

Nationaal Programma  
**RES** Regionale  
Energie  
Strategie



## Inhoudsopgave

### Proclaimer

De factsheets zijn opgesteld op basis van vragen uit de regio's over de inzet van technologieën voor de RES opgave. CE Delft heeft in opdracht van NP RES op basis van de voornaamste objectieve bronnen een overzicht gemaakt van criteria per technologie of bron. NP RES heeft samen met CE Delft afgewogen keuzes gemaakt in het brongebruik, op basis van relevante criteria met betrekking tot de RES opgave. Informatie en beeldmateriaal mogen vrij geciteerd en gebruikt worden mits duidelijke bronverwijzing naar NP RES.

De factsheets zijn voorgelegd en afgestemd met Ministerie van Economische zaken, Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties, IPO, VNG, Unie van Waterschappen, NVDE en Netbeheer Nederland.

<b>1.</b>	<b>Inleiding</b>	<b>3</b>	<b>6.</b>	<b>Batterijopslag</b>	<b>14</b>
<b>2.</b>	<b>Het elektriciteitssysteem</b>	<b>4</b>		Thuisbatterijen	15
<b>3.</b>	<b>De rol van elektriciteitsopslag</b>	<b>6</b>		Grote batterij bij opwekker/verbruiker	17
<b>4.</b>	<b>Wat kun je als lokale overheid met opslag?</b>	<b>9</b>		Gridbatterijen	19
<b>5.</b>	<b>Overzicht</b>	<b>11</b>		Innovatieve batterijtechnieken	21
			<b>7.</b>	<b>Tijdelijke conversie (Waterstof)</b>	<b>24</b>
			<b>8.</b>	<b>Compressed Air Energy Storage</b>	<b>27</b>
			<b>9.</b>	<b>Overige opslagtechnieken</b>	<b>29</b>

# 1. Inleiding

## Doel van deze factsheet

Het doel van deze factsheet is om overheden van de RES-regio's de (on)mogelijkheden van de opslag van elektriciteit te helpen begrijpen. Op deze manier kunnen zij beter gesprekken voeren over de bijdrage van verschillende vormen van elektriciteitsopslag in hun regio, en hier keuzes in maken.

## Aanleiding

Het energiesysteem in Nederland is aan het verduurzamen. Grote gas- en kolencentrales maken plaats voor decentrale wind- en zonneparken. Door het veranderende energiesysteem ontstaan er momenten met overschotten aan elektriciteit in de zomermaanden en maanden waarin de productie van duurzame elektriciteit onvoldoende is voor de vraag. Daarom zijn technieken nodig om elektriciteit tijdelijk op te slaan en op andere momenten weer vrij te geven.

Ook op lokaal niveau leiden veranderingen in de vraag en het aanbod van elektriciteit ertoe dat de capaciteit van het elektriciteitsnet onvoldoende is voor alle activiteiten. Dit kan ertoe leiden dat initiatieven voor zon en wind vertragen of niet gerealiseerd kunnen worden, of dat nieuwe verbruikers van elektriciteit niet kunnen worden aangesloten.

Vanuit deze ontwikkelingen neemt de roep om andere oplossingen, zoals opslag van elektriciteit in batterijen, snel toe. Er zijn veel initiatieven op het gebied van elektriciteitsopslag, maar het is niet altijd duidelijk in hoeverre deze bijdragen aan een robuust energiesysteem. Deze factsheet geeft inzicht in de mogelijke rol van elektriciteitsopslag in dit nieuwe systeem.

## Afbakening

In deze factsheet komen vormen van elektriciteitsopslag aan bod die realiseerbaar zijn voor 2030. Dit zijn technieken die elektriciteit opslaan en deze energie op een later moment weer als elektriciteit vrijgeven. Deze factsheet kijkt niet naar technieken die elektriciteit opslaan en deze energie vervolgens als een andere vorm van energie (warmte, gas) vrijgeven.

## Leeswijzer

Hoofdstuk 2 geeft een introductie van het elektriciteitssysteem en de gevolgen van de energietransitie op dit systeem. In hoofdstuk 3 laten we zien welke rollen elektriciteitsopslag kan vervullen. Hoofdstuk 4 beschrijft wat lokale overheden kunnen doen met het thema opslag. Tot slot geeft hoofdstuk 4 een overzicht van alle technieken en hun belangrijkste kenmerken.

In de verdieping beschrijven we alle technieken in meer detail.

In deze factsheet komen de volgende technieken aan bod:

- Batterijen op verschillende schaalniveaus:
  - Thuisbatterij
  - Grote batterij bij opwekker/verbruiker
  - Gridbatterij met een eigen netaansluiting
  - Innovatieve batterijtechnieken
- Tijdelijke conversie (waterstof)
- Compressed air energy storage

Tot slot behandelen we ook een aantal andere technieken die technisch minder ver gevorderd zijn, maar wel vaak worden benoemd als interessante opslagtechniek:

- Liquid air energy storage
- Ondergrondse pompaccumulatiecentrale (O-PAC) en valmeren
- Vliegwielen

## 2. Het elektriciteitssysteem

### Bestaand systeem: van hoogspanning naar laagspanning

Het bestaande elektriciteitsnet is aangelegd om elektriciteit van grote, centrale elektriciteitscentrales te transporteren naar bedrijven en huishoudens:

- Bovengrondse en ondergrondse kabels transporteren elektriciteit uit elektriciteitscentrales en het buitenland naar zeer grote energieafnemers of de regionale netten. Deze hoogspanningskabels zijn eigendom van TenneT.
- HS-MS stations, ook wel onderstations genoemd, zetten deze hoogspanning om naar middenspanning. Middenspanningsnetten transporteren elektriciteit naar grote organisaties en lokale wijknetten. HS-MS stations en het middenspanningsnet zijn eigendom van de regionale netbeheerder.
- MS-LS stations (transformatorhuisjes) in wijken en buurten zetten middenspanning om naar laagspanning die wordt geleverd aan huishoudens en (kleinere) bedrijven. Ook deze stations en de laagspanningsnetten zijn eigendom van de regionale netbeheerder.

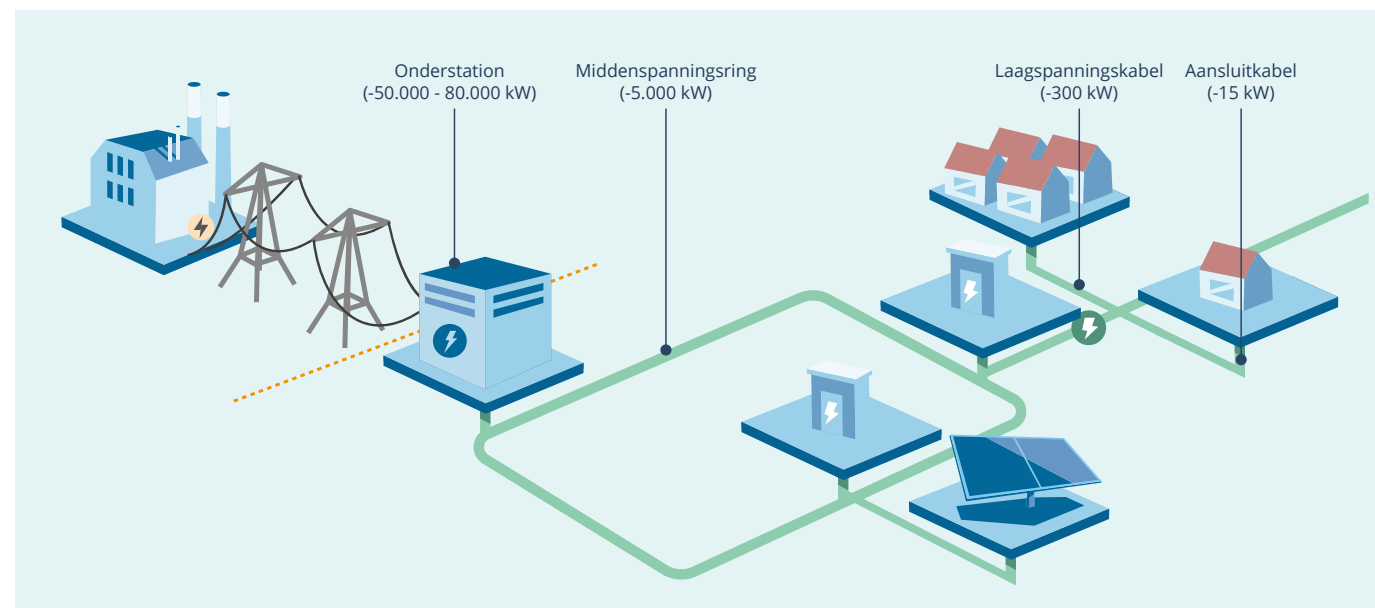
### Balans op het net noodzakelijk om stroomuitval te voorkomen

Vraag en aanbod moeten in het elektriciteitssysteem iedere seconde in balans zijn. Zelfs kleine verstoringen in de balans leiden tot stroomuitval als ze niet snel gecorrigeerd worden. Dit is anders dan bij bijvoorbeeld het net voor gas of drinkwater, waar onbalans veel minder snel tot problemen leidt.

Deze balans is ook op langere tijdschalen (uren, dagen, jaren) van belang. De energiemarkt zorgt ervoor dat deze balans ontstaat. TenneT is verantwoordelijk voor de leveringszekerheid van elektriciteit en de handhaving van het evenwicht tussen vraag en aanbod op het net (de zogeheten 'energiebalans').

### Onvoldoende capaciteit op het elektriciteitsnet: uitdaging voor balanceren vraag en aanbod

Het elektriciteitsnet heeft een beperkte capaciteit, waardoor het niet altijd mogelijk is om op iedere locatie en op ieder moment elektriciteit te gebruiken of te produceren. Dit geeft uitdagingen bij het balanceren van vraag en aanbod en kan leiden tot netcongestie. Er is sprake van netcongestie als de vraag naar transport van elektriciteit groter is dan de transportcapaciteit van het net. Netcongestie kan plaatsvinden op het hoogspanningsnet, maar ook op lagere netniveaus. Eigenaren van de netten zijn verantwoordelijk om knelpunten op te lossen: TenneT is verantwoordelijk voor het hoogspanningsnet en regionale netbeheerders voor het lokale net (midden- en laagspanning).



## Het nieuwe energiesysteem

Het elektriciteitssysteem is ontworpen om elektriciteit van grote, centrale productielocaties te transporteren naar bedrijven en huishoudens. Met de energietransitie verandert dit momenteel snel: over acht jaar zal circa 85% van de in Nederland opgewekte elektriciteit bestaan uit wind- en zonne-energie<sup>1</sup>.

Wind- en zonne-energie leiden tot pieken en dalen in de stroomproductie. Ook wordt deze energie op andere plekken in het net geproduceerd dan met de huidige elektriciteitscentrales. Ook wordt er voor steeds meer activiteiten (rijden, verwarmen, productie) gebruik gemaakt van elektriciteit. Zowel vraag en aanbod van elektriciteit nemen toe, maar opwek- en verbruiksprofielen sluiten niet perfect op elkaar aan.

Het nieuwe energiesysteem moet hier rekening mee houden. Op momenten met weinig wind en zon is het nodig om snel extra elektriciteit te kunnen produceren of leveren, en op wind- en zonnige dagen momenten willen we het overschot van elektriciteit benutten. Dit vraagt om een mix van vraagsturing, korte termijn opslag, lange termijn opslag en centrales.

Tot slot is de capaciteit van het huidige net op veel plekken niet berekend op de toename van elektriciteitsvraag en -aanbod. Het bestaande net moet verzwakt worden, en tegelijkertijd moeten we slimmer omgaan met het net: door elektriciteit lokaler te gebruiken of slimme afspraken te maken over wanneer elektriciteit op het net wordt ingevoerd of afgenomen.

Opslag van elektriciteit kan zorgen voor minder fluctuaties in de vraag en het aanbod van elektriciteit. Hiermee kan het elektriciteitsnet optimaler worden benut en worden de pieken en dalen afgevlakt. In deze factsheets bespreken we opslag als oplossingsrichting. Er zijn echter meer oplossingen, zoals slim gebruik van elektriciteit, lokaal balanceren van vraag en aanbod of omzetting van elektriciteit naar andere energiedragers.

- Meer lezen over de werking van het elektriciteitsnet? Zie ook het [basisdocument over energie-infrastructuur](#).
- Een kaart met de huidige congestiegebieden in Nederland staat [hier](#).

1 Klimaat- en energieverkenning 2022

### 3. De rol van elektriciteitsopslag

In dit hoofdstuk gaan we eerst in op de functies die elektriciteitsopslag kan hebben, vervolgens met welke technieken deze functies kunnen worden vervuld.

