

Zijn dit de batterijen van de toekomst?

Tekst: Gabor Mooij

Van elektrische fietsen tot telefoons: lithium-ion-batterijen zijn overal. Toch kleven er nadelen aan deze krachtbronnen. Zo zijn ze duur en is lithium een schaarse grondstof. Wetenschappers werken daarom hard aan alternatieven voor de opslag van energie. Wij zetten zeven opvallende oplossingen op een rij.



Hoe werkt een batterij?

Eerst even terug naar de basis. Een batterij bestaat uit twee elektroden (polen): de anode en de kathode. Die worden gescheiden door een vast membraan en een vloeibare elektrolyt. Beide laten wel ionen door (atomen of moleculen met een positieve of negatieve lading), maar geen elektronen. Zo voorkomen ze dat er in de batterij een directe stroom ontstaat tussen de polen. Die stroom moet namelijk naar je telefoon, fiets of ander apparaat. Als je een batterij gebruikt, bewegen positief geladen ionen van anode naar kathode. De anode geeft tegelijkertijd elektronen af, die naar het aangesloten apparaat bewegen, en daarna via de kathode terug de batterij in. Bij het opladen van een batterij is het proces omgekeerd: de positief geladen ionen bewegen dan van de kathode naar de anode, en die laatste neemt elektronen op. Goed om te weten, tot slot: hoe meer ionen, hoe hoger de energiedichtheid van de batterij kan zijn.

Dubbel zo potent

Magnesiumbatterij

Een van de vaakst geopperde alternatieven voor de lithium-ionaccu (li-ion) is de magnesiumbatterij. Zoals de naam al verradt, gebruikt die magnesiumionen. En dat heeft meerdere voordelen. Zo kan een enkel magnesiumatoom twee elektronen vrijgeven tijdens het ontladen, terwijl lithiumatomen er maar eentje afstaan. Dit betekent dat magnesium in potentie twee keer zoveel energie kan overbrengen.

Daarnaast zorgt magnesium in een batterij voor meer stabiliteit. Als dit metaal reageert met vocht en zuurstof in de lucht, ontstaat een zelfbeschermend oxidelaagje. Het magnesium ónder dit laagje reageert vervolgens minder, of zelfs helemaal niet meer met zuurstof. Lithium reageert veel heftiger bij contact met lucht – waardoor de batterij in het extreemste geval zelfs kan exploderen.

Een derde voordeel van magnesium ten opzichte van lithium: er worden geen dendriten gevormd. Dit zijn een soort kristallen, in dit geval van opgestapelde lithiumionen. Daarin komt zoveel energie samen dat ontbranding kan plaatsvinden.

Magnesiumbatterijen zijn ook nog eens duurzamer en goedkoper dan de lithium-ionvariant, doordat er bijvoorbeeld geen kobalt nodig is. Dat is een giftig element dat er in li-ionbatterijen voor zorgt dat de kathode sneller ionen bindt, of juist loslaat. Bovendien is magnesium op aarde in veel grotere hoeveelheden beschikbaar dan lithium en kobalt.

Het eerdergenoemde oxidelaagje op magnesium is behalve een voordeel trouwens ook een nadeel. De meeste elektrolyten bestaan uit water met daarin opgeloste stoffen. Tijdens het bewegen door de elektrolyt reageren magnesiumionen met het water. Hierdoor kan het oxidatielaagje ondoordringbaar worden, waardoor het magnesium geen elektronen meer kan afgeven of opnemen, en dus geen lading meer kan overbrengen.

Een mogelijke oplossing hiervoor is bedacht aan de Universiteit van Hongkong: het gebruik van een elektrolyt met zout water en chloride. Het water is in deze elektrolyt verzadigd door het zout, zodat er amper 'vrij water' over is om het magnesium te laten oxideren. Daarnaast lossen de chloride-

ionen het oxidatielaagje dat wel ontstaat deels op. Werkt een dergelijke verbetering ook in de praktijk? Dan zijn magnesiumbatterijen goede vervangers van li-ionaccu's.

► In Japan, aan de Tokyo Metropolitan University, werken onderzoekers aan deze batterij. De anode bestaat uit mangaanoxide, de kathode uit magnesium.

