

ESG & Economie

Economisch Bureau | Sustainability Research | 25 september 2024

Veel grotere rol voor energieopslag

Georgette Boele: Senior Economist Sustainability | georgette.boele@nl.abnamro.com

- Energieopslag is essentieel om te zorgen voor de nodige flexibiliteit, stabiliteit en betrouwbaarheid van het energiesysteem.
- Technologieën voor energieopslag zijn divers; de technologieën die de meeste aandacht krijgen zijn waterkrachtcentrale, batterijen en energie opgeslagen in waterstof.
- Batterijen zijn kosteneffectiever bij het leveren van kleine hoeveelheden opgeslagen energie gedurende een korte tijd bij hoge energieniveaus. Maar ze hebben ook hun uitdagingen.
- Een waterkrachtcentrale is rendabeler voor het opslaan en vrijgeven van grotere hoeveelheden opgeslagen energie, maar de technologie is afhankelijk van de geografie.
- Met waterstof kan de energie onbeperkt worden opgeslagen; maar er zijn uitdagingen op het gebied van veiligheid en efficiëntie.
- Er zijn veel andere opslagtechnologieën die een cruciale rol zouden kunnen spelen; één daarvan is thermische energieopslag.
- De EU en Nederland hebben beleidskaders voor energieopslag, maar wij denken dat een gericht beleid ter ondersteuning van opslag nodig is om de opslagdoelen te bereiken.

Inleiding

Om de uitstoot in de komende jaren versneld terug te dringen, moeten hernieuwbare energiebronnen een steeds grotere rol gaan spelen in de energiemix. Het grootste probleem met hernieuwbare energiebronnen is hun wisselvalligheid, waarbij patronen moeilijk te voorspellen zijn. Daarom is een manier om de overtollige hernieuwbare energie op te slaan voor gebruik op een later moment cruciaal. In vervolg op ons vorige rapport - Oplossingen voor opslag op netwerkschaal (zie [hier](#) voor meer informatie) - richten we ons in dit rapport op de mogelijkheden van opslag voor thuis en voor bedrijven, ook wel stationaire energieopslag genoemd. We proberen de volgende vragen te beantwoorden: Wat zijn de mogelijkheden voor stationaire energieopslag? Welke technologieën zijn beschikbaar? Wat zijn hun voor- en nadelen en wat is hun technische gereedheid? Wat is het beleid en de regelgeving met betrekking tot opslag in Nederland en de EU? Wat is de huidige capaciteit en verwachte capaciteit voor deze opslagtechnologieën? Hoeveel energie wordt er momenteel opgeslagen in de technologieën en wat is de verwachting voor 2040 en 2050? We eindigen met een conclusie.

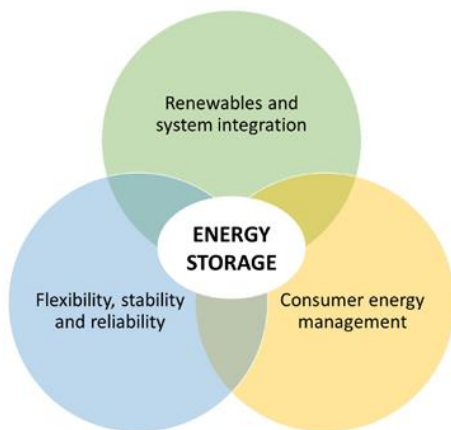
De argumenten voor stationaire energieopslag

Het steeds grotere aandeel van hernieuwbare energie in de elektriciteitsopwekking zal de behoefte om deze energie op te slaan doen toenemen. Energieopslag is de sleutel tot de nodige flexibiliteit, stabiliteit en betrouwbaarheid van het hele energiesysteem. Energieopslag kan de wisselvalligheid van hernieuwbare energie afvlakken en meer evenwicht in het net brengen. Zonder opslagbeperkingen zouden negatieve prijzen vaker voorkomen op de energiemarkten. Negatieve prijzen verminderen de levensvatbaarheid van hernieuwbare energieprojecten. Technologieën voor energieopslag zijn divers en hebben verschillende kenmerken waardoor ze geschikt zijn om veel diensten aan het energiesysteem te leveren en bij te dragen aan de doelstellingen voor het koolstofarm maken van het net. Energieopslag kan met name de integratie van hernieuwbare energie, de elektrificatie van de economie en het

koolstofvrij maken van andere economische sectoren ondersteunen. Energieopslag is daarom een belangrijke pijler van de integratie van energiesystemen. Energieopslag maakt het ook gemakkelijker voor consumenten om hun energieverbruik te beheren.

Bovendien kunnen energieopslagstechnologieën snel worden ingezet als kortetermijnmaatregel om de energiezekerheid te ondersteunen en de REPowerEU-doelstellingen te helpen bereiken. Batterijen kunnen bijvoorbeeld in minder dan een jaar worden ingezet voor stand-alone projecten of in enkele dagen voor opslag achter de meter. Dit zou bijdragen aan zowel energie-efficiëntie als vraagrespons (zie [hier](#) voor meer informatie).

De argumenten voor energieopslag



Bron: [EC staff working document Energy storage](#)

Wat zijn de mogelijkheden van opslag?

Energieopslag staat voor de uitdaging om elektrische energie om te zetten in een andere vorm, die weer omgezet kan worden in elektrische energie als er veel vraag naar is. Hierbij gaat energie verloren. De *round-trip efficiency* (RTE) van een energieopslagsysteem wordt gedefinieerd als de verhouding tussen de totale energie-output van het systeem en de totale energie-input van het systeem. Een hoge waarde betekent dat de opgelopen verliezen laag zijn. Verderop in dit document vermelden we de energie-efficiëntie van de verschillende technologieën in de tabellen. Er zijn verschillende manieren om hernieuwbare energie op te slaan: mechanisch, elektrochemisch, thermisch, elektrisch en chemisch. Eerst lichten we de bredere categorieën toe voordat we de afzonderlijke technologieën toelichten. We beginnen met mechanische energieopslag. Hieronder lichten we de technische gereedheidsniveaus voor technologieën toe, aangezien dit een belangrijk kenmerk is voor de verschillende technologieën.