#### Wat zijn de functies van elektriciteitsopslag?

Opslagsystemen kunnen vele verschillende functies vervullen binnen het energiesysteem. Het verschil tussen deze functies is vrij technisch, maar het is wel nuttig om te weten welke functies er allemaal zijn. Vaak vervullen opslagsystemen meerdere functies en zijn daarmee op meerdere markten tegelijkertijd actief.

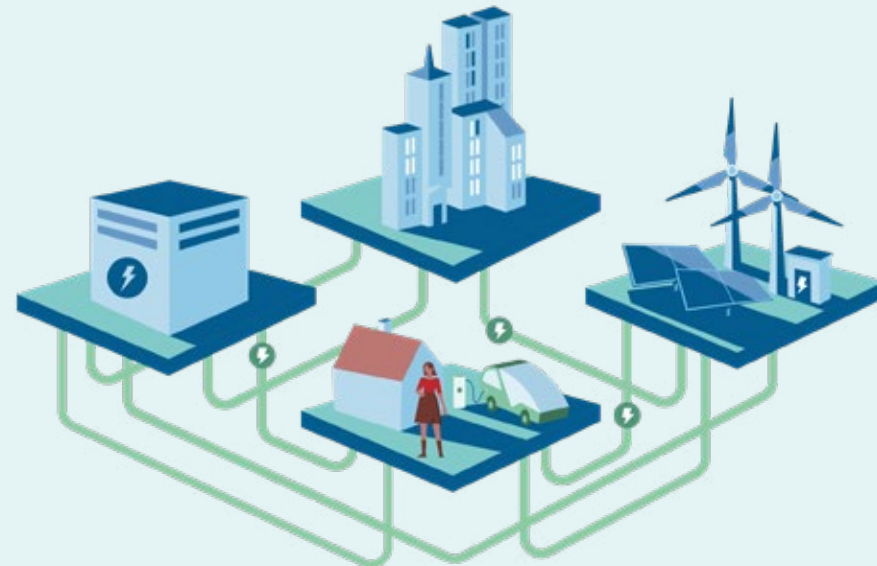
Voor de volgende functies bestaat al een markt<sup>2</sup>:

- **Arbitrage** is het goedkoop inkopen en duur verkopen van elektriciteit. Dit komt overeen met inkopen op momenten van overvloed en verkopen op een moment van schaarste. In de praktijk doet een opslagsysteem dit door bijvoorbeeld op te laden op een zonnige middag en te ontladen in de avond. Arbitrage wordt zowel voor laden als ontladen gestimuleerd door de elektriciteitsprijs, zowel per uur ("day-ahead markt") als per kwartier ("intra-day markt"). Opslagsystemen laden dan op bij een lage prijs en ontladen bij een hoge prijs. Zo helpen ze vraag en aanbod in balans te brengen.
- **Backupvermogen** voor langdurige tekorten wordt nu vooral geleverd door fossiele centrales, maar kan ook geleverd worden door langdurige opslag, zoals valmeren en conversie naar waterstof (zie hoofdstuk 5).

- **Congestiemanagement** om overbelasting van elektriciteitskabels en transformatoren te helpen voorkomen. Beheerders van opslagsystemen kunnen via het GOPACS<sup>3</sup> platform aanbieden om de netbeheerder te helpen bij congestieproblemen door op afspraak op te laden of juist te ontladen. De netbeheerder stelt hier een vergoeding tegenover. Op het platform concurreren opslagbeheerders met bedrijven die via hetzelfde platform aanbieden om hun productieprocessen tijdelijk af te schakelen<sup>4</sup>.
- **Netbalancing** om de netfrequentie op precies 50Hz te houden. TenneT koopt balanceringsvermogen in via dagelijkse veilingen<sup>5</sup>. Installaties die een bieding gewonnen hebben, moeten op afroep van TenneT meer of minder elektriciteit leveren.

- **Verhogen eigen gebruik** van zelf opgewekte energie geeft de eigenaar een financieel voordeel. Over zelf opgewekte elektriciteit hoeft namelijk geen energiebelasting te worden betaald. Doordat met opslagsystemen zoals batterijen de elektriciteit het net niet opgaat, is er minder netcapaciteit nodig.

Daarnaast kunnen opslagsystemen ervoor zorgen dat er een kleinere netaansluiting nodig is of dat er meer kan binnen de bestaande aansluiting.



<sup>2</sup> <https://ce.nl/publicaties/omslagpunt-grootschalige-batterijopslag/>

<sup>3</sup> Grid Operators Platform for Congestions Solutions

<sup>4</sup> Er zijn ook andere manieren waarop marktpartijen kunnen helpen om congestie op te lossen, zoals het capaciteitsbeperkingscontract of het tijdsgebonden contract. Dit zijn echter bilaterale contracten en geen markt.

<sup>5</sup> In vaktermen gaat het hier om de FCR, aFRR, mFRR en passieve onbalans.

## Elektriciteitsopslag en netcongestie

Netcongestie is een groeiend probleem in Nederland. Netbeheerders zijn op verschillende manieren bezig de netcongestieproblematiek op te lossen.

Op de meeste plekken is het noodzakelijk om het net te verzwaren. De omvangrijke verzwaring van de elektriciteitsinfrastructuur zal echter meerdere jaren in beslag nemen.

Omdat netverzwaring niet overal op korte termijn gereed is, zijn ook tussentijdse maatregelen nodig om nieuwe vragers of aanbieders van elektriciteit te kunnen aansluiten. Door beleidsmaatregelen, het verkleinen van de elektriciteitsvraag en door efficiënt gebruik te maken van het net, wordt de opgave voor netverzwaring verkleind. Er kan slim gebruik gemaakt worden van het net door met bedrijven afspraken te maken om in tijden met hoog aanbod extra stroom af te nemen en in tijden met een

hoge vraag juist minder stroom te gebruiken. Recente regelgeving zoals de nieuwe netcode congestiemanagement maakt dit al meer mogelijk, maar verdere aanpassingen in wet- en regelgeving zijn ook nog nodig. Elektriciteitsopslag kan ook helpen netcongestie te voorkomen. Zo kunnen batterijen bij zonneparken pieken van energie opslaan en deze pas later op het elektriciteitsnet afgeven. Een andere mogelijkheid is het gebruiken van batterijen om de piekvraag te verkleinen, waardoor een kleinere aansluiting op het net kan worden afgesloten.

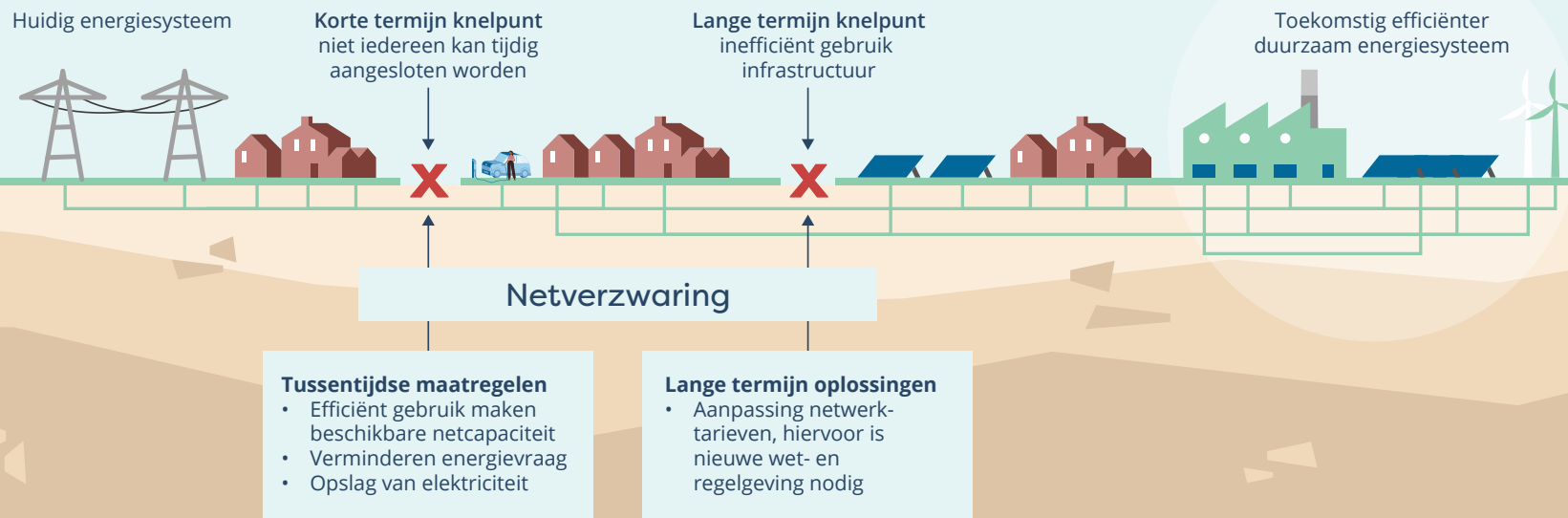
### Goede afspraken nodig om positieve bijdrage aan netproblemen te waarborgen

De huidige inzet van opslag draagt echter niet automatisch bij aan het voorkomen van congestie. Sterker nog: zonder verdere afspraken kan dit juist bijdragen aan congestie. Het kan bijvoorbeeld lucratief zijn om de opslag op te laden om zo het landelijke net in balans te houden, terwijl het lokale net op dat

moment al zwaar belast wordt. Wanneer opslag met reguliere contractvormen wordt aangesloten moet een netbeheerder altijd capaciteit beschikbaar houden. Ook voor opslagsystemen moet het net dan dus verzwared worden, terwijl zij juist kunnen helpen bij congestie.

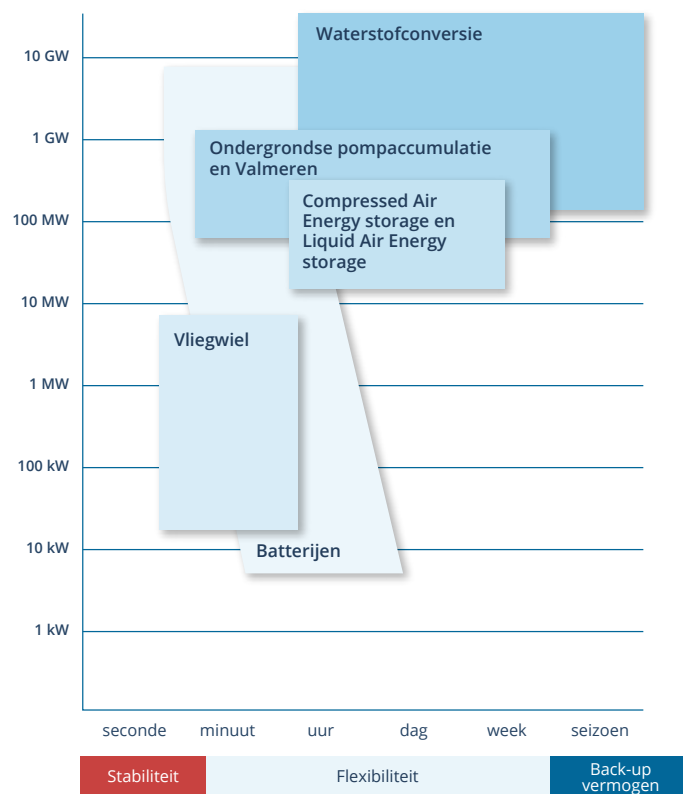
Het beleid dat ervoor moet zorgen dat opslag de congestie niet verder verergert, is op dit moment in ontwikkeling. Een mogelijke oplossing is dat netbeheerders afspraken maken met exploitanten van opslagsystemen om niet op te laden tijdens bepaalde uren (tijdsgebonden contract). Netbeheerders experimenteren al met dit type afspraken, vooruitlopend op aanpassing van de wet- en regelgeving die dit juridisch mogelijk maakt.

Voor meer informatie over netcongestie, lees de rapportage [Het net slimmer benut!](#) Of de [factsheet van de netbeheerders](#).



## Welke rol voor welk type opslag?

Onderstaande figuur laat zien wat het typische vermogen is per type opslagsysteem en hoe lang het systeem elektriciteit kan leveren op vol vermogen. Een techniek met een lange opslagduur kan ook kort vermogen leveren, maar andersom kan dat niet.



**Netbalancering** vindt op de korte termijn plaats, met opslagsystemen die vaak hoogstens een paar uur elektriciteit kunnen leveren voordat ze leeg zijn. Het is belangrijk dat het systeem tegen lage kosten een hoog vermogen kan leveren. [Vliegwielen](#) en [batterijen](#) zijn hier erg geschikt voor.

