. De chemische reactie bij het laden van deze waterstof-bromidebatterij is 100% omkeerbaar, zonder verlies in levensduur.

REDstack expirimenteert met een technologie waarmee energie kan worden opgeslagen door zout water te scheiden in twee delen met verschillende zout-concentraties. Bij samenvoeging wordt weer elektriciteit opgewekt.

Thermisch

Bij thermische energieopslag wordt een opslagmedium met energie geladen door het te verhitten en weer te ontladen door er warmte aan te onttrekken. Laden kan via bestaande warmtebronnen, zoals restwarmte uit de industrie (heat2heat) of door elektriciteit in warmte om te zetten (power2heat, bijvoorbeeld met elektrische boilers en warmtepompen). Opgeslagen warmte kan ook weer worden gebruikt om elektriciteit op te wekken (heat2power).

Mogelijke opslagmedia zijn:

- Vloeistoffen
Een voorbeeld is warmte-koudeopslag, waarbij in de zomer warmte in de bodem wordt opgeslagen, die er in de winter weer aan wordt onttrokken. Een andere mogelijkheid is warmte- of koudeopslag in goed geïsoleerde stalen of betonnen vloeistofvaten, die boven- of ondergronds worden bewaard[18].

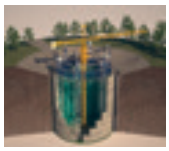
- Faseveranderingsmateriaal (PCM, phase change material)
Hierbij wordt energie opgeslagen door een medium warmte te laten absorberen, waardoor het van fase verandert. Een voorbeeld is energieopslag in gesmolten zout: bij het smelten wordt energie geabsorbeerd die later, tijdens het stollen, weer vrijkomt. Omdat de faseveranderingstemperatuur verschilt per materiaal, is deze methode voor een breed scala van toepassingen in te zetten[19].

- Vaste stof
Bij deze methode wordt energie opgeslagen door een vaste stof te verwarmen of te koelen. Dit kan bijvoorbeeld met behulp van een buizensysteem ín de vaste stof, waar een (verwarmde) vloeistof doorheen loopt.

- Thermochemisch
Energie kan worden opgeslagen via een thermochemische reactie of thermochemische sorptie. Een belangrijk voordeel van deze methode is dat er veel warmte in weinig ruimte opgeslagen kan worden[20]. Dit maakt thermochemische op-slag met name aantrekkelijk voor de gebouwde omgeving.

TECHNIEK VOOR THERMISCHE ENERGIEOPSLAG

IF Technology adviseert en engineert WKO-systemen. In Nederland zijn meer dan 2.000 WKO-systemen in gebruik,. In schaalgrootte variërend van 100 kW tot tientallen MW en qua energiehoeveel-heden van 100 MWh tot 100 GWh.



Het **Ecovat** slaat thermische energie op in een ondergronds warmwatervat. Het eerste testvat is in 2017 in gebruik genomen. Naast seizoensopslag biedt het Ecovat ook andere vormen van flexibiliteit.

Een consortium met Industrial Energy Experts onderzocht **'varende warmte'**: het transporteren van industriële rest-warmte per schip naar de gebouwde omgeving, met behulp van speciale tanks die gevuld zijn met PCM en voorzien van een warmtewisselaar.

Het **EnergyNest**-systeem kan warmte tot 550 graden Celsius opslaan in speciaal ontwikkeld beton ('heatcrete') rondom een frame van buizen. Door warme vloeistof door deze buizen te pompen, warmt het beton op.

Een **warmtebatterij** (van een consortium met onder meer TNO) slaat verliesvrij warmte uit zonne-energie op door in de zomer met zonnewarmte vocht uit zout te onttrekken. In de winter komt warmte vrij door het zout met water in contact te laten komen.