Technische gereedheidsniveaus (TRL)

TRL	Beschrijving
1	Basisprincipes waargenomen technologieën
2	Geformuleerd technologieconcept
3	Experimenteel bewijs van concept
4	Technologie gevalideerd in laboratorium
5	Technologie gevalideerd in relevante omgeving (industriële relevante omgeving in het geval van sleuteltechnologieën)
6	Technologie gedemonstreerd in relevante omgeving (industriële relevante omgeving in het geval van sleuteltechnologieën)
7	Demonstratie van systeemprototype in operationele omgeving
8	Systeem compleet en gekwalificeerd
9	Werkelijk systeem bewezen in operationele omgeving (concurrerende fabricage in het geval van sleuteltechnologieën; of in de ruimte)

Bron: verschillende bronnen

Mechanische energieopslag

Mechanische energieopslagstechnologieën werken in complexe systemen die gebruik maken van warmte, water of lucht met compressoren en andere machines om beweging of zwaartekracht te gebruiken om elektriciteit op te slaan. Het proces kan worden omgekeerd om de energie terug te winnen.

De meest gebruikte grootschalige technologie voor mechanische technische opslag is waterkrachtcentrale. Deze maakt gebruik van de zwaartekrachtpotentieel van water. De potentiële energie wordt opgeslagen door water naar een hoger gelegen reservoir te pompen. De energie wordt vervolgens teruggewonnen door een waterkrachtturbine wanneer het water naar beneden wordt gelaten.

Andere technologieën zijn vliegwiel, energieopslag met perslucht en energieopslag met vloeistof (zie [hier](#) voor meer informatie). Een vliegwiel is een mechanisch apparaat dat bestaat uit een massa die rond een as draait om energieopslag in de vorm van kinetische energie mogelijk te maken. Wanneer er energie nodig is, brengt het vliegwiel rotatie-energie over naar de motor die in dit geval als generator fungeert. De rotatie-energie wordt zo terug omgezet in elektrische energie, waardoor de cyclus rond is. De hoeveelheid beschikbare energie en de duur ervan wordt geregeld door de massa en de snelheid van het vliegwiel (zie [hier](#) voor meer informatie).

Persluchttechnologie comprimeert omgevingslucht, die vervolgens wordt gekoeld en opgeslagen in een opslagreservoir. Tijdens perioden van grote vraag naar elektriciteit wordt de perslucht verwarmd en geëxpandeerd in een expansieturbine die een generator aandrijft voor de productie van energie (zie [hier](#) voor meer informatie).

Bij energieopslag met vloeibare lucht tenslotte is het laadsysteem een industriële installatie voor het vloeibaar maken van lucht, waar elektrische energie wordt gebruikt om omgevingslucht uit de omgeving af te koelen totdat deze vloeibaar wordt ("cryogeen"). De vloeibare lucht wordt dan bij lage druk opgeslagen in een geïsoleerde tank. Wanneer er stroom nodig is, werkt het afvoersysteem door vloeibare lucht uit de tank te halen. De lucht wordt dan onder hoge druk gepompt en verdampt, waarbij gasvormige lucht wordt geproduceerd die kan worden gebruikt om een zuigermotor of turbine aan te drijven om elektriciteit op te wekken (zie [hier](#) voor meer informatie).

De onderstaande tabel toont de levensduur of aantal cycli, efficiëntie, ontladingstijd, het technische gereedheidsniveau (TRL) en de voor- en nadelen van de verschillende mechanische energieopslagsystemen. De meeste van deze technologieën hebben een hoog technisch gereedheidsniveau of zijn al in gebruik en hebben een lange levensduur. De waterkrachtcentrale wordt al op grote schaal toegepast, is zeer efficiënt en heeft een grote capaciteit. Maar het is afhankelijk van de geografie en heeft een lange bouwtijd. Andere technologieën ondervangen enkele of de meeste nadelen van waterkrachtcentrale, maar hebben weer andere nadelen. Vliegwiel hebben bijvoorbeeld een hoge vermogensdichtheid, maar een lage opslagtijd. Dit is dus niet ideaal voor hoge opslagtijden.

Technologieën voor mechanische energieopslag

	Levensduur/cycli	Efficiëntie	Ontladingstijd	TRL	Voordelen	Nadelen
Waterkrachtcentrale	30-60 jaar	70-85%	4u-18u	9	Grote capaciteit Lange ontaadduur Lange levensduur Volwassen technologie Redelijk geprijsde grote opslag	Afhankelijk van geografie Lange bouwtijd Ecologische problemen
Vliegwiel energieopslag	20.000-100.000 20-30 jaar	70-95%	< 15 min	9	Lange levensduur Korte bouwtijd Onmiddellijk inzetbaar weinig onderhoud	Korte lozingsduur Kleine capaciteit Externe schokken kunnen leiden tot defecten
Opslag van energie uit samengeperste lucht	20-40 jaar	40%-70%	2u-30u	8	Kleine en grote capaciteit mogelijk Lange ontaadduur Lange levensduur	Beschikbaarheid ondergrondse cavernes Lange bouwtijd Kan verbrandingsbrandstof nodig hebben Beperkt deploment
Opslag van energie in vloeibare lucht	22.000-30.000 30-40 jaar	25%-70%	2u-24u	7-8	Hoge expansieverhouding Hoge vermogensdichtheid Ondergrondse opslag niet nodig Grote capaciteiten Lange ontaadduur	Aardgasturbine vereist

Bron: netl.doe.gov, eesi.org, energystorage.org, US Department of Energy

Batterijopslag

Elektrochemische energieopslagtechnologie is een technologie die elektrische energie en chemische energie omzet in energieopslag en vrijgeeft door middel van chemische reacties. Tijdens het ontladingsproces wordt de energie weer omgezet in elektrische energie. Elektrochemische energieopslagsystemen omvatten oplaadbare batterijen (zie [hier](#) voor meer informatie). Vooral bij kleine opslagcapaciteiten is elektrochemische opslag al lange tijd populair. In de onderstaande tabel staat een overzicht van de verschillende batterijtechnologieën die geschikt zijn voor stationaire

opslag. Lood-zuur, lithium-ion en natrium-ion accu's zijn relatief bekend (zie [hier](#) meer over lithium-ion en natrium-ion). Zink-lucht (Zn-lucht) accu's en natrium-zwavel-kamertemperatuuraccu's zijn opkomende oplaadbare accu's.

Opkomende batterijtechnologieën

We beginnen met zink-lucht-batterijen. In deze accu's oxideert zink met zuurstof in de lucht, waardoor energie wordt opgewekt. Deze unieke eigenschap, in combinatie met hun potentieel voor extreem hoge energiedichtheid, maakt ze tot een veelbelovende optie voor energieopslag van de volgende generatie. Bovendien bieden ze het voordeel dat ze kunnen worden aangevuld met vers zink en recyclebaar (zie [hier](#) voor meer informatie). Hoewel primaire zink-lucht-batterijen al enkele jaren commercieel verkrijgbaar zijn, is er nog steeds een gebrek aan oplaadbare Zn-lucht-batterijen met goede algemene prestaties. Ze hebben momenteel een beperkt vermogen en hun prestaties zijn afhankelijk van omgevingsfactoren zoals temperatuur en vochtigheid. Toekomstige commerciële toepassingen (vanaf 2030 tot 2035) voor deze batterijen zijn voor stationaire toepassingen (industrie en nutsbedrijven) en consumentenopslag. Vanwege de lage energiedichtheid in vergelijking met lithium-ionbatterijen zijn mobiele toepassingen niet de focus voor deze batterijen.