**Arbitrage** vraagt om een opslagduur van ergens tussen de 2 en de 8 uur. Dit betreft technieken die wat hogere kosten per eenheid vermogen hebben, maar lagere kosten hebben om de energie op te slaan. [Batterijen](#), [compressed air storage](#), [liquid air storage](#) en [O-PAC](#) zijn hier erg geschikt voor. De laatste drie kunnen minder snel reageren dan vliegwielen en batterijen.

**Backupvermogen** voor langdurige tekorten vraagt om technieken die grote hoeveelheden energie kunnen opslaan tegen lage kosten. [Tijdelijke conversie](#) (bijv. naar waterstof) is hier uitermate geschikt voor. Langdurige opslag in stuwmeren is ook een mogelijkheid, maar daar is Nederland niet geschikt voor. Bijna elke opslagtechniek is technisch geschikt om energie voor lange tijd op te slaan, maar veel technieken zijn hier te duur voor.

## De business case van opslag

Opslagsystemen kunnen flexibel opereren en verschillende functies tegelijkertijd vervullen, op verschillende markten. Een opslagsysteem kan bijvoorbeeld 's ochtends TenneT helpen de netfrequentie stabiel te houden, 's middags goedkoop opladen met zonnestroom en 's avonds de regionale netbeheerder helpen congestie te voorkomen door te ontladen. Het opslagsysteem wordt zo ingezet dat de winst maximaal is. Momenteel is netbalancering de belangrijkste inkomstenbron van opslagsystemen in Nederland. Naarmate er meer systemen komen, die ook groter zijn en energie langer opslaan, zullen de rollen van arbitrage, back-up vermogen en het verhelpen van regionale congestie ook belangrijker worden.



## 4. Wat kun je als lokale overheid met opslag?

De opslag van elektriciteit gaat in het nieuwe energiesysteem een belangrijkere rol vervullen. Op dit moment krijgen gemeenten dan ook al te maken met verschillende plannen van ontwikkelaars voor opslagsystemen, zeker in gebieden met netcongestie. Het oplossen van netcongestie is de primaire taak van de netbeheerders (zie hoofdstuk 2), maar ook gemeenten hebben hier een rol te vervullen. Bovendien is het voorkomen van netcongestie van belang voor het behalen van de RES-doelstellingen.

De rol van een lokale overheid bestaat deels uit de formele bevoegdheden vanuit ruimtelijke ordening en veiligheid, maar hiernaast kan een lokale overheid initiatieven faciliteren. Waterschappen hebben als beheerder van hun eigen assets een andere rol, en kunnen zelf initiatief nemen tot het plaatsen van opslagsystemen.

### Borg de mogelijkheden voor opslag in het omgevingsplan

Lokale overheden hebben een wettelijke taak vanuit het ruimtelijke instrumentarium. Het plaatsen en gebruiken van opslagsystemen heeft impact op de fysieke leefomgeving. Ze vragen ruimte en er kunnen veiligheidsaspecten spelen. Wanneer u elektriciteitsopslag wilt inzetten, is het dus van belang om dit mee te nemen in het ontwerp van nieuwe wijken (stedenbouwkundig plan) en in de bestaande situatie bij de herinrichting van de openbare ruimte. Daarnaast zijn in sommige gevallen vergunningen of ruimtelijke toetsen nodig voordat een opslagsysteem geplaatst kan worden. Het is belangrijk om hier rekening mee te houden. In de komende periode doen we hiermee ervaring op – het NP RES zal deze verzamelen en meenemen in verdere kennisdeling.

#### Uitgangspunten bij de advisering over veiligheid

Het Nederlands Instituut Publieke Veiligheid heeft een korte factsheet met de belangrijkste aandachtspunten voor de energietransitie opgesteld. Deze is [hier](#) te vinden.

Opslagsystemen worden over het algemeen geplaatst voor een duur van meer dan 20 jaar en hebben daarmee een permanent ruimtegebruik. Gemeenten kunnen in het omgevingsplan regels opnemen voor het plaatsen van opslagsystemen en de locaties waar dit wel of niet is toegestaan.

### Gebruik eventuele grondposities

Wanneer je als gemeente zelf een grond in eigendom hebt, is het mogelijk om eisen te stellen aan toekomstige gebruikers over het plaatsen van opslagsystemen bij grote gebruikers van elektriciteit of bij zonnevelden/windmolens. Hierbij is het van belang om met de netbeheerder af te stemmen of het plaatsen van een opslagsysteem daadwerkelijk voordelen met zich meebrengt.

### Stem met elkaar af in de regio

Opslag is niet op alle plekken een in het elektriciteitsnet een oplossing. Samen met de netbeheerder kan een RES regio onderzoeken waar knelpunten in het huidige elektriciteitsnet zijn of in de toekomst kunnen ontstaan, rekening houdend met de opgave die er ook op andere vlakken (woningbouw, mobiliteit, natuur, bedrijventerreinen, etc) ligt.

De jaarlijkse netimpactberekeningen van de netbeheerders die plaatsvinden in alle RES-regio's geven een goede aanleiding voor deze afstemming, net zoals de afstemming binnen het provinciaal Meerjarenprogramma Infrastructuur Energie en Klimaat (pMIEK).

### Faciliteer initiatiefnemers

Overheden kunnen partijen helpen met het nemen van juiste keuzes bij netcongestie. Dit kan bijvoorbeeld door een adviseur in dienst te nemen die partijen helpt bij het nadenken over alternatieve energiesystemen (waaronder opslag) bij netcongestie. Deze adviseur kan ook helpen om plannen van bijvoorbeeld bedrijven concreter te maken, zodat een netbeheerder rekening kan houden met deze plannen bij diens investeringsplanning.

### De rol van waterschappen

Waterschappen hebben eigen assets waar steeds vaker energie wordt opgewekt. Bijvoorbeeld door de inzet van biogas of zonnepanelen op hun eigen terreinen. De zuiveringsterreinen van waterschappen hebben een industriefunctie, wat het mogelijk maakt om relatief eenvoudig elektriciteitsopslagsystemen te realiseren.



Een voorbeeld hiervan is het realiseren van een waterstof-elektrolyser om stroom van zonnepanelen om te zetten in waterstof en pure zuurstof. De waterstof kan gebruikt worden door derden. De elektrolyser heeft warmte en pure zuurstof als restproducten die ingezet kunnen worden op de zuivering. Hiermee kan 50% energie worden bespaard, doordat veel minder elektriciteit nodig is voor de beluchting. Momenteel voert het Waterschap Drents Overijsselse Delta een proef uit met deze techniek.

## 5. Overzicht

### Uitleg tabel

#### Hoe gebruik je deze tabel?

De tabel op de volgende pagina geeft inzicht in de technische aspecten van verschillende vormen van opslag.

Partijen die behoefte hebben aan een vorm van elektriciteitsopslag kunnen deze tabel gebruiken om een keuze te maken voor een opslagtechniek. Dit kan door de onderstaande vragen te beantwoorden:

- Hoeveel energie wil ik opslaan?
- Welk vermogen heb ik nodig?
- Wat zijn de kosten die ik over heb voor het systeem?
- Wanneer wil ik het systeem gerealiseerd hebben?

Daarnaast geeft de tabel inzicht in het ruimtebeslag en de belangrijkste veiligheidsaspecten van de verschillende technieken. Deze aspecten zijn met name interessant voor overheden.

### Uitleg van de termen

#### Vermogen en capaciteit

Watt (W) en Wattuur (Wh) lijken op elkaar, maar zijn toch verschillend. Watt is het *vermogen*: dit is hoeveel energie een apparaat nodig heeft om te werken per tijdseenheid. Wattuur is een maat voor de hoeveelheid *energie* die wordt verbruikt, opgeslagen of geleverd: Een elektrische kachel met een vermogen van 1 kW die een uur aan staat, heeft 1 kWh verbruikt. Een batterij met een capaciteit van 5 kWh kan 5 uur stroom leveren op een vermogen van 1 kW.

#### Tijdsduur ontladen op vol vermogen

Hoe lang duurt het op- of ontladen van de opslag als deze op vol vermogen opgeladen of ontladen wordt? Deze tijdsduur staat los van hoe lang de energie opgeslagen kan blijven. Een voorbeeld: een opslag met een vermogen van 1 MW en een capaciteit van 6 MWh doet er 6 uur over om op te laden met het maximale vermogen van 1 MW. De energie kan vervolgens meerdere uren, dagen of zelfs maanden opgeslagen blijven, afhankelijk van de techniek. Vervolgens duurt het weer 6 uur om de opslag te ontladen met 1 MW.

#### Toepasbaarheid

Kan deze techniek worden ingezet op het hoogspannings- middenspannings- of laagspanningsnet, of bij een individuele woning of bedrijf?

#### Realisatie voor 2030

Is het technisch mogelijk om een project met dit opslagsysteem uiterlijk in 2030 te realiseren als nu gestart wordt?

#### Investeringskosten

Dit zijn de kosten (in euro) die nodig zijn om één MWh aan opslagcapaciteit te realiseren.

*Let op!:* Opslagcapaciteit kan over de levensloop van een systeem vele malen worden benut. Dit getal geeft dan ook geen beeld van de kosten van opslag zelf. Die zijn afhankelijk van levensduur, onderhoudskosten, et cetera.

#### Efficiëntie

De efficiëntie of het rendement beschrijft hoeveel energie er verloren gaat tussen het opladen en ontladen van de opslag. Bijvoorbeeld: als een opslagtechniek met een efficiëntie van 75% 100 kWh elektriciteit gebruikt om op te laden, dan komt er 75 kWh vrij als de opslag ontlaaft. De overige 25 kWh is verloren gegaan.

#### Doorlooptijd

Wat is de gemiddelde doorlooptijd van een project totdat het project operationeel is?

#### Ruimtelijke impact

We geven het ruimtebeslag weer van een installatie om 1 MWh op te slaan. Er is hierbij niet gekeken naar de ruimtelijke impact van materiaalgebruik, grondstoffenwinning, netinfrastructuur et cetera).

#### Veiligheidsaspecten

Waar bekend noemen we de belangrijkste veiligheidsaspecten of verwijzen we naar documenten die deze aspecten verder uitwerken.

## Uitkomsten

Overzichtstabel met per techniek de belangrijkste kentallen op een rij.

	Batterijsystemen				
	Huidige technieken			Innovatieve technieken	
	Thuisbatterij	Grote batterij bij opwekker/ verbruiker	Gridbatterij	Flowbatterij	Zoutwaterbatterij
Vermogen	2 - 10 kW (0,002 – 0,01 MW)	0,3 - 10 MW	ca 0,3 - 3MW (buurtbatterij), 5 - 1000+ MW (grote gridbat- terij).	1 - 100 MW	Enkele kilowatten
Capaciteit	2 - 40 KWh	0,3 - 40 MWh	0,6 - 1000+ MWh	1 - 1000+ MWh	1-100 kWh
Tijdsduur ontladen op vol vermogen	1 - 4 uur	1 - 4 uur	2 - 4 uur	4 - 100 uur	2 uur en meer
Toepasbaarheid op schaalniveau	Woningniveau	Alle niveaus	Van buurtniveau tot hoog- spanningsnet	Alle niveaus	Alle niveaus
Technische realisatie voor 2030	Zeker te realiseren	Zeker te realiseren	Zeker te realiseren	Zeker te realiseren	Mogelijk te realiseren
Investeringskosten	ca. 700 – 1200 €/kWh plus 500- 1000 € installatiekosten.	500 €/kWh (stationaire batterij, >1 MW) tot 700 €/kWh (mobiele batterij)	ca. 700 €/kWh voor buurtbat- terij, ca. 380 €/kWh voor grote gridbatterij (60 MW, 240 MWh)	ca. 500 €/kWh	Duurder dan lithium-ion, geen betrouwbare kosten- schatting beschikbaar.
Efficiëntie	ca. 90%	ca. 90%	Ca. 85%	ca. 70%	80-90%, afhankelijk van laadsnelheid
Doorlooptijd	<1 jaar	1 - 2 jaar	1 - 2 jaar	1 - 2 jaar als techniek een- maal beschikbaar is	1 - 2 jaar als techniek een- maal beschikbaar is
Ruimtelijke impact	< 1 m <sup>2</sup> , past meestal in meter- kast	30 - 80 m <sup>2</sup> /MWh	ca. 25 m <sup>2</sup> /MWh voor gridbat- terij	ca. 10 m <sup>2</sup> per MWh	Geen betrouwbare cijfers, maar fors groter ruimtebe- slag dan lithium-ion.
Veiligheidsaspecten	Brandveiligheid bij oudere ty- pes lithium-ion (NMC). De nieu- wre lithium-ijzer-fosfaat (LFP) batterijen zijn veel veiliger.	Er is een circulaire beschikbaar met veiligheidsvoorschriften, in afwachting van de PGS37-2. Brandveiligheid is het voornaamste aandachtspunt. Voor realisatie van buurtbatterijen is een NEN- norm opgesteld.		Nog geen normen. Veiliger dan lithium-ion, want com- ponenten zijn vloeibaar en niet ontvlambaar.	Geen, bevat enkel zout water.