Mechanisch

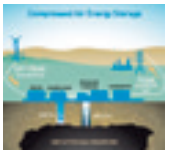
Bij mechanische energieopslag wordt elektrische energie in kinetische energie omgezet. Dit principe kan op verschillende manieren grootschalig worden toegepast:

- Waterkracht
Energie wordt opgeslagen door water naar een hoger gelegen reservoir te pompen. Door het water door een turbine weer naar beneden te laten vallen, komt de energie weer vrij. Dit principe is ook in het 'platte' Nederland toepasbaar door kunstmatige 'valmeren' of ondergrondse cavernes te gebruiken. Om grote hoeveelheden energie te kunnen opslaan, is veel volume nodig.

- Compressed Air Energy Storage (CAES)
Lucht wordt bij een overschot aan energie onder hoge druk opgeslagen in tanks of ondergrondse cavernes. Bij een tekort aan elektriciteit wordt de druk weer verlaagd door de lucht via een turbine met generator te laten ontsnappen.

TECHNIEK VOOR MECHANISCHE ENERGIEOPSLAG

Er worden twee mogelijke locaties voor een **kunstmatig valmeer** onderzocht: de Brouwersdam ('Plan Brouwersmeer') en het toekomstige energieknooppunt op de Doggersbank ('Energy island', een plan van DNV GL).



In Noord-Ierland wordt een **CAES-project** gerealiseerd in twee zoutcavernes, met steun van Europese subsidie. Ook in Nederland zijn er zoutcavernes die geschikt zijn voor CAES.

Hybride oplossingen

In de nabije toekomst zullen hybride oplossingen ontstaan, waarbij verschillende opslagtypes worden gecombineerd, of die voor meer toepassingen dan langdurige opslag geschikt zijn (waarmee de businesscase aantrekkelijker wordt). Voorbeelden hiervan zijn:

- De battolyser
Aan de TU Delft wordt een nikkel-ijzerbatterij voor kortstondige elektriciteitsopslag gecombineerd met een alkalische elektrolyser. Zodra de batterijcapaciteit volledig benut is, gaat de battolyser waterstof produceren, die kan worden ingezet voor seizoensopslag. Een efficiënte combinatie van korte- en langetermijnopslag, op basis van schaalbare technologie [21].

- Power2Heat conversie en thermische opslag
Elektriciteit omzetten in warmte maakt het mogelijk om de warmtevoorziening extra flexibiliteit te geven of om warmtekrachtinstallaties te ondersteunen, zodat ze constanter kunnen draaien [22]. Het Ecovat (zie pag. 7) is bijvoorbeeld primair bedoeld voor seizoensopslag, maar kan dankzij slimme software ook worden ingezet om flexibeler op de actuele warmtevraag te kunnen inspelen.

- Waterstof in de industrie
De industrie is nu al een grote afnemer van 'grijze' waterstof, gewonnen uit niet-duurzame bronnen. Er is dus al veel kennis en een complete infrastructuur aanwezig die ook voor 'groene' waterstof kan worden ingezet (dat qua samenstelling niet verschilt). Door steeds meer groene waterstof bij te mengen, kan snel en eenvoudig een markt voor deze vorm van duurzame energieopslag worden gecreëerd.

- Waterstof en transport
Waterstof heeft meerdere toepassingen als energiedrager. Waterstof kan een belangrijke rol spelen in toekomstige transportsystemen, met name voor de langere afstanden en het zware transport. In diverse waterstofprojecten, zoals Hystock en het mierenzuurproject van VoltaChem, is de combinatie van opslag en mobiliteit een belangrijk uitgangspunt.

- Multifunctioneel gebruik van chemische opslag
Ook chemische opslagmedia hebben vaak meerdere toepassingen, of kunnen worden gebruikt in andere producten of processen. Ammoniak kan bijvoorbeeld worden ingezet als opslagmedium, maar ook als grondstof voor kunstmest.

TOEPASSINGEN

Waar heeft grootschalige opslag toekomstperspectief?

Gebouwde omgeving

De gebouwde omgeving kan in 2035 – of al eerder – CO_2-neutraal zijn. Dit dankzij onder meer energiezuinigheid, elektrificatie, de uitrol van warmtenetten en lokale opwekking van energie. Maar ook flexibilisering van vraag en aanbod is nodig, onder meer via lokale opslag en conversie van energie.