Naast zink-lucht-batterijen zijn er natrium-zwavel-kamertemperatuur-batterijen. Deze hebben ook een relatief laag technisch gereedheidsniveau (4), maar ze zouden een interessante alternatieve stationaire opslagoplossing kunnen zijn, vooral op de lange termijn (later dan 2035). Natriumzwavelaccu's met een hoge temperatuur (temperatuurbereik 300-350°C) zijn al beschikbaar voor stationaire opslag. In deze technologie is het thermisch beheersysteem cruciaal.

Batterijopslag technologieën

	Levensduur/cycli	Efficiëntie	Ontladingstijd	TRL	Voordelen	Nadelen
Loodzuur	500-3.000 cycli	70-85%	20u	9	Lage zelfontlading Presteren goed bij koude temperaturen	Lage energiedichtheid Hoge dichtheid van lood
Lithium-ion LFP	2.500 cycli	88-90%	4u	9	Hogere energiedichtheid, schaalbaar, efficiënt Risico op thermische runaway, maar lager dan andere lithium Lagere kosten, minder kritische metalen	Lagere energiedichtheid Gevoeliger voor koude temperaturen Duur
Natrium-ion accu's	15 jaar	90-95%	5u	8-9	Natrium overvloediger dan lithium Goedkoper dan lithium Lager risico op thermische runaway	Levensduur batterij Lagere energiedichtheid
Natrium-ion zoutwater accu's	3.000-10.000 10 jaar	75-98%	5u	8-9	Natrium komt meer voor dan lithium Goedkoper dan lithium Lager risico op thermische runaway	Levensduur batterij Lagere energiedichtheid
Redox flow-accu's TRL voor meest geavanceerde chemie	>10.000 cycli 20 jaar	60-90%	schaalbaar	7-9	Kan grote hoeveelheden energie opslaan Hetzelfde systeem kan worden opgewaardeerd Selectieve vervanging van de componenten Niet zeldzame metalen elektroden, zeer veilig	Lage energiedichtheid Energie-intensieve productie Beperkt bedrijfstemperatuurbereik 5-40°C
Ultracondensator	0,5-1 miljoen	80-95%		9	Hogere vermogensdichtheid Geen chemische reacties Sneller opladen, stabiel, geen zware metalen Goede temperatuurprestaties Voor laagspanningssystemen	Lage energiedichtheid Hogere zelfontlading
Natrium-zwavel accu's voor hoge temperaturen of thermische of gesmolten Na-batterij	4.000-4.500 cycli 15 jaar	70-80%	4u-6u	9	Natrium is overvloediger aanwezig dan lithium Terugwinnen wordt als relatief eenvoudig beschouwd Bronnen overal beschikbaar, onproblematische materialen	Energiedichtheid Giftig gas en ontvlambaarheid is scheidsbrekers Externe energie nodig als systeem niet in gebruik is
Zink-lucht accu's		>80%		2-4	Lage kosten Milieuvriendelijk Grote energiedichtheid Hoge theoretische energiedichtheid	Beperkt vermogen Prestaties afhankelijk van omgevingscondities Hoge veiligheid door elektrolyt op waterbasis
Natrium-zwavel accu's bij kamertemperatuur		70%		4	Natrium meer overvloedig dan lithium Potentieel zeer kosteneffectief Bronnen overal beschikbaar, onproblematische materialen	Levensduur batterij Lagere energiedichtheid Zeer reactieve Na-anode, brandbare elektrolyt

Bron: [netl.doe.gov](#), [eesi.org](#), [energystorage.org](#), IEA, [US Department of Energy, Alternative Battery Technologies Roadmap 2030+](#)

De bovenstaande tabel toont de verschillende technologieën voor elektrochemische energieopslag en hun verschillende kenmerken. De meeste technologieën hebben een efficiëntie die gelijk is aan die van waterkrachtcentrale, vliegwielen en ze hebben ook een hoog technisch gereedheidsniveau. Maar deze stationaire batterijen hebben een aanzienlijk kortere levensduur/lagere cycli. Accu's zijn kosteneffectiever voor het leveren van kleine hoeveelheden opgeslagen energie gedurende een korte tijd bij hoge energieniveaus. Waterkrachtcentrale is kosteneffectiever bij het opslaan en vrijgeven van grotere hoeveelheden opgeslagen energie.

Thermische energieopslag

Opslag van thermische energie omvat alle technologieën die het mogelijk maken om thermische energie op te vangen en op te slaan voor later gebruik. Deze vorm van energie heeft een groot potentieel, vooral in de industriële sector en bouwsector, om fossiele brandstoffen te vervangen door hernieuwbare energieoplossingen in verwarmingssystemen. Het grootste deel van de industriële energievraag bestaat uit proceswarmte die kan worden opgewekt met hernieuwbare energiebronnen en warmteopslag. Er zijn verschillende manieren om warmte op te slaan: *sensible* warmteopslag, latente warmteopslag en thermochemische warmteopslag.

We beginnen met *sensible* warmteopslagsystemen. Deze systemen verhogen of verlagen de temperatuur van een vloeibaar of vast opslagmedium om thermische energie op te slaan en af te geven. De temperatuur van de energieopslag varieert van <0°C tot 2.400°C voor een duur die kan variëren van minuten tot maanden (zie [hier](#) voor meer informatie). Er treedt geen faseverandering op. Om te garanderen dat het systeem goed werkt, is voldoende thermische isolatie vereist. De opslagmaterialen omvatten water, gesmolten zouten, grafiet en rotsen. Deze thermische opslag heeft de hoogste technische gereedheid (7-9) in vergelijking met latente warmteopslag (4-9) en thermochemische opslag (4-6).

Latente warmteopslagsystemen accumuleren thermische energie dankzij de latente warmte van het medium, wat de warmte is die nodig is om van fase te veranderen zonder dat de temperatuur verandert. Hierdoor kan warmte worden opgeslagen bij temperaturen van <0°C tot 1.600°C voor een duur van uren tot dagen (zie [hier](#) voor meer informatie). De temperatuur is constant, het laden of ontladen van de tank is gerelateerd aan een verandering van de fase van het medium (zie [hier](#) voor meer informatie). Tijdens de faseverandering, bijvoorbeeld van vast naar vloeibaar, absorbeert het materiaal energie, die vervolgens in het materiaal vastgehouden wordt als zogenaamde latente energie. Systemen voor latente warmteopslag kunnen energie opslaan zonder grote verliezen over een langere periode (zie [hier](#) voor meer informatie).