	Innovatie				
	Waterstofconversie	Compressed air energy storage	Liquid air energy storage	Ondergrondse pompaccumulatiecentrale (O-PAC)	Vliegwielen
Vermogen	1 MW – 10 GW	100-300 MW	100 – 300 MW	1,4 GW	1 MW
Capaciteit	0,125 tot 0,25 TWh	400 – 4000 MWh	600 – 10.000+ MWh	8,4 GWh	30 kWh
Tijdsduur ontladen op vol vermogen	Enkele dagen tot enkele maanden	6 tot 12 uur	6 uur en langer	6 uur	Enkele minuten
Toepasbaarheid op schaalniveau	Middenspanningsnet - hoogspanningsnet	Hoogspanningsnet	Hoogspanningsnet	Hoogspanningsnet	Laagspanningsnet
Technische realisatie voor 2030	Zeker te realiseren	Zeker te realiseren	Vermoedelijk te realiseren	Ja, mits start in 2023	Zeker te realiseren
Investeringskosten	Onbekend <sup>6</sup>	150 €/kWh	300 – 600 €/kWh	41€/MWh	200 – 250 €/kWh afhankelijk van het materiaal
Efficiëntie	~40%	D-CAES: 60%, AA-CAES: 70%	70 - 80%	80%	92%
Doorlooptijd	2-5 jaar bij bestaande caverne, >5 jaar als nieuwe caverne nodig is	2-5 jaar bij bestaande caverne, >5 jaar als nieuwe caverne nodig is	2-5 jaar	>5 jaar	1-2 jaar
Ruimtelijke impact	7 m <sup>2</sup> /MWh	11 m <sup>2</sup> /MWh	16 m <sup>2</sup> /MWh	Ruimte voor waterreservoir bovengronds, verder met name impact in de ondergrond	533 m <sup>2</sup> per MWh
Veiligheidsaspecten	Mogelijk risico op bodemdaling, seismiciteit of lekkage van waterstof ondergronds	Kans op verzakking van de bodem en seismische activiteiten	Ontvlammings- en explosiegevaar van zuurstof in extreem gekoelde lucht, maar vergeleken met vloeibaar aardgas is dit risico een stuk kleiner. Als het verwarmen van de lucht met duurzame energie gedaan wordt, stoot LAES geen CO2 uit.	Bodem moet geschikt zijn	Veilig en haast geruisloos

6 We kiezen er hier bewust voor om geen getal te noemen voor de investeringskosten voor waterstofopslag. Deze liggen namelijk veel lager dan bij andere technieken. Daardoor zou de (onterechte) indruk kunnen ontstaan dat het goedkoop is om elektriciteit op te slaan in waterstof, terwijl dat door de hoge energieverliezen zeker niet het geval is.

## 6. Batterijopslag

### Wat is het?

Een batterij slaat elektriciteit op door middel van een omkeerbare chemische reactie.

### Verschillende varianten

Batterijen kunnen op verschillende plekken in het systeem ingezet worden. We maken onderscheid tussen de volgende types:

- Thuisbatterij bij een huishouden
- Grote batterij bij opwekker/verbruiker
- Gridbatterij met zijn eigen aansluiting
- Tot slot kijken we naar innovatieve batterijconcepten.

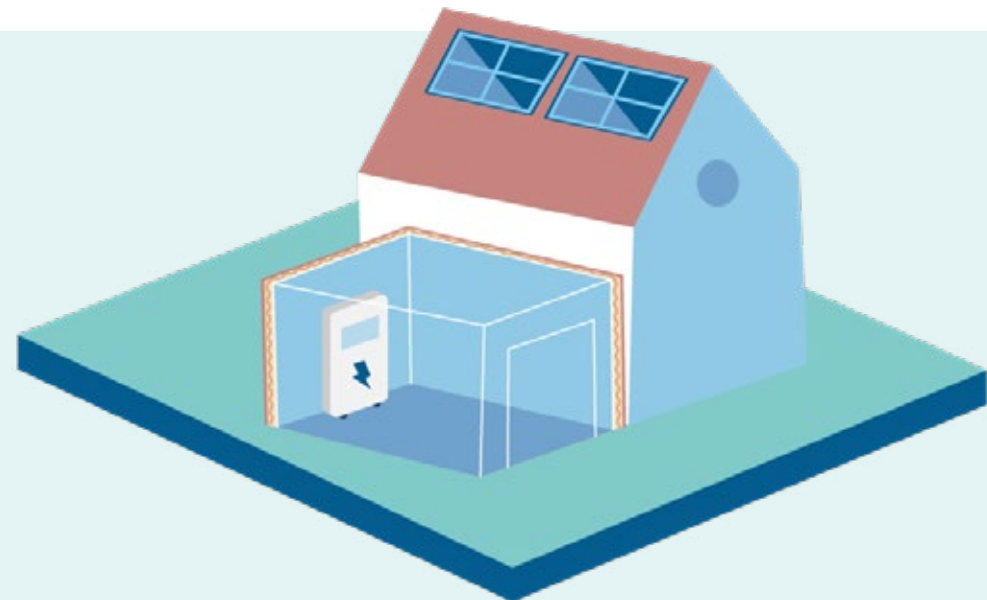
Op de volgende pagina's werken we deze varianten verder uit.

### Verschillende technieken

Batterijen verschillen niet alleen in de plek waar ze worden ingezet, maar ook in de batterijtechniek. De lithium-ion batterij is het meest gangbaar en momenteel voor de meeste toepassingen het goedkoopst. In de factsheets gaan we daarom steeds uit van lithium-ion batterijen. In de factsheet 'innovatie' behandelen we enkele opkomende batterijtechnieken.

### Veiligheid van lithium-ion batterijen

Lithium-ion batterijen kennen verschillende risico's. Wat de meeste lithium-ion batterijen met elkaar gemeen hebben is dat zij instabiel kunnen worden bij overladen, volledig ontladen, hoge én lage temperaturen en schade aan de batterij. Dit kan in het ergste geval leiden tot kortsluiting, oververhitting en brand waarbij zeer giftige stoffen vrijkomen. Om deze reden wordt er gewerkt aan een veiligheidsrichtlijn voor energieopslagsystemen met lithium-ion batterijen. Het concept van deze richtlijn staat [hier](#). De concept richtlijn bevat eisen over de constructie, de plaatsing en het benodigde onderhoud van de batterijen.



## Thuisbatterijen

### Wat is het?

De thuisbatterij is een kleine batterij die achter de elektriciteitsmeter wordt geplaatst bij huishoudens of kleine bedrijven. De batterij heeft voldoende opslagcapaciteit om een paar uur tot een dag te overbruggen.

Het voornaamste voordeel voor de gebruiker is dat het eigen verbruik van zelf opgewekte zonne-energie kan worden verhoogd. Bovendien kunnen gebruikers die een dynamisch energiecontract hebben (waarbij de prijzen fluctueren gedurende de dag) elektriciteit inkopen tegen gunstige tarieven.

### Kenmerken

	Criterion
Vermogen	2 – 10 kW (0,002 – 0,01 MW)
Capaciteit	2 - 40 kWh
Tijdsduur ontladen op vol vermogen	1 – 4 uur
Toepasbaarheid op schaalniveau	Woningniveau
Technische realisatie voor 2030	Zeker te realiseren
Investeringskosten	ca. 700 – 1200 €/kWh <sup>7</sup> plus 500-1000 € installatiekosten.
Efficiëntie	ca. 90%
Doorlooptijd	<1 jaar
Ruimtelijke impact	< 1 m <sup>2</sup> , past meestal in meterkast
Veiligheidsaspecten	Brandgevaar bij oudere types lithium-ion (NMC). De nieuwere lithium-ijzer-fosfaat (LFP) batterijen zijn veiliger, maar kennen nog steeds dezelfde veiligheidsrisico's als NMC. <sup>8</sup> De plek van de thuisbatterij in de meterkast kan vanuit veiligheidsaspecten onwenselijk zijn, aangezien deze zich vaak naast de voordeur, en daarmee op de vluchtweg bevindt.

7 <https://www.thuisbatterij.be/prijs>

8 <https://nipv.nl/wp-content/uploads/2022/03/20210301-IFV-LIOGS-VRH-Veiligheidsprincipes-kleinschalige-EOSen.pdf>



### Waar is het toepasbaar?

Thuisbatterijen zijn toepasbaar in ieder huishouden met genoeg ruimte om de batterij te plaatsen.

Een thuisbatterij is het meest rendabel in combinatie met zonnepanelen. Het voornaamste doel van een thuisbatterij is zo veel mogelijk zonnestroom zelf gebruiken. Dat biedt ook voordelen voor het energiesysteem, omdat er energie van de middag (hoog aanbod van energie) wordt verplaatst naar de avond (hoge energievraag), wat de pieken op het net vermindert.

### Voorbeeld



Figuur 1 – Omvormer voor zonnepanelen (boven) en 10 kWh thuisbatterij (onder)

Bron: Q-home

### Knelpunten

Het voornaamste knelpunt voor de thuisbatterij is financieel: de salderingsregeling. Met de salderingsregeling maakt het niet uit of zonnestroom direct zelf wordt verbruikt of eerst aan het net wordt teruggeleverd en later gebruikt. De batterij biedt dan nog een klein voordeel omdat elektriciteit met een dynamisch contract goedkoper kan worden ingekocht, maar dat is (lang) niet genoeg voor een rendabele businesscase.

In de toekomst zal het salderen worden afgebouwd en zullen ook de kosten van de batterijen verder dalen, waardoor er wel een businesscase ontstaat. Daarnaast onderzoeken netbeheerders een aanpassing in de nettarieven voor kleinverbruikers, zodat zij gestimuleerd worden om hun piekvraag te beperken.





## Grote batterij bij opwekker/verbruiker

### Wat is het?

Een grote batterij wordt geplaatst bij een bedrijf, een zonnepark of een windpark. Deze batterij is vrijwel dezelfde als de thuisbatterij, maar dan met een (veel) groter vermogen. De batterijen bestaan uit modulaire elementen: een grotere batterij wordt gemaakt door meerdere kleine batterijen te combineren.

De business case van de grote batterij is beter dan die van de thuisbatterij. Dit heeft meerdere redenen:

1. Grote batterijen zijn per kWh opslagcapaciteit goedkoper door schaalvoordelen;
2. Grootverbruikers mogen opwek niet wegstrepen tegen verbruik (kleinverbruikers hebben de salderingsregeling);
3. Grotere afnemers betalen een hoger nettatarief als ze meer netcapaciteit gebruiken. Een batterij beperkt deze kosten;
4. Grotere batterijen kunnen makkelijker ingezet worden om de netfrequentie stabiel te houden, waar TenneT hoge vergoedingen voor betaalt.

### Kenmerken

	Criterium
Vermogen	0,3 – 10 MW
Capaciteit	0,3 – 40 MWh
Tijdsduur ontladen op vol vermogen	1 – 4 uur
Toepasbaarheid op schaalniveau	Alle niveaus: van bedrijfsniveau tot hoogspanningsnet
Technische realisatie voor 2030	Zeker te realiseren
Investeringskosten	500 €/kWh (stationaire batterij, >1 MW) tot 700 €/kWh (mobiele batterij) <sup>9</sup>
Efficiëntie	ca. 90%
Doorlooptijd	1-2 jaar
Ruimtelijke impact	30 – 80 m <sup>2</sup> /MWh
Veiligheidsaspecten	Er is een regeling waarin de veiligheidsvoorschriften worden beschreven <sup>10</sup> , in afwachting van de PGS37-1. Brandveiligheid is het voornaamste aandachtspunt.