Met batterijsystemen kunnen vooralsnog alleen dag-nachtverschillen in vraag en aanbod worden opgelost. Inmiddels zijn echter ook 'warmtebatterijen' in ontwikkeling, die over een langere periode in de warmtevraag kunnen voorzien (zie ook het kader op pag. 7). Gebiedsgerichte oplossingen zoals die van Ecovat (zie pag. 7) staan aan de vooravond van een grootschalige marktintroductie. Ook andere (passieve) opslagmethoden, zoals betonkernactivering en gebruik van bodemenergie, kunnen verschillen in vraag en aanbod helpen overbruggen.

Waar beginnen?

1. Zet (geclusterde) warmtebatterijen in op gebouw- en wijkniveau. De technologie is beschikbaar, de tijd is rijp voor demonstratie en uitrol.
2. Organiseer op wijkniveau showcases met smart heat. Combineer in één demonstratieproject grootschalige decentrale opslag met vraagsturing en flexibiliteit in transport, aansturing en monitoring. Op basis van deze ervaringen kunnen de beste flexibiliteitsoplossingen worden geselecteerd.

Industrie

Recente praktijkstudies laten zien dat de industrie een belangrijke rol kan spelen bij het flexibiliseren van energievraag en -aanbod[23]. Door toenemende elektrificatie van processen geldt dat zeker ook voor opslag. Zo kan piekproductie van duurzame elektriciteit worden omgezet en opgeslagen in warmte of chemische verbindingen, om op een later moment weer te worden gebruikt voor (geëlektrificeerde) processen. Ook de opslag van industriële (rest)warmte biedt kansen om de CO_2-uitstoot significant te beperken. Innovatieve technologieën, zoals EnergyNest en NEBUBlock maken het mogelijk om zeer hoge (proces)temperaturen voor langere perioden op te slaan en weer af te geven.

De bestaande Nederlandse gasinfrastructuur kan in de toekomst door de industrie benut worden voor de levering en het transport van energiedragers als waterstof en andere chemische verbindingen. Ook andere transportmodaliteiten kunnen helpen opgeslagen energie in plaats en tijd te verplaatsen.

Waar beginnen?

1. Blijf investeren in een snelle en grootschalige uitrol van duurzame energiebronnen (zoals wind op zee en zonneparken). Dit maakt het voor de (proces)industrie aantrekkelijker te investeren in flexibele technologie en elektrificatie.
2. Start pilot- en demonstratieprojecten ter voorbereiding op toekomstige opschaling:
   - waterstofopslag in nieuwe vormen, zoals LOHC (Liquid Organic Hydrogen Carrier);
   - de Battolyser (zie pag. 8), gekoppeld aan een industrieel project van 1,5 MW;
   - een demonstratie met 10 MW+ electrolysers in raffinage en/of een ammoniakfabriek.

Energieproductie en -infrastructuur

Een belangrijke voorwaarde voor de energietransitie is dat grote fluctuaties in vraag en aanbod efficiënt opgevangen kunnen worden. Dat vraagt om sterke infrastructuur én een nieuwe rol voor de energieproductiesector. In plaats van gescheiden ketens voor gas, elektriciteit en warmte ontstaat een meer geïntegreerd energiesysteem, met een belangrijke rol voor conversie en opslag, waarmee de leveringszekerheid toeneemt en optimaal gebruik kan worden gemaakt van duurzaam opgewekte elektriciteit.

Deze trend is al zichtbaar. Zo gaat Gasunie-dochter EnergyStock duurzaam opgewekte elektriciteit omzetten in waterstof, die bij voldoende ervaring in zoutcavernes zal worden opgeslagen. Nuon experimenteert met 'groene' ammoniak en waterstof, gewonnen uit zonne-energie, als brandstof voor (nu nog gasgestookte) elektriciteitscentrales in de Eemshaven. En landelijk netbeheerder TenneT heeft plannen ontvouwd voor een kunstmatig energie-eiland in de Noordzee. In eerste instantie om offshorewindparken en de energienetten van verschillende landen te verbinden, maar het ontwerp houdt ook rekening met toekomstige opslag en conversie van energie.