TOKYO METROPOLITAN UNIVERSITY



Tussen twee platen

Supercondensator

In 1775 slaagde de Italiaanse natuurkundige Alessandro Volta (afbeelding rechts) erin om energie op te slaan in een condensator. Waar batterijen een chemische reactie gebruiken om energie vast te houden en weer vrij te geven, doet een condensator dat met behulp van een elektrostatisch veld, veroorzaakt door twee elektrisch ladingen die in evenwicht zijn. Een condensator bestaat uit twee geleidende, meestal messing platen die zijn gescheiden door een isolerende laag. Bij aansluiting op gelijkstroom wordt de ene plaat positief en de andere negatief geladen.

Maar waar een batterij langzaam ontlaat, doet een gewone condensator dat in slechts enkele seconden. Zo'n ontlading wordt dan ook vaak gebruikt voor flitsers in een foto-toestel, die in korte tijd veel energie nodig hebben. Met die supersnelle ontlading is het systeem alleen niet geschikt als vervanger van de batterij.

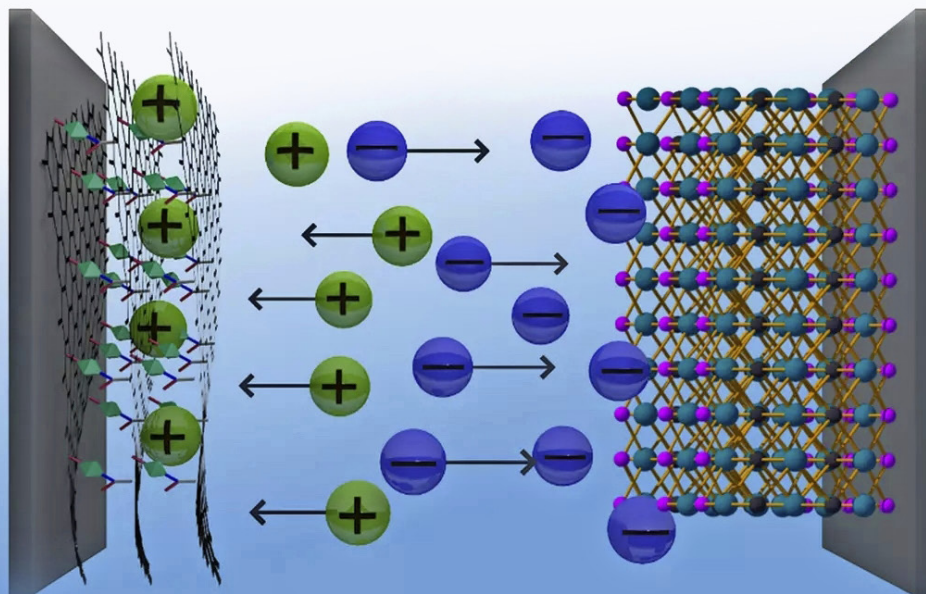
Een supercondensator, die in de jaren zestig al werd bedacht, zou hier echter wel toe in staat zijn. Deze bestond uit twee platen van sterk geleidend metaal, bedekt met poreus materiaal – meestal een poederachtige actieve koolstof. Die laatste vergrootte het oppervlak, om zo meer lading op te slaan. In het

midden kwam een elektrolyt, die werkte als geleidende verbinding tussen de platen, en een membraan dat ionen doorliet maar geen elektronen.

Het grote probleem van deze eerste generatie supercondensatoren was hun lage energiedichtheid: maar een tiende van die van lithium-ionbatterijen. Een van de oplossingen ligt voor de hand: simpelweg nog grotere platen creëren, die meer lading vast kunnen houden. Dat kun je ook op een slimme manier bereiken, met grafeennanobuisjes op de platen. De wanden van deze buisjes hebben een dikte van slechts één atoom. De raamwerken van alle nanobuisjes bij elkaar bieden een enorm oppervlak om ionen en dus lading op te slaan, in een relatief klein ruimte. Wetenschappers van de Technische Universiteit München hebben op deze manier een supercondensator gecreëerd met een energiedichtheid die ruim een kwart hoger ligt dan die van een lithium-ionbatterij. Toegegeven: een kwart, dat is geen gigantisch verschil. Maar supercondensatoren hebben wel een ander groot voordeel ten opzichte van de li-ionbatterij: ze gaan veel langer mee. Een lithium-ionbatterij is goed voor maximaal vijf- tot achtduizend cycli, een supercondensator kan wel een miljoen keer worden opgeladen



en ontladen. Een ander groot voordeel is dat er geen zeldzame, giftige metalen voor nodig zijn en dat de supercondensator volledig recyclebaar is. En dan laadt en ontlaat hij ook nog eens twintig keer sneller dan een li-ionbatterij, en blijft hij in tegenstelling tot die laatste ook bij extreme kou (tot -50 graden Celsius) en hitte (tot 80 graden Celsius) gewoon werken.