### Waar is het toepasbaar?

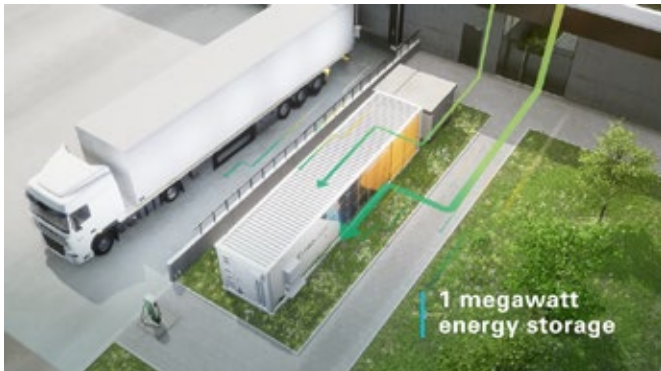
De grote batterij is toepasbaar bij bedrijven of opwekkers van hernieuwbare elektriciteit waarbij de productie of afname van elektriciteit sterk fluctueert over de dag, bijvoorbeeld een zonnepark, een snellaadstation voor mobiliteit of een bedrijf dat alleen overdag produceert. Batterijen kunnen in die toepassing de energie een paar uur verschuiven (arbitrage), het net ontlasten (congestiemanagement) en eventueel een bijdrage leveren aan het constant houden van de netfrequentie.

Bij een tekort aan beschikbare netcapaciteit kan een (tijdelijke) batterij ervoor zorgen dat bepaalde projecten of ontwikkelingen toch door kunnen gaan. Hierbij accepteren ondernemers in sommige gevallen dat de batterij meer kost dan de directe besparingen, omdat zij zonder de batterij winst door bedrijfsuitbreiding mislopen.

<sup>9</sup> <https://ce.nl/publicaties/laden-voor-logistiek-bij-beperkte-netcapaciteit/>

<sup>10</sup> <https://wetten.overheid.nl/BWBR0043769/2020-07-01>

## Voorbeeld



Figuur 2 – Artist's impression van batterij van 1 MW bij Prologis in Tilburg

Bron: Prologis



Figuur 3 – Batterijen van totaal 10 MWh bij windpark Hartelkanaal van Greenchoice

Bron: Alfen

## Knelpunten

De hoge kosten van de batterijen is de voornaamste belemmering. Ondernemers kunnen deze kosten niet rechtvaardigen als zij deze niet terugverdienen door extra inkomsten of besparingen op andere kosten. De financierbaarheid van batterijen is daarom lastig omdat de inkomsten erg onzeker zijn.

Daarnaast kan het lastig zijn om een plek te vinden voor de batterij: er moet ruimte zijn voor de batterij zelf, de batterij moet niet te ver van het aansluitpunt staan, maar moet ook voldoende afstand hebben tot andere gebouwen en voertuigen in verband met de veiligheid. Dit punt speelt met name bij bedrijven en minder bij zonneparken en windparken, die vaak wat meer afgelegen zijn.

## Gridbatterijen

### Wat is het?

Een gridbatterij gebruikt dezelfde techniek als andere batterijen, maar is op een andere plek in het energiesysteem aangesloten. De gridbatterij heeft zijn eigen aansluiting op het elektriciteitsnet, zonder verbonden te zijn met andere verbruikers of opwekkers. De gridbatterij heeft dus altijd de hele aansluiting 'voor zichzelf', zodat de netaansluiting geen beperking vormt voor de inzet van de batterij.

We bespreken twee typen gridbatterijen: de buurtbatterij en de grootschalige gridbatterij.

- Een buurtbatterij is vaak een kleinere, mobiele batterij in een zeecontainer, die in woonwijken geplaatst kan worden.
- De grootschalige gridbatterij bestaat typisch uit tientallen batterijeenheden die samen één grote batterij vormen. Dit type batterij staat vaak op een meer afgelegen locatie, met een grotere netaansluiting.

### Kenmerken

	Criterium
Vermogen	ca 0,3-3MW (buurtbatterij), 5-1000+MW (grote gridbatterij)
Capaciteit	0,6 - 1000+ MWh
Tijdsduur ontladen op vol vermogen	2-4 uur
Toepasbaarheid op schaalniveau	Van buurtniveau tot hoogspanningsnet
Technische realisatie voor 2030	Zeker te realiseren
Investeringskosten	ca. 700 €/kWh voor buurtbatterij <sup>11</sup> ca. 380 €/kWh voor grote gridbatterij (60 MW, 240 MWh) <sup>12</sup>
Efficiëntie	ca. 85%
Doorlooptijd	1-2 jaar
Ruimtelijke impact	ca. 25 m <sup>2</sup> /MWh voor gridbatterij <sup>13</sup>
Veiligheidsaspecten	Er is een circulaire beschikbaar met veiligheidsvoorschriften <sup>14</sup> , in afwachting van de PGS37-1. Brandveiligheid is het voornaamste aandachtspunt. Voor realisatie van buurtbatterij- en is een <u>NEN-norm</u> opgesteld.

### Waar is het toepasbaar?

De buurtbatterij kan in woonwijken worden ingezet om te helpen het net te ontlasten. De batterij kan vrij handelen op de energiemarkten tijdens perioden dat er wel voldoende netcapaciteit is.

De grootschalige gridbatterij wordt doorgaans vanuit zuiver commercieel oogpunt gebouwd, met als doel de batterij zo optimaal mogelijk in te zetten op meerdere verschillende markten en een zo hoog mogelijke winst te behalen. Nu betekent dat meestal dat de batterij het grootste gedeelte van de tijd wordt ingezet voor netbalancing. Zonder aanvullende maatregelen is het echter niet zeker dat de batterij bijdraagt aan het oplossen van netcongestie.

<sup>11</sup> [https://ce.nl/wp-content/uploads/2022/09/CE\\_Delft\\_220147\\_Laden\\_voor\\_logistiek\\_bij\\_beperkte\\_netcapaciteit\\_Logistiekrapport\\_def.pdf](https://ce.nl/wp-content/uploads/2022/09/CE_Delft_220147_Laden_voor_logistiek_bij_beperkte_netcapaciteit_Logistiekrapport_def.pdf)

<sup>12</sup> [https://atb.nrel.gov/electricity/2022/utility-scale\\_battery\\_storage](https://atb.nrel.gov/electricity/2022/utility-scale_battery_storage)

<sup>13</sup> Eigen analyse CE Delft o.b.v. bestaande grootschalige opslagprojecten.

<sup>14</sup> <https://wetten.overheid.nl/BWBR0043769/2020-07-01>



## Voorbeeld



Figuur 4 – Buurtbatterij in Woerden (2018, 200 kWh)<sup>15</sup>



Figuur 5 – Twee grootschalige gridbatterijen van Giga Storage: links de Giga Rhino (2020, 12 MW/7,5 MWh) en rechts de Giga Buffalo (2022, 25 MW/48 MWh)

Bron: Giga Storage

## Knelpunten

Buurtbatterijen komen moeizaam van de grond omdat ze relatief duur zijn per eenheid opgeslagen energie in vergelijking met grotere batterijen. Er is weliswaar een besparing op de kosten voor de aanleg van het elektriciteitsnet, maar deze besparing is deels nodig om de batterij-eigenaar te compenseren voor gemiste opbrengsten omdat er niet altijd vrij gehandeld kan worden.

Grootschalige gridbatterijen zijn momenteel (najaar '22) commercieel interessant en er is veel interesse vanuit marktpartijen om ze te bouwen. Het grootste probleem is om een netaansluiting te krijgen, omdat het elektriciteitsnet op veel plekken vol zit. Batterijen kunnen congestie verhelpen als ze op de goede manier worden ingezet, maar kunnen ook bijdragen aan congestie als zij geen rekening houden met de netbelasting. Netbeheerders onderzoeken momenteel verder hoe zij batterijen toch kunnen aansluiten, waarbij de netbeheerder de zekerheid heeft dat de batterij de congestie niet verergert.

15 Alfen: [Buurtbatterij van Alfen helpt slimme energiewijk in Woerden](#) | Alfen N.V.

## Innovatieve batterijtechnieken

### Andere batterijtypes

We bespreken hieronder kort enkele andere veelbesproken bestaande en toekomstige batterijtypes voor stationaire opslag.

#### Natrium-ion

Natrium-ion batterijen (sodium ion) lijken op lithium-ion batterijen, maar gebruiken veel goedkoper en minder zeldzaam natrium in plaats van lithium. Natrium-ion batterijen kunnen binnen enkele jaren competitief worden met lithium-ion en zouden een grote rol kunnen spelen voor stationaire opslag<sup>16</sup>.

#### Solid state batterijen

Solid state batterijen (letterlijk: vastestofbatterijen) bevatten geen vloeistof tussen de plus- en de minpool, maar een vaste stof. Dit resulteert in een betere levensduur, een hogere veiligheid en een hogere energiedichtheid.<sup>17</sup> Solid state lithium batterijen worden midden jaren '20 verwacht in voertuigen en enkele jaren later in stationaire toepassingen.

### Flowbatterijen

#### Wat is het?

Flowbatterijen slaan energie op in een vloeistof. De vloeistof is een chemische verbinding die een opgeladen en ontladen toestand heeft. De opgeladen en de ontladen vloeistof worden in aparte tanks opgeslagen. De batterij wordt opgeladen en ontladen door de twee vloeistoffen door een membraancel te pompen waar onder invloed van elektriciteit moleculen worden uitgewisseld.

Het grote voordeel van flowbatterijen is dat de capaciteit (MWh) en het vermogen (MW) onafhankelijk van elkaar schaalbaar zijn. Het vermogen wordt bepaald door het oppervlak van het membraan. De capaciteit wordt bepaald door de grootte van de opslagtanks. De vloeistof en tanks zijn relatief goedkoop, dus de meerkosten voor een langere opslagduur zijn beperkt.

Er zijn vele verschillende types flowbatterijen. Enkele van de meest bekende zijn de lithium-bromide batterij (LiBr) en de vanadium redox flow batterij (VRFB). De gebruikte vloeistoffen in deze batterijen zijn schadelijk voor het milieu. Er zijn veel flowbatterijen in ontwikkeling die gebruik maken van organische verbindingen die onschadelijk zijn voor het milieu.

### Kenmerken

	criterium
Vermogen	1 - 100 MW
Capaciteit	10 - 1000+ MWh
Tijdsduur ontladen op vol vermogen	4 - 100 uur
Toepasbaarheid op schaalniveau	Alle niveaus
Technische realisatie voor 2030	Zeker te realiseren
Investeringskosten	ca. 500 €/kWh <sup>18</sup>
Efficiëntie	ca. 70%
Doorlooptijd	1-2 jaar als techniek eenmaal beschikbaar is
Ruimtelijke impact	ca. 10 m <sup>2</sup> per MWh <sup>19</sup>
Veiligheidsaspecten	Nog geen normen. Andersoortig dan lithium-ion batterijen, want de componenten zijn vloeibaar en niet ontvlambaar. Flowbatterijen daarentegen bevatten veel meer toxische componenten.

16 <https://news.metal.com/newscontent/101700063/catl-will-form-a-basic-industrial-chain-of-sodium-ion-battery-by-2023>

17 <https://www.asme.org/topics-resources/content/advancing-battery-technology-for-modern-innovations>

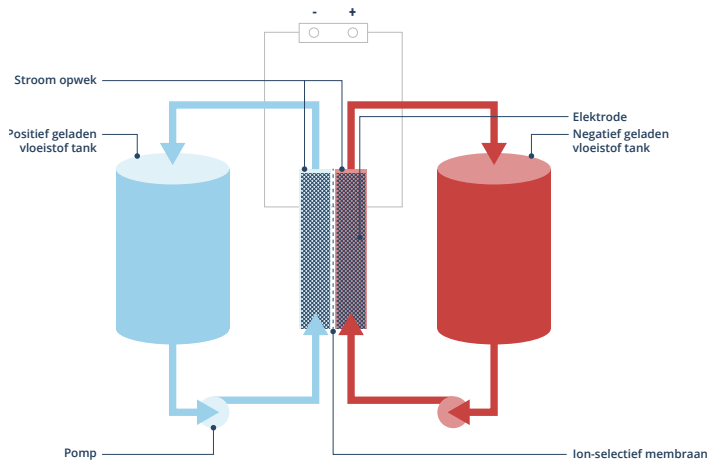
18 [https://www.pnnl.gov/sites/default/files/media/file/RedoxFlow\\_Methodology.pdf](https://www.pnnl.gov/sites/default/files/media/file/RedoxFlow_Methodology.pdf)

19 <https://techxplore.com/news/2022-09-world-largest-battery-energy-storage.html>

## Waar is het toepasbaar?

Flowbatterijen worden gezien als oplossing voor middellange termijn opslag: van ca. 4 uur tot een week. In die functie kunnen ze helpen om overschotten en tekorten over de dag te vereven, maar ook om langere perioden van aanhoudend tekort (dunkelflaute) of aanhoudend overschot (storm) te overbruggen.