Waar beginnen?

1. Start een pilotproject met productie van groene waterstof uit zonne-energie, voor integratie met waterstofmobiliteit (pilotfase 2-3 MW, met snelle opschaling naar 20-30 MW).
2. Omvorming van de Nuon Magnumcentrale tot een 'superbatterij'.
3. Faciliteer het opbouwen van waardeketens rondom groene waterstof (zie kader groene waterstofeconomie in Noord-Nederland op pagina 11).
4. Ontwikkel een pilotproject met CAES (compressed air energy storage) in zoutcavernes.

Transport en mobiliteit

De komende tien tot vijftien jaar verliest de klassieke brandstofmotor gestaag terrein aan schonere aandrijftechnologie voor zowel auto's, vrachtwagens, schepen als vliegtuigen. Dit gaat gepaard met grootschalige introductie van alternatieve energiedragers zoals elektriciteit, waterstof, LNG, bio- en solar fuels.

Veel van deze alternatieve energiedragers kunnen langdurig en grootschalig worden opgeslagen. Daarmee worden vervoermiddelen én de bijbehorende (laad) infrastructuur onderdeel van het energiesysteem. Elektrische voertuigen zullen binnen afzienbare tijd bidirectioneel geladen/ontladen kunnen worden, al zullen de capaciteit en aantallen nog exponentieel moeten toenemen voordat het elektrische wagenpark zelf voor grootschalige opslag kan worden benut. Waterstoftechnologie is nu al min of meer 'plug-and-play' inzetbaar voor opslag, maar wordt nog maar beperkt toegepast.

Waar beginnen?

1. Ontwikkel in een stedelijke omgeving een 'energietransferium', waar energieopwekking, opslag en mobiliteit samenkomen. Met als uitgangspunt dat zowel de energie in de infrastructuur als in de aanwezige (elektrische) voertuigen optimaal benut wordt.

Integrale benadering biedt kansen

De uitdagingen van de toekomst worden niet opgelost met hokjesdenken of 'postzegeloplossingen', maar vragen om slimme, integrale combinaties van kennis, technieken en toepassingen. Opslag van energie is geen doel op zich, maar een middel dat op veel manieren maatschappelijke waarde kan creëren. Daarvoor zijn slimme verbindingen nodig tussen de in dit hoofdstuk beschreven sectoren. Daar zijn al goede voorbeelden van, zoals:

- duurzaam opgewekte elektriciteit omzetten in waterstof voor mobiliteit;
- energieopslagsystemen uit afgedankte auto-accu's;
- het opslaan van overtollige warmte uit tuinbouwkassen voor hergebruik in woonwijken.

In Noord-Nederland wordt de integrale benadering op een nog fundamenteler niveau uitgewerkt, via plannen voor een 'groene waterstofeconomie' (zie kader). Dergelijke initiatieven verdienen alle steun, immers: de uitdagingen van de toekomst zijn zo complex en onderling verweven dat een geïntegreerde, multidisciplinaire en vaak gebiedsgerichte aanpak nodig is om tot succesvolle oplossingen te komen.

De groene waterstofeconomie

Noord-Nederland wil zich ontwikkelen tot een sterke, groene waterstofeconomie. Dit dankzij onder meer de aanwezigheid van grootschalige duurzame energieproductie (ook op zee), grote chemieclusters én de bestaande gasinfrastructuur. Deze kan goedkoop worden aangepast voor groene waterstof. De kennis van bedrijven als NAM/Shell, Gasunie en GasTerra, die nu de productie, distributie en handel in aardgas verzorgen, is bovendien vrijwel 1-op-1 inzetbaar voor waterstof.

Een 'Noordelijk Waterstofplan' vraagt om investeringen (18 tot 25 miljard euro tot 2030), maar biedt deze regio een unieke kans om zich tot een koploper te ontwikkelen op het gebied van een energievorm met toekomst.