Bij thermochemische opslag wordt de energie opgeslagen als onderdeel van een endotherme reactie (een proces dat warmte opneemt uit de omgeving) in plaats van een temperatuurstijging. Thermochemische warmteopslag werkt op twee manieren: chemische reacties en sorptieprocessen. Bij de eerste wordt energie opgeslagen als reactiewarmte of omkeerbare reacties. Bij de tweede wordt thermische energie opgeslagen door adsorptie (fysieke binding) of absorptie (opname/oplossen van een materiaal). Deze technologieën kunnen thermische energie opslaan bij temperaturen van <0°C tot 900°C voor een duur van uren tot dagen.

De onderstaande tabel toont de verschillende technologieën voor thermische energieopslag en elektrische energieopslag en hun kenmerken.

Thermische energieopslag en elektrische energieopslag

Thermische energieopslag	Levensduur/cycli	Efficiëntie	Ontladingstijd	TRL	Voordelen	Nadelen
Sensitive warmteopslag		50-90%		7-9	Kosteneffectief Gerelateerd aan veranderingen in temperatuur van een gas	Grote hoeveelheden materialen en volumes Kan niet opslaan of leveren bij constante temperatuur
Latente warmteopslag				4-9	Geen grote energieverliezen Hoge opslagdichtheid Grote hoeveelheden opslaan	Duur Corrosiviteit Lage thermische geleidbaarheid
Thermochemische opslag				4-6	Weinig of geen warmteverlies Compactere systemen Hogere energiedichtheid	Duur Complex Lage efficiëntie in opslagstap
Electrische energieopslag	Levensduur/cycli	Efficiëntie	Ontladingstijd	TRL	Voordelen	Nadelen
Condensatoren	13-15 jaar	50%	Snel	9	Geen conversie van elektrische energie nodig Geen conversieverliezen Laad- en onlaadsnelheden sneller dan die van batterijen	Lagere energiedichtheid dan een batterij Hoge kosten Onmiddellijke ontlading Degradieren na verloop van tijd, kortere levenscyclus Helpt niet om spanning te stabiliseren
Supergeleidende magnetische energieopslag	20+ jaar	>95%	<8 sec	5-8	Hoog rendement Snelle reactietijden voor opladen en ontladen Hoge vermogensdichtheid	Cryogene koelingsvereisten Hoge initiële kosten Beperkt schaalbaar Hoge onderhoudsvereisten

Bron: netl.doe.gov, eesi.org, energystorage.org, [US Department of Energy](http://www.energy.gov), [European Association for storage of Energy: Thermal Energy Storage](http://www.eaenergy.org), [arrow.com](http://www.arrow.com), scientific research reports.

Elektrische energieopslag

Naast mechanische, batterij- en thermische energieopslag is er ook elektrische energieopslag. Voorbeelden zijn condensatoren, supercondensatoren (minder voor stationaire opslag, TRL van 5-8) en supergeleidende magnetische energieopslag.

Een condensator is een apparaat dat elektrische energie opslaat door elektrische ladingen op te hopen op twee dicht bij elkaar gelegen oppervlakken die van elkaar geïsoleerd zijn. Energieopslag in een condensator is gebaseerd op het handhaven van een elektrisch veld waarin de energie wordt opgeslagen. Het opladen duurt minder lang dan bij een batterij en alle energie kan zeer snel worden vrijgegeven. Condensatoren slaan energie op en verdelen deze in korte stoten, terwijl batterijen energie lineair opslaan en verdelen. Ze zijn commercieel verkrijgbaar.

Supergeleidende magnetische energieopslag is een technologie die energie opslaat zoals een batterij. De wisselstroom (AC) van een externe bron wordt eerst omgezet in gelijkstroom (DC). Het belangrijkste verschil tussen AC en DC zit in de richting waarin de elektronen stromen. Bij gelijkstroom stromen de elektronen gestaag in één richting, terwijl de elektronen bij wisselstroom steeds van richting veranderen. De gelijkstroom wordt vervolgens door de supergeleidende draad geleid om een groot elektromagnetisch veld op te wekken, dat uiteindelijk wordt gebruikt om deze energie op te slaan. Supergeleidende materialen hebben geen elektrische weerstand wanneer ze gekoeld zijn tot onder hun kritische temperatuur. Door de elektrische weerstand van nul is het magnetische veld perfect efficiënt. Zodra de supergeleidende spoel is opgeladen, zal de gelijkstroom in de spoel continu draaien zonder energieverlies, waardoor de energie perfect oneindig kan worden opgeslagen totdat het systeem opzettelijk wordt ontladen. Deze hoge efficiëntie maakt end-to-end rendementen van meer dan 95% mogelijk (zie [hier](#) voor meer informatie). Deze technologie heeft een groot potentieel, maar is nog niet op grote schaal commercieel beschikbaar.

Chemische energieopslag

Tot slot is er de opslag van chemische energie. Chemische energieopslag is energie die is opgeslagen in de vorm van chemische brandstoffen die gemakkelijk kunnen worden omgezet in mechanische, thermische of elektrische energie voor industriële toepassingen en toepassingen op het elektriciteitsnet (zie [hier](#) voor meer informatie). Voorbeelden van chemische brandstoffen zijn methaan, methanol, ammoniak en waterstof.

Met waterstof kan de energie onbeperkt worden opgeslagen. Maar waterstof kent uitdagingen (we publiceren binnenkort een rapport over waterstof). Bij de productie van hernieuwbare waterstof gaat 20-30% van de energie verloren. De waterstof moet vervolgens worden samengeperst en opgeslagen, waarbij nog eens 10% verloren gaat. Tot slot gaat er nog eens 30% verloren bij het omzetten van waterstof in elektriciteit. Als gevolg hiervan is de *round-trip* efficiëntie ongeveer 30-40%, veel lager dan die van andere opslagtechnologieën.