## Voorbeeld



Figuur 6 – Schematische weergave van de werking van een flowbatterij

## Knelpunten

De technologie van flowbatterijen is nog sterk in ontwikkeling en er zijn nog weinig systemen ‘van de plank’ leverbaar.

Het lage rendement en de hogere investeringskosten ten opzichte van lithium-ion zorgen ervoor dat flowbatterijen op de korte termijn commercieel niet aantrekkelijk zijn. Naarmate de tijd voortschrijdt, zal de technologie verbeteren, zullen de kosten lager worden en zal de behoefte aan opslag voor langere perioden groeien.

## Zoutwaterbatterijen

### Wat is het?

Een zoutwaterbatterij gebruikt water met verschillende zoutconcentraties om elektriciteit op te slaan. Qua opbouw lijkt een zoutwaterbatterij op een flowbatterij, maar het werkingsprincipe is anders. Tijdens het opladen wordt verdund zout water in een membraancel gescheiden in zoet water en geconcentreerd zoutwater, met behulp van elektriciteit. Tijdens het ontladen worden de twee stromen weer gecombineerd tot verdund zout water, waarbij energie vrij komt.<sup>20</sup>

## Kenmerken

	Criterium
Vermogen	Enkele kilowatten
Capaciteit	1-100 kWh
Tijdsduur ontladen op vol vermogen	2 uur en meer
Toepasbaarheid op schaalniveau	Alle niveaus
Technische realisatie voor 2030	Mogelijk te realiseren
Investeringskosten	Duurder dan lithium-ion, geen betrouwbare kostenschattting beschikbaar.
Efficiëntie	80-90%, afhankelijk van laadsnelheid
Doorlooptijd	1-2 jaar als techniek eenmaal beschikbaar is
Ruimtelijke impact	Geen betrouwbare cijfers, maar fors groter ruimtebeslag dan lithium-ion.
Veiligheidsaspecten	Geen, bevat enkel zout water.

## Waar is het toepasbaar?

Voorlopig zijn er nog geen toepassingen van zoutwaterbatterijen. De techniek moet zich nog aanzienlijk verder ontwikkelen om goed in te kunnen schatten welke rol zoutwaterbatterijen kunnen vervullen.

## Voorbeeld



Figuur 7 – Zoutwaterbatterij van AquaBattery met 1 kW/7 kWh<sup>21</sup>

## Knelpunten

Zoutwaterbatterijen zijn nog sterk in ontwikkeling en alleen nog als proefinstallaties op zeer kleine schaal verkrijgbaar. De technologie zal nog verder ontwikkeld moeten worden om een goed zicht te krijgen op kosten, performance en betrouwbaarheid.

De energiedichtheid van zoutwaterbatterijen is erg laag, daardoor is het ruimtebeslag fors. Dit maakt de batterijen ruimtelijk lastig in te passen.

## Vehicle-to-grid

Vehicle-to-grid (V2G) is een techniek waarbij elektrische voertuigen elektriciteit terug kunnen leveren aan het net. Tijdelijke tekorten aan elektriciteit kunnen aangevuld worden door de batterij van heel veel voertuigen een beetje te ontladen, waardoor er grote vermogens beschikbaar komen. Dit kan pieken in de dagelijkse stroomvraag helpen opvangen.

Er zijn reeds vele succesvolle pilots geweest met V2G, maar het is nog lang geen standaard oplossing. De meeste bestaande voertuigen en laadpalen zijn nog niet geschikt voor V2G, maar steeds meer nieuwe voertuigen zijn dat wel. Naast de techniek ontbreekt het aan gestandaardiseerde protocollen om te communiceren tussen energieleverancier, netbeheerder, laadpaal en voertuig.

De batterij in een auto is een lithium-ion batterij en dus vergelijkbaar met de thuisbatterij, maar wel met een veel grotere capaciteit. Het potentieel van V2G is dan ook enorm: 1 miljoen auto's met een batterij van 50 kWh hebben gezamenlijk een capaciteit van 50 GWh. Deze auto's staan niet allemaal tegelijkertijd aan de laadpaal en willen niet allemaal hun batterij volledig legen, desalniettemin is de potentie groot.

Twee andere grote voordelen van V2G zijn:

- De meerkosten zijn beperkt: de voertuigen en de laadpalen worden sowieso al neergezet en het kost weinig extra om ze V2G-ready te maken.
- V2G vraagt geen extra ruimte.

Een mogelijk nadeel van V2G is dat de batterij van de auto sneller kan slijten.

21 <https://aquabattery.nl/product-aquabattery/>

## 7. Tijdelijke conversie (Waterstof)

### Wat is het?

Duurzame elektriciteit kan worden omgezet in groene waterstof met elektrolyse en vervolgens worden opgeslagen. Op momenten van grote vraag naar elektriciteit, wordt de waterstof omgezet naar elektriciteit met een waterstofcentrale of brandstofcel. Waterstof kan worden opgeslagen in zoutcavernes, lege gasvelden of bovengrondse opslag tanks. Gasunie werkt aan een landelijk hogedruknet voor waterstof (de 'waterstofbackbone') dat de grote industrieclusters verbindt met een opslaginstallatie in zoutcavernes.

- Opslag van waterstof kent nagenoeg geen verlies van vermogen en is van vrijwel onbeperkte omvang. Dit maakt waterstof een gunstige toepassing voor energieopslag voor langere tijdseenheden. Echter gaat bij de conversie van elektriciteit naar waterstof en vervolgens weer naar elektriciteit wel veel energie verloren, het proces heeft een laag ketenrendement (~40%).

Waterstof kan op verschillende manieren worden opgeslagen:

- Als gas, in zoutcavernes: In Nederland is opslag van waterstof mogelijk in zoutcavernes in Groningen en Noord-Drenthe, zie ook figuur 11. In Nederland is de totale capaciteit voor waterstof opslag in zoutcavernes in 2030 tussen de 0,125 tot 0,45 TWh. In 2050 zal dit tussen de 1 en 30 TWh liggen.<sup>22</sup> 1 zoutcaverne kan daarmee in theorie in de jaarlijkse elektriciteitsvraag van zo'n 80.000 Nederlandse huishoudens kunnen voorzien.
- Als gas, in lege olie- of gasvelden: Een recente studie van de NAM concludeert dat ondergrondse waterstofopslag in leeg geproduceerde gasvelden mogelijk is.<sup>23</sup>
- Als gas, in tanks: Waterstof kan onder hoge druk worden opgeslagen in bovengrondse tanks. Dit is erg duur, maar het voordeel is dat er geen verbinding met een waterstofnetwerk nodig is.
- Als vloeistof, in tanks: Waterstof kan onder druk vloeibaar worden gemaakt en opgeslagen worden in cryogene tanks. Het vloeibaar maken van waterstof is echter erg energie-intensief. Deze vorm van opslag is daarom alleen interessant als waterstof vloeibaar wordt ingezet, bijvoorbeeld in de transport- of ruimtevaartsector.

### Kenmerken

	Criterium
Vermogen	1 MW – 10 GW
Capaciteit per zoutcaverne	0,125 tot 0,25 TWh <sup>22</sup>
Tijdsduur ontladen op vol vermogen	Enkele dagen tot enkele maanden
Toepasbaarheid op schaalniveau	Middenspanningsnet - hoogspanningsnet
Technische realisatie voor 2030	Zeker te realiseren
Investeringskosten	<sup>24</sup>
Efficiëntie	~40%
Doorlooptijd	2-5 jaar bij bestaande caverne, >5 jaar als nieuwe caverne nodig is
Ruimtelijke impact	7 m <sup>2</sup> /MWh
Veiligheidsaspecten	Mogelijk risico op bodemdaling, seismiciteit of lekkage van waterstof ondergronds met bijbehorend brand- en explosierisico

<sup>22</sup> Ondergrondse Energieopslag in Nederland 2030 – 2050 - TNO

<sup>23</sup> [https://www.nam.nl/energy-transition/feasibility-of-hydrogen-storage-in-empty-gas-fields/\\_jcr\\_content/par/textimage.stream/1662481130000/eff8cfacfcc4fa4a482a71fc21df39f4429ca03d/white-paper-hydrogen-storage-finalnl.pdf](https://www.nam.nl/energy-transition/feasibility-of-hydrogen-storage-in-empty-gas-fields/_jcr_content/par/textimage.stream/1662481130000/eff8cfacfcc4fa4a482a71fc21df39f4429ca03d/white-paper-hydrogen-storage-finalnl.pdf)

<sup>24</sup> We kiezen er hier voor om bewust geen getal te noemen voor de investeringskosten voor waterstofopslag. Deze liggen namelijk veel lager dan bij andere technieken. Daardoor zou de (onterechte) indruk kunnen ontstaan dat het goedkoop is om elektriciteit op te slaan in waterstof, terwijl dat door de hoge energieverliezen zeker niet het geval is.



## Waar is het toepasbaar?

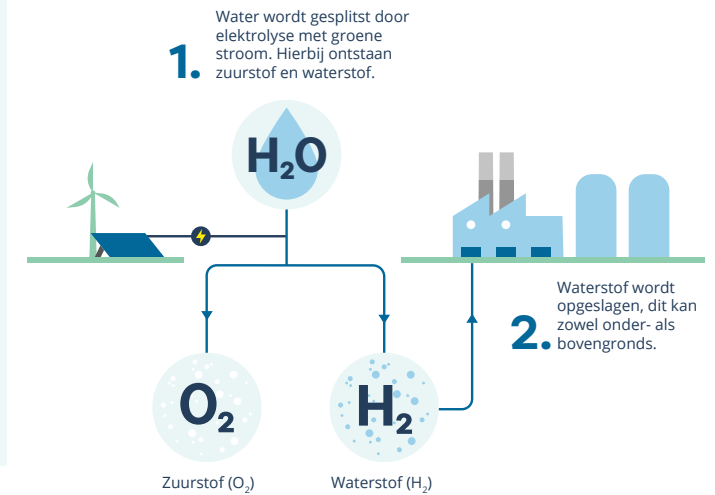
Tijdelijke conversie van waterstof is voornamelijk interessant voor seizoensopslag. Als er genoeg waterstof is opgeslagen, dan is het geen probleem om via brandstofcellen een week of een maand lang elektriciteit te leveren.

Elektrolyse is overal mogelijk, maar transport van waterstof met buisleidingen is goedkoper dan transport van elektriciteit met hoogspanningskabels. Elektrolyse kan dus het best zo dicht mogelijk bij de opwek van elektriciteit plaats vinden, zodat het net niet verzwaard hoeft te worden voor de elektrolyzers. De elektrolyzers of brandstofcellen kunnen overal staan, maar in stedelijk gebied is benutting van de restwarmte wellicht mogelijk. Voor transport van waterstof is het gewenst dat er een aansluiting is op een waterstofnetwerk, om waterstof door Nederland te transporteren.

### Hoe zit het met andere moleculen?

Energie kan ook in andere moleculen dan waterstof worden opgeslagen. Deze moleculen bestaan uit waterstof en nog een ander element, bijvoorbeeld stikstof (bij ammoniak) of koolstof (bij methanol, methaan, mierenzuur en vele andere moleculen). De waterstof wordt na elektrolyse in een chemisch proces verbonden met het andere element. Er is dus een extra installatie nodig voor deze omzetting en het kost ook extra energie. Het is dus efficiënter om waterstof direct te gebruiken als dit mogelijk is. Het voordeel van de andere moleculen is echter dat ze vaak eenvoudiger op te slaan zijn dan waterstof, wat een voordeel is voor toepassingen waarin veel energie in een beperkte ruimte moet worden opgeslagen, zoals in vliegtuigen of schepen.

## Voorbeeld



Figuur 8 – Duurzame elektriciteitsopslag in waterstof.

## Knelpunten

Het omzetten van duurzame elektriciteit in waterstof en weer terug kent een laag rendement. Waterstofopslag kan daarom het beste ingezet worden voor momenten dat er langere tijd geen of niet genoeg duurzame energie voorradig is. Bij langdurige tekorten kan met behulp van brandstofcellen relatief eenvoudig veel elektriciteit geproduceerd worden.

Ondergrondse opslag van moleculen zoals waterstof staat momenteel in de kinderschoenen en vergt aanpassing in de Mijnbouwwet.

Momenteel is opslag in zoutcavernes nog niet voorhanden, maar naar verwachting is er in 2026 een zoutcaverne gereed<sup>25</sup>, tegen die tijd is ook het eerste stuk van de backbone gereed<sup>26</sup>.

Daarnaast kent de opslag van waterstof onder de grond mogelijke risico's zoals, bodemdaling, seismiciteit of lekkage van waterstof ondergronds. Opslag in tanks is echter relatief veel duurder dan in zoutcavernes.