AANBEVELINGEN

Tien actiepunten voor het stimuleren

1. **Begin met projectontwikkeling voordat het te laat is**
   Grootschalige opslag ontwikkelen kost tijd. De omvang van de benodigde infrastructuur én investeringen is groot, waardoor ontwikkeltijden van drie tot zeven jaar geen uitzondering zijn. Het gevoel van urgentie is op dit moment nog laag, maar met de ambitieuze doelen van 'Parijs' zal grootschalige opslag eerder nodig zijn dan nu wordt gedacht. Om na 2023 betrouwbare opslagtechnologie te kunnen uitrollen, moet er snel begonnen worden met het opdoen van ervaring.

2. **Focus het innovatiebeleid op grootschalige opslag**
   Het internationale succes van de Nederlandse industrie is te danken aan kennis en innovatiekracht. Om een plek te veroveren op de wereldmarkt voor grootschalige opslag, moet onderzoek naar – en ontwikkeling – van grootschalige opslag worden gestimuleerd. Nu er dankzij een sterk gedaalde kostprijs steeds meer kleinschalige (elektrische) opslagtechnologieën op de markt zijn, is het tijd om het innovatiebeleid (en de bijbehorende middelen) te focussen op grootschalige opslag, die continu aangesproken moet kunnen worden en daardoor aan zwaardere eisen voor levensduur en betrouwbaarheid moet voldoen.

3. **Zorg voor een integrale kosten-batenanalyse**
   Er zijn nog veel fundamentele vragen rondom grootschalige energieopslag. Waar kan opslag het beste plaatsvinden: bij de bron, de gebruiker, knooppunten in het netwerk? Is centrale opslag nodig of biedt decentrale opslag ook kansen? Welke nieuwe waardestromen komen in beeld als (industriële) eindgebruikers energie gaan opslaan (en converteren)? Zulke vragen moeten meegenomen worden in een integrale maatschappelijke kosten-batenanalyse, met als inzet de meest efficiënte vorm van CO_2-reductie in een betaalbaar en betrouwbaar energiesysteem.

4. **Spreek af hoe we omgaan met een 'Dunkelflaute'**
   Wat is de beste strategie bij een langdurige periode zonder zon en wind? Op dit moment is nog onvoldoende duidelijk welke energieproductie- en flexibiliteitsopties in zo'n scenario het meeste effect hebben en tegen welke kosten. Er moet een 'merit order'* komen die aangeeft welke reservecapaciteit nodig is, welke bronnen als eerste worden aangesproken en tegen welke prijs. Dat schept duidelijkheid, ook voor investeerders en netbeheerders die de benodigde opslagcapaciteit moeten ontwikkelen.

5. **Stimuleer investeringsbereidheid**
   De markt investeert alleen in grootschalige opslag bij voldoende investeringszekerheid. De huidige businesscases zijn te mager en risicovol, en zonder overheidssteun zijn pilotprojecten niet financierbaar of kostendekkend. Ze hebben dus een steuntje in de rug nodig, bijvoorbeeld via de huidige DEI- en HER-regelingen (die nu geen opslag ondersteunen). Ook een reële, (veel) hogere CO_2-prijs zou rendabele businesscases een stap dichterbij brengen.

* *Merit order: marginale aanbodcurve voor de prijs van energie met een 'biedperiode' tot 14 dagen.*

van grootschalige opslag

6. Voorkom afschakeling van duurzame energiebronnen
Jaarlijks worden enorme hoeveelheden duurzame energie 'weggegooid' doordat overschotten in aanbod niet kunnen worden opgeslagen en de betreffende energiebronnen worden afgeschakeld (curtailment). In Duitsland ging het in 2016 om energie ter waarde van 1 miljard euro[24], die bovendien later weer uit fossiele bronnen moet worden opgewekt. Door curtailment via regelgeving te ontmoedigen, groeit de vraag naar flexibiliteit (en de waarde ervan) en wordt grootschalige opslag eerder rendabel.