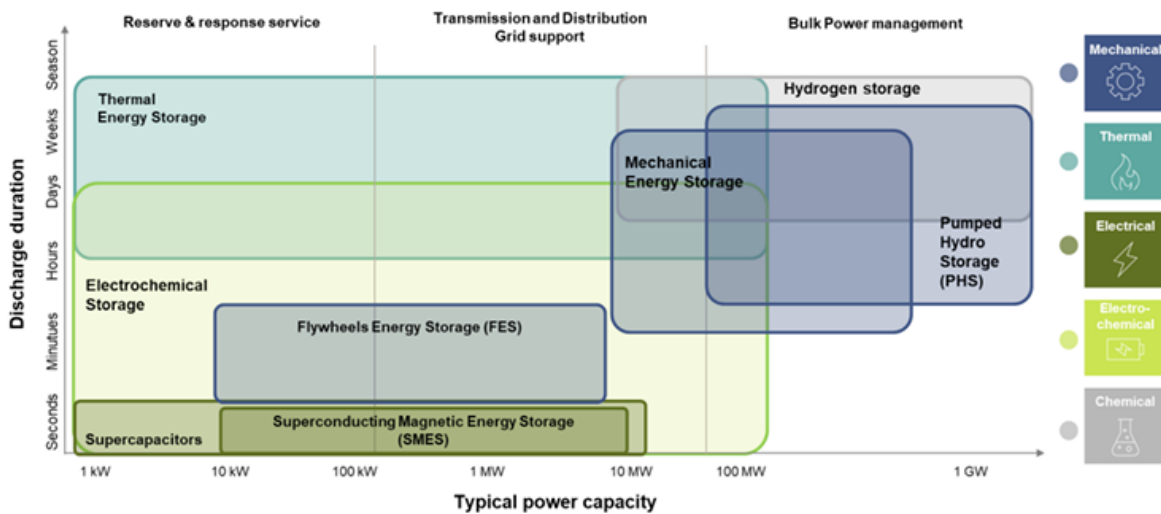
Waterstof kan fungeren als chemische energieopslag, maar het kan ook worden omgezet in methaan en ammoniak. Waterstof en afgevangen CO₂ kunnen worden gebruikt om synthetisch methaan te produceren, dat kan worden opgeslagen of gebruikt binnen het bestaande aardgasnetwerk.

In vergelijking met andere brandstoffen kan methanol gemakkelijk worden opgeslagen en getransporteerd. Het kan ook worden omgezet in een verscheidenheid aan andere chemicaliën en heeft een potentieel als transportbrandstof.

Ammoniak is een andere potentiële energiedrager. Het kan worden gevormd uit waterstof en stikstof. Er is een bestaande infrastructuur vanwege het wijdverspreide gebruik als meststof, maar het heeft ernstige veiligheidsuitdagingen. De technische gereedheidsniveaus van chemische energieopslag varieert van 6 tot 9.

De onderstaande grafiek toont een samenvatting van de opslagtechnologieën op basis van ontlaadduur en typische stroomcapaciteit. Deze kenmerken en de andere kenmerken in de tabellen hierboven bepalen de keuze van de opslagtechnologie.

Opslagtechnologieën



Bron: [EC staff working document Energy storage](#), EASE, Energy Storage Target 2030 and 2050: Ensuring Europe's Energy security in a Renewable Energy System, 2022

EU 2030 klimaatdoelen

EU beleid voor energieopslag

We hebben de argumenten voor energieopslag, de technologieën en de kenmerken van elke technologie besproken. In dit hoofdstuk richten we ons op het kader dat de EU (en vervolgens Nederland) heeft om energieopslag te ondersteunen.

Marktomstandigheden en regelgeving in elke lidstaat beïnvloeden en bepalen de inzet van energieopslag. De belangrijkste drijvende krachten in de lidstaten zijn specifieke ondersteunende diensten en ondersteunende regelingen. Bovendien hebben verschillende lidstaten een definitie van energieopslag in hun wetgevingskader opgenomen, waardoor het risico wordt verkleind dat energieopslag zowel als een consumenten- als een producentenaangelegenheid wordt behandeld. Sommige lidstaten hebben in hun nationale energie- en klimaatplannen (NECP's) ook strategieën of nationale streefcijfers voor energieopslag voor 2030 en 2050 vastgesteld om de uitrol van energieopslag op nationaal niveau te stimuleren.

In maart 2023 heeft de Europese Commissie een lijst met aanbevelingen aangenomen door te zorgen voor een grotere inzet van energieopslag (C/2023/1729) (zie [hier](#) voor meer informatie). Hierin worden de belangrijkste kwesties behandeld die bijdragen tot een bredere invoering van energieopslag. De EU-landen moeten rekening houden met de dubbele 'consument-producent'-rol van opslag door het regelgevingskader voor elektriciteit van de EU toe te passen. Dit door belemmeringen weg te nemen, inclusief het vermijden van dubbele belasting en het vergemakkelijken van vlotte vergunningsprocedures. Er is inderdaad een voorstel gedaan om de energiebelastingrichtlijn te herzien, en dit voorstel bevat een specifieke bepaling om een einde te maken aan de dubbele belasting van energieopslag. Volgens de aanbeveling moeten de EU-landen ook de flexibiliteitsbehoeften op verschillende tijdschalen in kaart brengen. Daarnaast moeten ze ervoor zorgen dat systeembeheerders deze behoeften beoordelen bij het plannen van netwerkontwikkelingen. Wat de financiering betreft, wordt voorgesteld de zichtbaarheid en de voorspelbaarheid van de inkomsten op lange termijn te verbeteren. Op deze manier wordt de toegang tot financiering vergemakkelijkt, bijvoorbeeld door opslagbeheerders toe te staan een vergoeding te ontvangen voor bepaalde diensten die zij momenteel leveren. De EU-landen moeten instrumenten overwegen, om de nodige flexibiliteit te bereiken en verbeteringen in het ontwerp van bepaalde parameters binnen de capaciteitsmechanismen. Denk bijvoorbeeld aan concurrerende aanbestedingsprocedures (in overeenstemming met de staatssteunregels).

De aanbeveling ging vergezeld van een werkdocument van de diensten van de Commissie (SWD/2023/57) (zie [hier](#) voor meer informatie) waarin werd gekeken naar de rol en de toepassing van opslag in de energietransitie, met de nadruk op de behoefte aan flexibiliteit, betrouwbaarheid en stabiliteit. Het bevatte een aantal mondiale vooruitzichten voor de invoering van opslag en een overzicht van beste praktijken.