25 <https://www.hystock.nl/>

26 <https://www.gasunie.nl/expertise/waterstof/de-ontwikkeling-van-het-waterstofnetwerk-nederland>

## 8. Compressed Air Energy Storage

### Wat is het?

Bij Compressed Air Energy Storage (CAES, in het Nederlands persluchttopslag) wordt lucht met een elektrisch aangedreven compressor gecomprimeerd en onder hoge druk in grote ondergrondse ruimtes gepompt, vaak lege zoutcavernes. Vervolgens kan er weer elektriciteit opgewekt worden door de lucht te laten uitzetten. De lucht wordt dan opgewarmd en door een turbine geleid die een generator aandrijft. Er zijn twee manieren om dit te doen:

1. Diabatic CAES (D-CAES). Hierbij wordt de lucht opgewarmd met een externe verwarmingsbron, namelijk het verbranden van fossiele brandstoffen. In de toekomst is de verwarming ook mogelijk met verbranding van groene waterstof of elektriciteit.
2. Advanced diabatic CAES (AA-CAES). Hierbij wordt de warmte die ontstaat bij compressie opgeslagen en weer gebruikt om later de lucht op te warmen voor de opwek van elektriciteit. Dit maakt het proces efficiënter en voorkomt verwarmen met fossiele brandstoffen.

Wereldwijd zijn er een aantal commercieel operationele CAES-installaties actief. Recent is er veel interesse voor A-CAES door het toegenomen aanbod van duurzame energie, onder andere in China, Canada en de Verenigde Staten.<sup>27</sup> In Nederland wordt er momenteel gewerkt aan een D-CAES installatie (320 MW/3-4 GWh) in Groningen waarbij de lucht wordt verwarmd door verbranding van groene waterstof.<sup>28</sup>

### Kenmerken

	Criterium
Vermogen	100-300 MW
Capaciteit per installatie	400 – 4000 MWh
Tijdsduur ontladen op vol vermogen	6 tot 12 uur
Toepasbaarheid op schaalniveau	Hoogspanningsnet
Technische realisatie voor 2030	Zeker te realiseren
Investeringskosten	150 €/kWh <sup>29</sup>
Efficiëntie	D-CAES: 60% AA-CAES: 70% <sup>30</sup>
Doorlooptijd	2-5 jaar bij bestaande caverne, >5 jaar als nieuwe caverne nodig is
Ruimtelijke impact	11 m <sup>2</sup> /MWh
Veiligheidsaspecten	Kans op verzakking van de bodem en seismische activiteiten

### Waar is het toepasbaar?

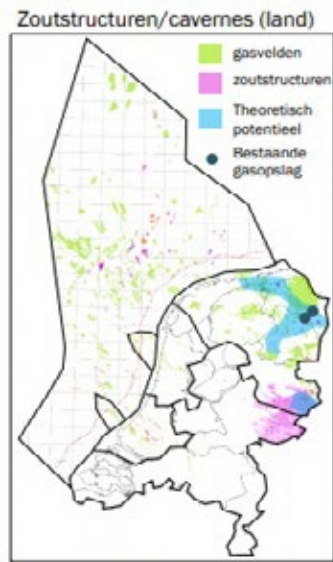
Voor CAES-installaties zijn ondergrondse ruimtes zoals lege gasvelden of zoutcavernes nodig. Zoutcavernes zijn het meest geschikt, omdat lege gasvelden te groot zijn voor een CAES installatie. TNO heeft uitgerekend dat in Nederland zo'n 321 zoutcavernes potentieel geschikt zijn voor CAES, vooral in het noorden en het oosten van het land, zoals te zien in figuur 11.<sup>30</sup> De totale opslagcapaciteit van CAES voor deze 321 zoutcavernes is zo'n 0,58 TWh. Door de specifieke ligging van de zoutcavernes moet aandacht geschonken worden aan een goede verbinding met de bestaande elektriciteitsinfrastructuur.

27 <https://www.hydrostor.ca/>

28 <https://correenergystorage.nl/>

29 <https://www.epri.com/research/products/1021939>

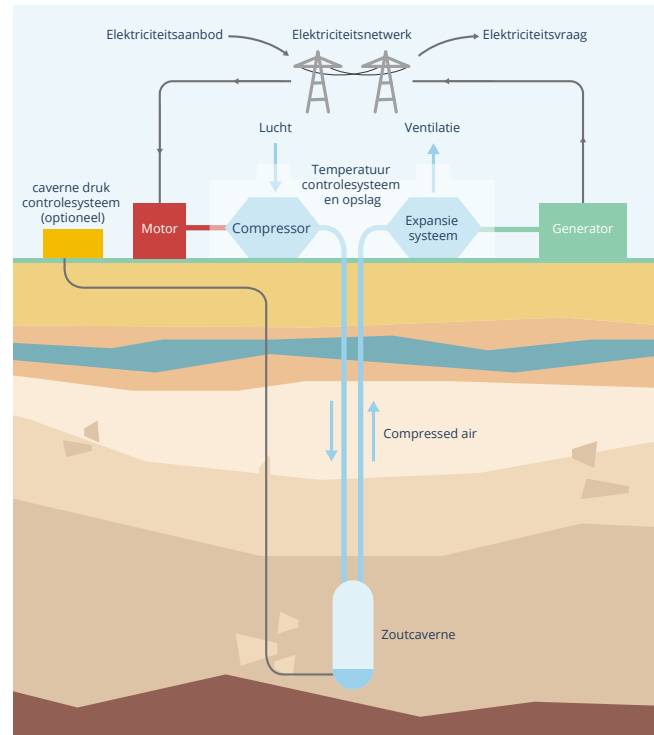
30 <https://tinyurl.com/288cz25d>



Figuur 11 – Bestaande zoutcavernes en theoretisch potentiële locaties voor zoutcavernes op land. Het blauwe gebied op de kaart geeft aan waar zoutstructureen voorkomen, in praktijk zal het niet mogelijk zijn om dit gehele gebied te exploiteren.<sup>31</sup>

CAES is een oplossing voor middellange termijn opslag: van ca. 4 uur tot een week. In die functie kan CAES helpen om overschotten en tekorten over de dag te vereffenen, maar ook om langere perioden van aanhoudend tekort (dunkelflaute) of aanhoudend overschot (storm) te overbruggen.

### Voorbeeld



Figuur 122 – Illustratie van een CAES installatie.

### Knelpunten

Voor efficiënter en duurzamer gebruik van CAES zal AA-CAES verder ontwikkeld moeten worden. Voor D-CAES zijn nauwelijks verbeteringen mogelijk en de techniek is minder rendabel dan AA-CAES. De beschikbare zoutcavernes zouden daarom het beste ingezet kunnen worden voor doorontwikkelde AA-CAES installaties.

CAES concurreert in ruimtegebruik met waterstof, wat ook opgeslagen kan worden in zoutcavernes. Vermoedelijk heeft CAES een ondergeschikte rol in nationale energievoorziening, aangezien alternatieve vormen van flexibele opslag (zoals opslag van waterstof) een beter technisch economisch potentieel hebben.<sup>32</sup>

Bij gebruik van zoutcavernes zijn er risico's voor het verzakken van de bodem en seismische activiteiten rondom zoutcavernes. Over opslag van gas in zoutcavernes is veel bekend, maar er is minder bekend over het opslaan van gecomprimeerde lucht. Hiervoor is meer praktijkervaring van belang.

31 [https://www.nlog.nl/sites/default/files/2021-10/tno2021\\_r11125\\_finalreport\\_opvis\\_20\\_technisch\\_rapport.pdf](https://www.nlog.nl/sites/default/files/2021-10/tno2021_r11125_finalreport_opvis_20_technisch_rapport.pdf)

## 9. Overige technieken

### Inleiding

In dit hoofdstuk volgen drie technieken die ook elektriciteit kunnen opslaan, maar minder ver gevorderd zijn dan de voorgaande technieken.

### Liquid Air Energy Storage

#### Wat is het?

Bij Liquid Air Energy Storage (LAES) wordt elektriciteit gebruikt om lucht (of pure stikstof) te koelen naar vloeibare vorm. Dit gebeurt bij  $-195^{\circ}\text{C}$ , LAES wordt daarom ook wel Cryogenic Energy Storage (CES) genoemd. Om de opgeslagen energie terug te winnen wordt de vloeibare lucht verdampt met warme omgevingslucht. De druk die hierbij ontstaat kan vervolgens een turbine aandrijven om elektriciteit op te wekken. Op deze manier heeft het systeem een efficiëntie van  $\sim 45\%$ . Wanneer bij verdamping gebruik wordt gemaakt van verwarmde lucht, neemt de efficiëntie toe tot  $70\%$ . De techniek is echter alleen  $\text{CO}_2$  emissie vrij als het verwarmen van de lucht met duurzame energie wordt gedaan.

De efficiëntie van LAES kan nog iets hoger liggen door deze te combineren met een koudeterugwinningssysteem, waardoor koude geleverd kan worden aan omliggende industrie<sup>32,33</sup> LAES installaties hebben een levensduur van 40 jaar met weinig tot geen achteruitgang en onderhoud.<sup>34</sup>

### Kenmerken

	criterium
Vermogen	100 – 300 MW <sup>35</sup>
Capaciteit	600 – 10.000+ MWh <sup>36</sup>
Tijdsduur ontladen op vol vermogen	6 uur en langer
Toepasbaarheid op schaal-niveau	Hoogspanningsnet
Technische realisatie voor 2030	Vermoedelijk te realiseren
Investeringskosten	300 – 600 €/kWh <sup>36</sup>
Efficiëntie	70 - 80% <sup>34</sup>
Doorlooptijd	2-5 jaar
Ruimtelijke impact	16 m <sup>2</sup> /MWh <sup>36</sup>
Veiligheidsaspecten	Ontvlammings- en explosiegevaar van zuurstof in extreem gekoelde lucht, maar vergeleken met vloeibaar aardgas is dit risico een stuk kleiner. <sup>37</sup>

32 Dit is op de meeste locaties niet mogelijk en het vermogen van LAES is vaak (veel) hoger dan de nabijgelegen koudevraag, waardoor slechts een deel van de koude benut kan worden.

33 Damak, Leducq, Hoang, Negro & Delahaye, 2020. Liquid Air Energy Storage (LAES) as a large-scale storage technology for renewable energy integration – A review of investigation studies and near perspectives of LAES. International Journal of Refrigeration, 110, 208-218.

34 <https://highviewpower.com/technology/>

35 Vecchi et al., 2021 Liquid air energy storage (LAES): A review on technology state-of-the-art, integration pathways and future perspectives - ScienceDirect

36 <https://networks.online/gas/understanding-assets/>

37 Högberg & Tholander, 2018. Evaluation of liquid air as an energy storage alternative. Stockholm, KTH

## Waar is het toepasbaar?

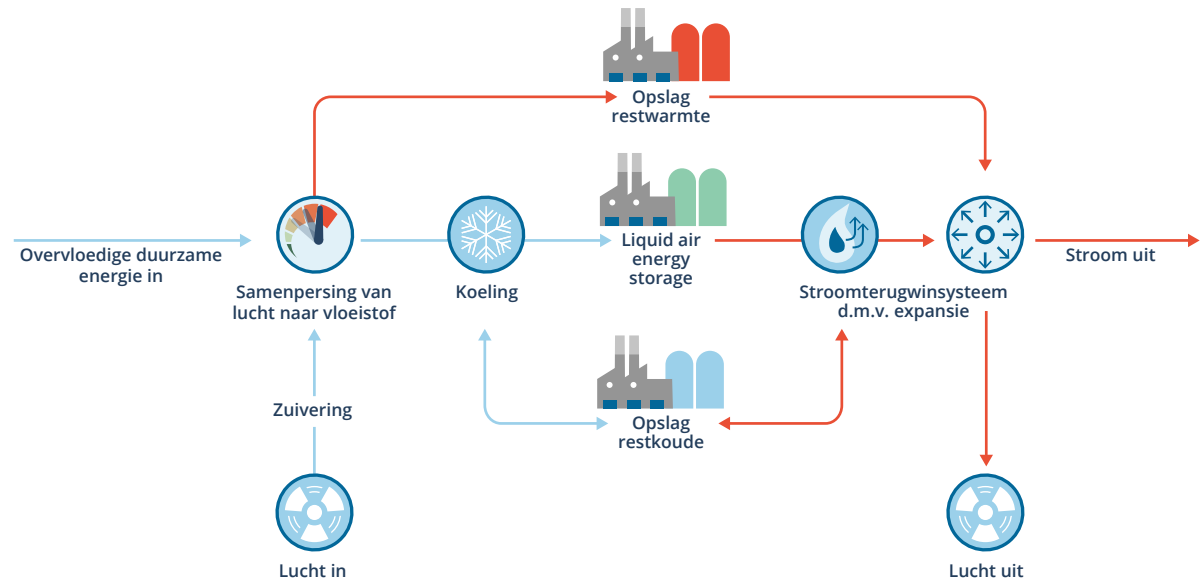
Voor de plaatsing van LAES installaties is er ruimte nodig (zo'n 4000 m<sup>2</sup>), maar de plaatsing kent geen specifieke geografische eisen. De responstijd van LAES is ongeveer een minuut. Vervolgens kan de energie voor een aantal uur tot een week opgeslagen worden. In die functie kan LAES helpen om overschotten en tekorten over de dag te vereffenen, maar ook om langere perioden van aanhoudend tekort of aanhoudend overschot te overbruggen.