7. Ontwikkel hybride businessmodellen
De businesscase voor grootschalige opslag wordt bemoeilijkt doordat seizoensopslag maar 1 à 2 keer per jaar geladen en ontladen hoeft te worden. De opgeslagen energie kan echter ook op andere momenten van strategisch belang zijn voor de leveringszekerheid. Er is behoefte aan hybride businessmodellen die méér waarde uit de beschikbare energie creëren. In een volatiele energiemarkt kunnen grote hoeveelheden opgeslagen energie bijvoorbeeld een prijsdempend effect hebben.

8. Neem beperkende wet- en regelgeving weg
In het Nationaal Actieplan Energieopslag (2016) zijn diverse hinderlijke barrières in wet- en regelgeving gesignaleerd die het gelijk speelveld voor flexibiliteitsvoorzieningen verstoren ten nadele van energieopslag. Daar moet snel verandering in komen. De belangrijkste knelpunten zijn de dubbele heffing van energiebelasting en de tariefstructuur voor de doorbelasting van nettarieven voor elektriciteit.

9. Ondersteun naast demonstratieprojecten ook de eerste opschalingsfase
Nieuwe technologie heeft altijd te maken met de zogenoemde 'Valley of Death': de moeilijke fase tussen succesvolle ontwikkeling en brede acceptatie in de markt. In deze fase moeten innovaties concurreren met gevestigde (en vaak goedkopere) technologie. Stimuleringsregelingen zouden meer mogelijkheden moeten bieden om de onrendabele top in deze 'scale-upfase' te subsidiëren.

10. Organiseer maatschappelijk draagvlak
Grootschalige opslag van energie kan aanzienlijke impact hebben op de ruimtelijke omgeving of veiligheidsbeleving van burgers. Bij projectontwikkeling moet deze factor al vanaf het begin worden meegewogen, en moet de omgeving nauw betrokken worden bij projectontwikkeling en -uitvoering.

Verantwoording

In dit visiedocument presenteren FME, Energy Storage NL en NLingenieurs hun visie op de rol die grootschalige opslag speelt in de energiemix van de toekomst. Het document is gebaseerd op rondetafelgesprekken met tientallen deskundigen uit alle geledingen van de energie-waardeketen. Dit document is tevens een verbijzondering van het Nationaal Actieplan Energieopslag en de FME Energievisie, waarin wordt opgeroepen tot acties die nu nodig zijn om ervoor te zorgen dat grootschalige opslag tijdig wordt geïmplementeerd.

FME faciliteert groei

FME mobiliseert en verbindt de technologische industrie in Nederland, voor elke vraag of uitdaging die de wereld van vandaag en morgen heeft. Op die manier vergroten we de verdienkracht van individuele leden en de industrie als collectief. Het FME Cluster Energy verbindt en mobiliseert specifiek de technologiebedrijven, kennisinstellingen, eindgebruikers en financiers die samen antwoorden kunnen formuleren op de uitdagingen van de energietransitie. Daarmee wil FME een bijdrage leveren aan de transitie naar een schone, betrouwbare en betaalbare energievoorziening én de verdienkracht van Nederland vergroten.

Kijk voor onze activiteiten op gebied van energie op **www.fme.nl/energy**. Of neem contact op met Hans van der Spek, clustermanager Energy en programmadirecteur Cleantech, via **06-54253991** of **hans.van.der.spek@fme.n**l

Energy Storage NL, platform voor energieopslag

Energy Storage NL, een initiatief van FME, wil bedrijven, kennisinstellingen, overheden en financiers op een betekenisvolle manier met elkaar verbinden zodat er voor energieopslag duurzame businesscases ontstaan die een bijdrage leveren aan een succesvolle transitie naar schone, betrouwbare en betaalbare energie.

www.energystorageNL.nl

NLingenieurs, branchevereniging van advies- en ingenieursbureaus

NLingenieurs is de Nederlandse branchevereniging van advies-, management- en ingenieursbureaus. NLingenieurs werd in 1917 opgericht als Orde van de Nederlandsche Raadgevend Ingenieur.