Energieopslag vergemakkelijken

Verscheidene EU-verordeningen en -initiatieven vergemakkelijken de ontwikkeling en invoering van energieopslag als een cruciale technologie ter ondersteuning van de decarbonisatiedoelstellingen van de Europese Green Deal. In het REPowerEU-plan wordt bijvoorbeeld specifiek gewezen op het belang van energieopslag voor het waarborgen van flexibiliteit en voorzieningszekerheid in het energiesysteem. De herziene richtlijn hernieuwbare energie bevat ook specifieke bepalingen die het gebruik van elektrische voertuigen vergemakkelijken en vraagrespons en energieopslag als bron van flexibiliteit aanmoedigen, ook voor thermische energieopslag. Een ander onderdeel van het Fit-for-55-pakket is de voorgestelde herziening van de richtlijn inzake energie-efficiëntie, waarbij ook vraagrespons en energieopslag worden aangemoedigd om de efficiëntie te verhogen. Daarbovenop stimuleert de herziening van de Richtlijn Energieprestaties van Gebouwen: (i) de effectieve controle, opslag en het gebruik van energie; en (ii) de installatie van slimme oplaadinfrastructuur in gebouwen, wat vooral belangrijk is omdat elektrische voertuigen hier regelmatig en gedurende lange perioden worden geparkeerd.

Financiering van energieopslag

Overheidsfinanciering draagt bij aan de financiering van technologieën voor energieopslag, waarbij bepaalde investeringsbelemmeringen (regelgevend, economisch en technisch) worden aangepakt om het aantrekkelijker te maken om in projecten te investeren. Er zijn specifieke ondersteunings- en financieringsinstrumenten beschikbaar om de uitrol van energieopslag in de EU te stimuleren, die zowel uit de langetermijnbegroting van de EU als uit het NextGenerationEU-pakket (NGEU) worden gefinancierd. Het cohesiebeleid zal de lidstaten, regio's en lokale autoriteiten blijven ondersteunen om te investeren in energieopslag via de beschikbare financiering van het Europees Fonds voor Regionale Ontwikkeling (EFRO), het Cohesiefonds (CF) en het Fonds voor Just Transition Fund (JTF). Energieopslag komt ook in aanmerking voor steun in het kader van het EU-financieringsmechanisme voor hernieuwbare energie (REFM) wanneer het wordt ingezet in combinatie met nieuwe capaciteit voor hernieuwbare energie. Andere instrumenten en fondsen dragen in sommige specifieke gebieden bij aan de financiering van opslag, zoals het Innovatiefonds (IF) en het Moderniseringsfonds (MF). Daarnaast helpen specifieke ondersteunings- en financieringsinstrumenten op nationaal niveau bij de uitrol van projecten voor energieopslag. De herziene richtsnoeren inzake staatssteun voor klimaat, milieubescherming en energie (CEEAG) hebben een reeks nieuwe bepalingen ingevoerd die steun voor energieopslag vergemakkelijken. Daarnaast wordt de algemene groepsvrijstellingsverordening voor staatssteun herzien om overheidssteun voor de groene en digitale transitie van de EU verder te vergemakkelijken, waarbij in het herziene voorstel relevante bepalingen voor energieopslagprojecten zijn opgenomen (zie [hier](#) voor meer informatie).

Verwachte netto geïnstalleerde capaciteit in de EU

De steeds volatielere aard van de elektriciteitsopwekkingsbronnen zal de inzet van opslagoplossingen vereisen. Aan de dagelijkse opslagbehoeften wordt momenteel voldaan door waterkrachtcentrale (PHS) en in toenemende mate door batterijen. Tegen 2030 zal de PHS-capaciteit groeien van momenteel 45 GW tot 64 GW in het basisscenario. Vanwege de geografische omstandigheden is het groeipotentieel in Europa beperkt. Er is echter nog steeds groeipotentieel als er een uitbreiding komt van projecten voor waterkrachtcentrales en kleine waterkrachtprojecten. Opslagoplossingen die op termijn worden aangevuld met elektrolyzers en een flexibelere vraag zullen een sleutelrol spelen bij de integratie van de verschillende componenten van het energiesysteem, waardoor een volledige decarbonisatie en de volledige inzet van met name hernieuwbare primaire energiebronnen mogelijk wordt. De groei van de geïnstalleerde elektrolysecapaciteit zal na 2030 naar verwachting aanzienlijk versnellen en in de beleidsscenario's al tussen 40 en 70 GW bedragen in 2035 en tussen 528 en 581 GW in 2050. Deze ontwikkeling zal samengaan met de decarbonisatie van het gassysteem, wat een gedeeltelijke herbestemming van de gasinfrastructuur nodig kan maken.

Het Nederlandse beleidskader voor energieopslag

Ook Nederland heeft een kader voor energieopslag. Nederland richt zich op elektriciteitsopslag door te investeren in accu-innovaties en het stimuleren van accu's in grootschalige zonneparken. Ook kan zonne-energie worden gebruikt als de zon niet schijnt en wordt het elektriciteitsnet ontlast.

Nederland stimuleert waterstofproductie op zee en energie-uitwisseling met Noordzeelanden, waardoor langetermijnopslag en -uitwisseling van energie mogelijk wordt. In 2022 werd het Nationaal Waterstofprogramma gelanceerd. Dit publiek-private programma richt zich op het ontsluiten van het aanbod van hernieuwbare waterstof, het ontwikkelen van de benodigde transport-, opslag- en importinfrastructuur, het samenwerken met verschillende sectorale programma's en het faciliteren van lopende initiatieven en projecten. Projecten voor transport, opslag en import van waterstof zijn opgenomen in het Meerjarenprogramma Infrastructuur voor Energie en Klimaat (MIEK), waarmee de overheid deze projecten beheert.

Bovendien maakt het regelgevingskader het voor iedereen mogelijk om, onder bepaalde voorwaarden, gebruik te maken van het elektriciteitssysteem, bijvoorbeeld door de inzet van batterijopslag of de introductie van de productie van zonne-energie door huishoudens (zie [hier](#) voor meer informatie).

Routekaart Energieopslag

De routekaart voor energieopslag brengt de acties in kaart die moeten worden ondernomen om energieopslag te bevorderen, in overeenstemming met de verwachte rol ervan in het toekomstige energiesysteem, tot 2035 en daarna. De routekaart voor energieopslag kijkt naar alle vormen van energieopslag, onderverdeeld in elektriciteits-, molecuul- en warmteopslag. De routekaart voor energieopslag bevat drie belangrijke elementen (zie [hier](#) voor meer informatie):

1. Een analyse van de huidige staat van energieopslag in Nederland en een overzicht van verwachte ontwikkelingen in de toekomst.
2. Een inventarisatie van acties voor een succesvolle uitrol van energieopslag in Nederland tot 2035, met specifieke actiehouders en gerichte deadlines.
3. Een verdiepende analyse ter voorbereiding op te maken beleidskeuzes voor de langetermijnvisie van het Nationaal Energie Systeem Plan (NPE) zie [hier](#) voor meer informatie).