## Voorbeeld



Figuur 13 - ontwerp van een LAES installatie in ontwikkeling door Highview Power in Carrington (UK)

Bron: Highview Power



Figuur 14 - Schematische weergave van LAES techniek.

## Knelpunten

Momenteel zijn er pas enkele installaties actief en is er daardoor nog geringe praktijkervaring. LAES maakt wel gebruik van bestaande technieken en materialen, waardoor grootschalige inzet vermoedelijk snel kan plaatsvinden.

## O-PAC (en valmeren)

### Wat is het?

Energie kan worden opgeslagen door water in een reservoir omhoog te pompen op het moment dat er een overschot aan elektriciteit is. Er kan elektriciteit worden opgewekt door het water vervolgens door een turbine naar beneden te laten stromen. Hoe groter het hoogteverschil tussen de waterstanden, hoe meer energie er opgewekt kan worden. In Nederland is er weinig hoogteverschil, maar kan er wel gebruik worden gemaakt van diepte. Bij een ondergrondse pompaccumulatiecentrale (O-PAC) wordt er gebruik gemaakt van een spaarbekken dat circa 1400 meter onder de grond ligt.

Een andere mogelijkheid voor opslag met waterkracht in Nederland is met kunstmatig valmeren. Hiervoor dient een groot meer van tientallen meters diep aangelegd te worden in bijvoorbeeld de zee, met daaromheen een dijk. Het water in het valmeer ligt lager dan het omliggende water. Energie kan opgeslagen worden door water uit het valmeer te pompen naar het naastgelegen hogere water. Bij een tekort kan vervolgens dit water door turbines stromen in het lager gelegen valmeer.

We leggen hier de focus op O-PAC, aangezien de investering en ruimtelijk impact van een valmeer groter zijn dan van O-PAC. Daarnaast zijn de plannen voor O-PAC verder uitwerkt en is de realisatie van O-PAC aannemelijker dan van een valmeer.

### Kenmerken O-PAC<sup>38</sup>

	Criterium
Vermogen	1,4 GW
Capaciteit	8,4 GWh
Tijdsduur ontladen op vol vermogen	6 uur
Toepasbaarheid op schaalniveau	Hoogspanningsnet
Technische realisatie voor 2030	Ja, mits start in 2023
Investeringskosten	41€/MWh
Efficiëntie	80%
Doorlooptijd	>5 jaar
Ruimtelijke impact	Ruimte voor waterreservoir bovengronds, verder met name impact in de ondergrond
Veiligheidsaspecten	Niet elke ondergrond is geschikt vanwege verzakking

### Waar is het toepasbaar?

In Nederland zijn plannen voor een O-PAC in een oude mijn-schacht in Zuid-Limburg met een vermogen van 1,4 GW en een opslagcapaciteit van 8,4 GWh.<sup>39</sup> Hiermee kan er genoeg energie worden opgeslagen om ongeveer 6 uur lang op vol vermogen te leveren. Deze centrale is vooral geschikt voor het opvangen van fluctuaties tussen vraag en aanbod binnen een dag. Het is niet geschikt voor seizoensopslag, aangezien dit niet economisch rendabel is. Naar verwachting is een O-PAC alleen in Zuid-Limburg mogelijk, vanwege de bodemsoort. Meer onderzoek naar de bodem en geologie is nodig om te bepalen wat de lokale impact is van O-PAC, ook voor eventuele andere locaties voor O-PAC.

Het idee van Delta21 voor een tientallen meters diep valmeer bij het Haringvliet betreft een geïnstalleerd vermogen van 1.8 GW. Het gecreëerde meer van ongeveer 20 km<sup>2</sup> kan 12 uur achtereen energie leveren. De geschatte realisatie kosten van Delta21 bedragen 3.7 miljard euro.<sup>40</sup>

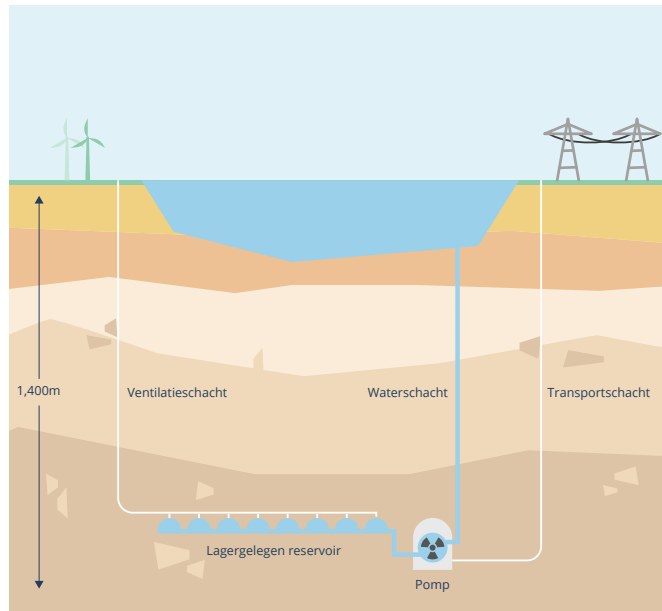
O-PAC en valmeren zijn oplossingen voor middellange termijn opslag: van ca. 4 uur tot een week. In die functie kunnen ze helpen om overschotten en tekorten over de dag te vereffenen, maar ook om langere perioden van aanhoudend tekort (dunkelflaute) of aanhoudend overschot (storm) te overbruggen.

38 <https://o-pac.nl/>

39 <https://www.topsectorenergie.nl/sites/default/files/uploads/Algemeen/Validatie%20O-PAC%20-%20gedeeltelijke%20eindrapportage.pdf>

40 <https://www.delta21.nl/>

## Voorbeeld



Figuur 15 – Schematische weergaven van O-PAC.

## Knelpunten

Van zowel O-PAC als valmeren zijn er geen gerealiseerde pilots of commercieel actieve installaties. Wel zijn er talloze vergelijkbare voorbeelden van stuwmeren in de bergen; een reguliere pompaccumulatiecentrale.

De kans op kostenoverschrijding is aanzienlijk bij deze projecten, aangezien het gaat om complexe en grootschalige installaties in de ondergrond. De kosten voor O-PAC in Zuid-Limburg worden nu ingeschat op €1.8 miljard, maar het risico op onvoorziene ontwikkelingen met hogere kosten als gevolg is aanwezig. Meer onderzoek is nodig om inzicht te krijgen in de effecten op bodem en ondergrond voor zowel O-PAC als valmeren.

Vanwege het grote voorziene vermogen (1,4 GW) is het mogelijk dat er forse uitbreidingen van het elektriciteitsnet nodig zijn richting Zuid-Limburg.



## Vliegwielen

### Wat is het?

Een vliegwiel is een wiel met grote massa die energie opslaat in rotatie-energie. Vliegwielen kennen vele toepassingen in het dagelijks leven, bijvoorbeeld in automotoren, om de trillingen van de motor te dempen. Vliegwielen kunnen ook gebruikt worden voor energieopslag voor uitsluitend korte duur. Het vliegwiel wordt met een elektromotor aangedreven en op grote snelheid gebracht. De rotatie-energie in het vliegwiel kan later omgezet worden in elektriciteit, door het vliegwiel af te remmen met de elektromotor, die ook als generator kan werken. Vliegwielen hebben een levensduur van 20 jaar en hebben weinig onderhoud nodig.<sup>41</sup>

### Kenmerken

	criterium
Vermogen	1 MW <sup>45</sup>
Capaciteit	30 kWh
Tijdsduur ontladen op vol vermogen	Enkele minuten
Toepasbaarheid op schaalniveau	Laagspanningsnet
Technische realisatie voor 2030	Zeker te realiseren
Investeringskosten	200 – 250 €/kWh <sup>42</sup> afhankelijk van het materiaal
Efficiëntie	92%
Doorlooptijd	1-2 jaar
Ruimtelijke impact	533 m <sup>2</sup> per MWh
Veiligheidsaspecten	Veilig en haast geruisloos

### Waar is het toepasbaar?

Het opslaan van energie in vliegwielen is voornamelijk voor korte tijdsschalen, aangezien ze relatief weinig energie kunnen opslaan. Dit komt door de beperkte omvang van het wiel. Het rendement is daarentegen wel weer erg hoog.

Vliegwielen zijn daarnaast goed toepasbaar bij processen die veel vermogen in een korte tijd vragen, mede door de snelle reactietijd van het vliegwiel. Dit betreft met name netbalancing en het uitvlakken van pieken van industriële installaties met een hevig fluctuerende vraag. Bijvoorbeeld bij havenkranen kan het gebruik van een vliegwiel leiden tot een kleinere aansluiting op het elektriciteitsnet.

### Toekomstige toepassingen

Vliegwielen zijn een volwassen technologie, waar geen grote verbeteringen meer te verwachten zijn. Combinaties van vliegwielen met batterijen zijn mogelijk om zowel grote vermogens te leveren als ook opslag van energie voor langere tijd.

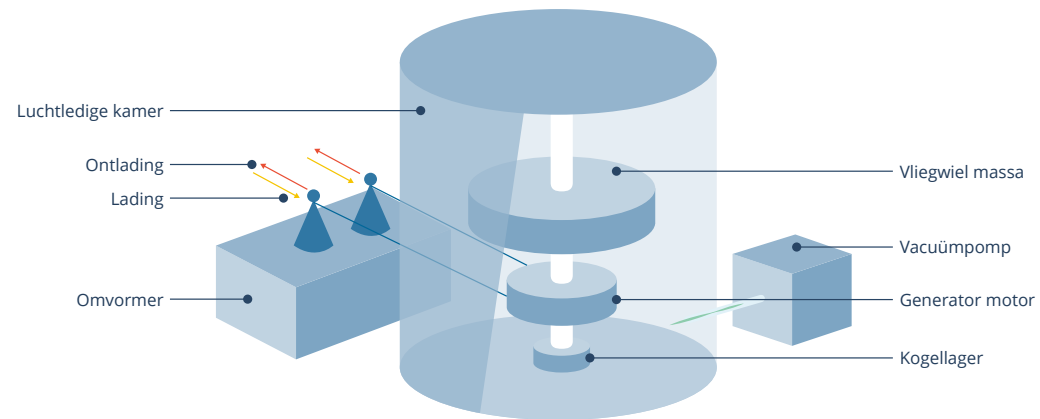
<sup>41</sup> [https://www.s4energy.nl/includes/PDF/Flyer\\_KINEXT.pdf](https://www.s4energy.nl/includes/PDF/Flyer_KINEXT.pdf)

<sup>42</sup> <https://www.pv-magazine.com/2021/06/21/concrete-flywheel-storage-system-for-residential-pv/>

## Voorbeeld



Figuur 16 – KINEXT Vliegwiel van S4 Energy BV.  
Bron: S4 Energy BV



Figuur 17 – Schematische weergave werking van een vliegwiel.  
Het vliegwiel is ongeveer 16 m<sup>2</sup>.

## Knelpunten

Voor langdurige opslag van (duurzame) energie zijn vliegwielen niet geschikt.<sup>43</sup> De inzet van vliegwielen zal daarom beperkt blijven voor energieopslag van enkele minuten voor specifieke toepassingen.

43 <https://www.wattisduurzaam.nl/7722/energie-opslaan/kort-snel/energieopslag-almelo-vliegwiel-1-megawatt/>

Nationaal Programma  
**RES** Regionale  
Energie  
Strategie

[www.regionale-energiestrategie.nl](http://www.regionale-energiestrategie.nl)

### Factsheet Opslag van elektriciteit

Deze factsheet is een publicatie van het **Nationaal Programma RES**, en is ontwikkeld in samenwerking met [CE Delft](#).

#### Versie

23 december 2022

Ontwerp

**Studio Duel, Den Haag**