De leden van NLingenieurs zijn private bedrijven die ingenieursdiensten leveren, opereren op basis van vrije concurrentie en voldoen aan de kwaliteitseisen van de vereniging.

Deze leden, variërend van kleine bureaus tot wereldwijd opererende ondernemingen, hebben een reputatie van kwalitatief hoogwaardig advies en objectieve advisering. Dat vormt een uitstekend houvast voor opdrachtgevers die op zoek zijn naar een bureau met degelijke en specifieke vakkennis.

www.NLingenieurs.nl

Eindnoten

[1] Mulder (2014), Implications of diurnal and seasonal variations in renewable energy generation for large scale energy storage.

[2] Huneke, Linkenheil en Niggemeier (2017), *Kalte dunkelflaute - Robustheit des stromsystems bei extremwetter*

[3] Mulder (2014), *Implications of diurnal and seasonal variations in renewable energy generation for large scale energy storage*.

[4] Triple E (2015), *The Balance of Power – Flexibility options for the Dutch electricity market.*

[5] Mulder, Postma, Klop & Visser (2015), *Naar een hoog aandeel duurzame energie*.

[6] Diverse onderzoeken onderschrijven dat seizoensopslag bij een toenemend percentage duurzame energie een belangrijke rol gaat spelen. Zie bijvoorbeeld Mulder (2014), *Implications of diurnal and seasonal variations in renewable energy generation for large scale energy storage*; Triple E (2015), *The Balance of Power – Flexibility options for the Dutch electricity market*; CE Delft (2016), *Markt en flexibiliteit*; Agora Energiewende (2014), *Electricity Storage in the German Energy Transition*.

[7] Zie Creutzig et al, Nature Energy 2, 17140 (2017)

[8] Triple E (2015), *The Balance of Power – Flexibility options for the Dutch electricity market.*

[9] Spijkerman (2015), *Opportunities for flexibilization options in a system with more implementation of renewable energy sources*.

[10] CE Delft (2016), *Markt en flexibiliteit*; Spijkerman (2015), *Opportunities for flexibilization options in a system with more implementation of renewable energy sources*.

[11] Bron: EWEA

[12] Betreft gedeeltelijke overname uit het '*Nationaal actieplan Energieopslag'*, 2016, tekst verzorgd door Energy Storage NL.

[13] Alleen productieprocessen voor seizoensgebonden producten die lang opgeslagen kunnen worden, kunnen gebruik maken van de prijsfluctuaties over de seizoenen heen. Zie Lund, Lindgren, Mikkola en Salpakari (2015), *Review of energy system flexibility measures to enable high levels of variable renewable electricity*.

[14] Triple E (2015), *The Balance of Power – Flexibility options for the Dutch electricity market.*

[15] Van der Leun (2016), *Windstille winterweken*

[16] Mulder, Postma, Klop & Visser (2015), *Naar een hoog aandeel duurzame energie*.

[17] Lund, Lindgren, Mikkola en Salpakari (2015), *Review of energy system flexibility measures to enable high levels of variable renewable electricity*.

[18] Xu, Wang en Li (2013), *A review of available technologies for seasonal thermal energy storage*.

[19] Xu, Wang en Li (2013), *A review of available technologies for seasonal thermal energy storage*.

[20] Xu, Wang en Li (2013), *A review of available technologies for seasonal thermal energy storage*.

[21] Mulder, Weninger, Middelkoop, Ooms en Schreuders (2016), *Efficient electricity storage with a battolyser, an integrated Ni–Fe battery and electrolyser.*

[22] Agora Energiewende (2014), *Electricity Storage in the German Energy Transition*.

[23] Power2Products (Berenschot, ISPT, CE Delft)

[24] Bronnen: Uniper Duitsland, EWEA

FME
Zilverstraat 69
Postbus 190
2718 RP Zoetermeer

+31 (0)79 353 11 00
info@fme.nl
www.fme.nl