Subsidies

Er zijn nog geen subsidies voor thuisbatterijen in Nederland. Net als voor particulieren zijn er geen specifieke subsidies voor batterijen voor grootschalige energieopslag voor bedrijven. In specifieke situaties kunnen bedrijven de aanschaf van een batterij aftrekken van de belasting via de Energie Investeringsaftrek (EIA). De EIA is voor bedrijven die in Nederland inkomsten- of vennootschapsbelasting betalen. Deze regeling is in 2023 met 5 jaar verlengd tot 2028. Met de EIA kunnen bedrijven 40% van het investeringsbedrag van de accu aftrekken van hun belastbare winst. Op die manier betalen bedrijven dus minder vennootschaps- of bedrijfsbelasting. Het bedrijfsmiddel dat bedrijven aanschaffen moet in de Energielijst staan. In dit geval gaat het specifiek om batterijen voor de stationaire opslag van duurzaam opgewekte elektrische energie. De Energielijst richt zich vooral op lithium-ion accu's en zoutwater accu's. De batterij kost minimaal 2.500 euro.

Voor energieopslag geldt ook de Demonstratie Energie- en Klimaatinnovatie (DEI+). Bedrijven krijgen subsidie om een innovatieve techniek te testen in een pilotproject of te demonstreren in een demonstratieproject. Het bedrijf introduceert bijvoorbeeld een voor Nederland nieuwe toepassing van een apparaat, systeem of techniek dat CO₂-uitstoot vermindert. De innovatie moet bijdragen aan het terugdringen van CO₂-uitstoot tegen lage kosten. Dit helpt ons in de energietransitie (de overgang van fossiele brandstoffen naar duurzaam opgewekte energie, zie [hier](#) meer).

Voorstel Europese Commissie voor klimaatdoelstellingen na 2030

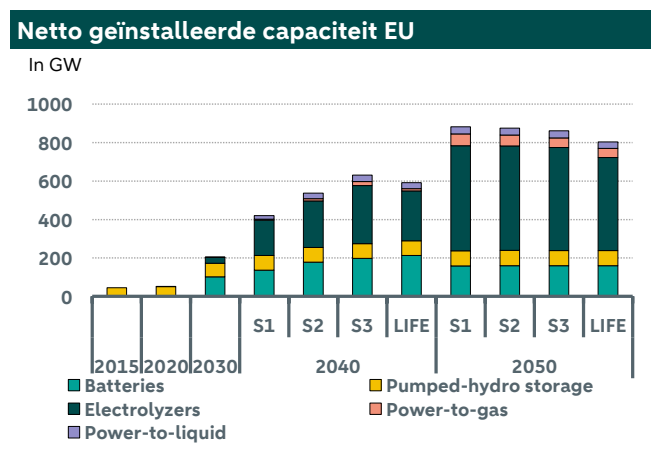
Netto geïnstalleerde capaciteit in de EU in verschillende scenario's

De Europese Commissie heeft een voorstel gedaan voor klimaatdoelstellingen na 2030. Zij heeft drie verschillende scenario's geformuleerd. Doelstelling optie 1 is een netto broeikasgasreductiedoelstelling van maximaal 80% (S1). Dit is verenigbaar met een lineair traject van netto broeikasgasemissies tussen de bestaande doelstelling voor 2030 en de klimaatneutraliteit van 2050. Doelstelling 2 is een netto broeikasgasreductie in 2040 van ten minste 85% en maximaal 90% (S2). Doelstelling 3 is een netto broeikasgasreductiedoelstelling in 2040 van ten minste 90% en maximaal 95% (S3). De Commissie heeft een streefcijfer aanbevolen dat ergens tussen S2 en S3 in ligt. Naast deze scenario's is er een scenario voor LIFE of duurzamere levensstijlen.

In dit voorstel zijn er scenario's voor de netto geïnstalleerde capaciteit (in GW) en de hoeveelheid energie die kan worden opgeslagen (in TWh). Een gigawattuur (of TWh) wordt gebruikt om de hoeveelheid energie te meten. Een gigawatt drukt vermogen uit, dat wil zeggen de energiestroom die op tijdstip t wordt geproduceerd of verbruikt. We beginnen met de netto geïnstalleerde capaciteit van de opslagtechnologieën.

Welke doelstelling uiteindelijk ook wordt gekozen, uit diverse doorberekeningen blijkt dat de opslagcapaciteit aanzienlijk moet worden opgevoerd in de komende jaren. Zo zou de capaciteit van waterkrachtcentrales moeten groeien van 50 GW in 2020 tot 75 GW in 2040. De uitrol van batterijopslag zou na 2030 moeten versnellen, van 100 GW naar 135-200 GW in S1-S2-S3 in 2040, waardoor vooral dagelijkse en wekelijkse opslag van elektriciteit mogelijk wordt. Ondertussen zou de elektrolysecapaciteit moeten toenemen van 30 GW in 2030 tot 185-300 GW in 2040. De begeleidende maatregelen van LIFE verminderen de behoefte aan flexibiliteit, met name van elektrolyse capaciteit.

Power-to-X beschrijft de omzetting van hernieuwbare elektriciteit uit wind, water of zon als primaire energie in een energiedrager. Power-to-X-technologieën zorgen voor extra flexibiliteit in de toekomst door de productieniveaus aan te passen aan het patroon van intermitterende elektriciteitsproductie. De geïnstalleerde power-to-gas en power-to-liquid capaciteiten blijven relatief laag. Tussen 2040 en 2050 zullen accu's en pompaccumulatie naar verwachting relatief stabiel blijven, terwijl elektrolyzers een extra groei laten zien (zie [hier](#) meer, met name pagina 35). De grafiek hieronder laat zien hoeveel opslagcapaciteit er nodig is in de verschillende scenario's.

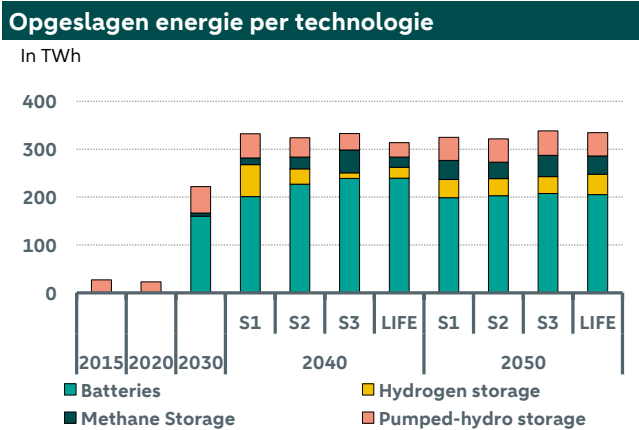


Bron: PRIMES

Opgeslagen energie in de EU in verschillende scenario's

Hierboven hebben we de netto geïnstalleerde capaciteit in de verschillende scenario's laten zien. We richten ons nu op de opgeslagen energie in de verschillende scenario's. Momenteel wordt energie voornamelijk opgeslagen in waterkrachtcentrales. De elektriciteit die is opgeslagen in waterkrachtcentrales zal naar verwachting toenemen van 25 TWh in 2020 tot 35-50 TWh in 2040. Verwacht wordt dat batterijen tussen 2025 en 2030 de waterkrachtcentrales zullen overstijgen als belangrijkste bron van opslag en in 2030 zullen zijn opgelopen tot 160 TWh. Tegen 2040 speelt elektriciteit die is opgeslagen in elektrolyzers (10-70 TWh) een kleinere rol bij de opslag in het elektriciteitssysteem dan elektriciteit die is opgeslagen in batterijen (200-240 TWh), aangezien de beschikbare elektrolysecapaciteit om waterstof te produceren in andere sectoren dan de elektriciteitssector zal worden gebruikt. In 2040 zal de opslag van methaan, d.w.z. schoon gas, een kleine rol spelen met een aandeel van 4-15% van de opgeslagen elektriciteit in S1-S2-S3. De maatregelen van LIFE zullen naar verwachting resulteren in een lichte afname van de opgeslagen elektriciteit in 2040. De vier scenario's resulteren in verschillende samenstellingen van opgeslagen elektriciteit per technologie. Methaanopslag is van cruciaal belang in S3, waar het 50 TWh of 15% van alle opgeslagen elektriciteit bereikt in 2040. Het lagere gebruik van methaanopslag in S1 wordt gecompenseerd door waterstof, dat goed is voor 20% van de totale opgeslagen elektriciteit, in tegenstelling tot S3, waar het slechts 4% uitmaakt. Tot 2050 blijven batterijen de dominante vorm van elektriciteitsopslag met 63% van alle opgeslagen elektriciteit. De hoeveelheid totale opgeslagen elektriciteit blijft stabiel tussen 2040 en 2050, ondanks de toename van hernieuwbare energiebronnen in de elektriciteitsmix. De grafiek hieronder toont de opgeslagen energie in verschillende scenario's (zie [hier](#) voor meer informatie op pagina 37).

Rekening houdend met al het beleid en alle scenario's beschikken de eurozone en Nederland over beleidskaders voor energieopslag, maar wij denken dat een gericht beleid ter ondersteuning van opslag nodig is om de capaciteits- en opslagdoelen in de verschillende scenario's te halen.



Bron: PRIMES

Conclusie

Hernieuwbare energiebronnen spelen een cruciale rol bij het terugdringen van de uitstoot en het streven om in 2050 netto nul te zijn. Het grootste probleem met hernieuwbare energiebronnen is de intermittentie, waarbij patronen moeilijk te voorspellen kunnen zijn. Daarom is er een manier nodig om deze energie op te slaan voor later gebruik. Energieopslag is de sleutel tot de nodige flexibiliteit, stabiliteit en betrouwbaarheid van het hele energiesysteem. Er bestaan diverse technologieën voor energieopslag. De technologieën die de meeste aandacht krijgen zijn waterkrachtcentrales, batterijen en energie opgeslagen in waterstof. Batterijen zijn kosteneffectiever bij het leveren van kleine hoeveelheden opgeslagen energie gedurende een korte tijd bij hoge energieniveaus. Maar er zijn verschillende chemie die hun eigen uitdagingen hebben. Waterkrachtcentrale is rendabeler voor het opslaan en vrijgeven van grotere hoeveelheden opgeslagen energie, maar de technologie is afhankelijk van de geografie. Met waterstof kan de energie onbeperkt worden opgeslagen. Maar waterstof kent uitdagingen zoals veiligheid en efficiëntie.

Er zijn veel andere opslagtechnologieën die een cruciale rol zouden kunnen spelen. Eén daarvan is opslag van thermische energie. Thermische energieopslag heeft een groot potentieel, vooral in de industriële en bouwsector, om fossiele brandstoffen te vervangen door hernieuwbare energieoplossingen in verwarmingssystemen. Het grootste deel van de industriële energievraag bestaat uit proceswarmte die kan worden opgewekt met hernieuwbare energiebronnen en warmte-koudeopslag.

De EU en Nederland hebben beleidskaders voor energieopslag, maar wij denken dat een gericht beleid ter ondersteuning van opslag nodig is om de capaciteits- en opslagdoelen in de verschillende scenario's te halen.

DISCLAIMER

Dit document is opgesteld door ABN AMRO. Het is uitsluitend bedoeld om financiële en algemene informatie over economie te verstrekken. De informatie in dit document is strikt vertrouwelijk en wordt u uitsluitend ter informatie verstrekt. Het mag niet (geheel of gedeeltematig) worden gereproduceerd, gedistribueerd of doorgegeven aan derden of worden gebruikt voor andere doeleinden dan hierboven vermeld. Dit document is informatief van aard en vormt geen aanbod van effecten aan het publiek, noch een uitnodiging tot het doen van een dergelijk aanbod.

Er mag voor geen enkel doel worden vertrouwd op de informatie, meningen, voorspellingen en veronderstellingen in het document of op de volledigheid, nauwkeurigheid of billijkheid ervan. Er wordt door of namens ABN AMRO, haar directeuren, functionarissen, agenten, gelieerde ondernemingen, groepsmaatschappijen of werknemers geen verklaring of garantie, expliciet of impliciet, gegeven met betrekking tot de juistheid of volledigheid van de informatie in dit document en er wordt geen aansprakelijkheid aanvaard voor enig verlies dat direct of indirect voortvloeit uit het gebruik van dergelijke informatie. De opvattingen en meningen in dit document kunnen op enig moment wijzigen en ABN AMRO is niet verplicht om de informatie in dit document na de datum van dit document te actualiseren.

Voordat u in een product van ABN AMRO Bank N.V. belegt, dient u informatie in te winnen over de verschillende financiële en andere risico's en mogelijke beperkingen waarmee u en uw beleggingsactiviteiten te maken kunnen krijgen op grond van toepasselijke wet- en regelgeving. Als u na het lezen van dit document overweegt om in een product te beleggen, wordt u geadviseerd om een dergelijke belegging te bespreken met uw relatiebeheerder of persoonlijke adviseur en na te gaan of het betreffende product - gezien de risico's - past binnen uw beleggingsactiviteiten. De waarde van uw beleggingen kan fluctueren. In het verleden behaalde resultaten bieden geen garantie voor de toekomst. ABN AMRO behoudt zich het recht voor om wijzigingen aan te brengen in dit materiaal.

© Copyright 2024 ABN AMRO Bank N.V. en gelieerde bedrijven ("ABN AMRO")