■ De Technische Universiteit München gebruikt voor zijn supercondensator een raamwerk van grafeenbuisjes voor de anode (links) om het oppervlak dat ionen kan opslaan te vergroten. De kathode (rechts) bestaat uit titanium en koolstof.



Uit de grond

Zandbatterij

Met zand maak je zandkastelen, geen opslagfabriekjes. Toch? Fout. De minerale deeltjes waaruit zand bestaat, zorgen dat het spul snel warm wordt. Daarbij heeft het een lage warmteoverdrachtscoëfficiënt, zoals dat heet: zand houdt warmte, en daarmee energie, lang vast. In het Finse Kankaanpää maken onderzoekers gebruik van deze eigenschappen van zand, door er een batterij van te maken. Die bestaat onder meer uit een hoge silo met ongeveer 100 ton zand. (Zie de foto hierboven.)

Wind- en zonne-energie worden in de reuzenbatterij naar een warmtewisselaar geleid, die de warmte afgeeft aan lucht die door buizen naar de silo stroomt. Daarin wordt de lucht via een spiraalvormig buizensysteem door het zand gejaagd, dat daardoor opwarmt tot 600 graden Celsius. Het zand kan in de goed geïsoleerde silo maandenlang op temperatuur blijven. Als vervolgens koude lucht door het buizensysteem wordt geleid, geeft het zand de

warmte af die dan naar de woningen gaat. Het systeem is goed voor 8 megawattuur. Zo kan de zandbatterij genoeg warmte produceren voor de centrale verwarming van zo'n 10.000 mensen in Kankaanpää. Bij hogere energieprijzen is de hete lucht in de batterij ook te gebruiken om kraanwater te verwarmen.

De Finnen zijn trouwens niet de enigen die experimenteren met zandbatterijen. Dit

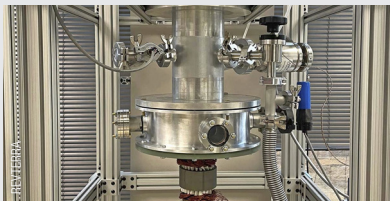
gebeurt onder andere ook in het National Renewable Energy Laboratory in de Verenigde Staten.

Zand is een duurzame en gemakkelijk beschikbare grondstof. Toch zijn er ook nadelen. Momenteel is het systeem nog niet geschikt om de warmte weer in elektriciteit om te zetten, omdat daarbij te veel energieverlies optreedt. Bovendien nemen zandbatterijen veel plaats in.

Lucht wordt door het zand gejaagd en warmte daar op tot 600 graden Celsius

Creatief met batterijen

Over de hele wereld zijn onderzoekers bezig met nog veel meer innovatieve batterijen. Drie andere, soms wel heel creatieve oplossingen die ook wat aandacht verdienen.



1 Versnellen en remmen. Een vliegwielbatterij is een wiel dat bijna zonder wrijving in een vacuüm blijft draaien. Dit draaien is een manier om energie te bewaren. Zo'n vliegwielbatterij kan tonnen wegen en bestaat uit een liggende grote schijf, met een dynamo-motor. Die versnelt het vliegwiel als je extra stroom toevoegt en wekt elektriciteit op door het wiel af te remmen.



2 Steengoed idee. Bij een basaltbatterij gaat overvloedige energie in de vorm van warmte door buizen naar een container met basaltstenen. Die nemen de warmte op en kunnen die vasthouden, doordat ze in een metalen omhulsel zitten met eromheen steenwolisolatie van ruim een meter dik. Door het blazen van koele lucht door de buizen komt de warmte weer vrij.



3 Krabschaalkracht. Er zijn batterijen met als elektrolyt een gel die is gemaakt van de schalen van krabben, garnalen of kreeften. Deze chitosan-gel kan binnen vijf maanden na verwijdering van de batterij biologisch worden afgebroken, de complete batterij voor twee derde deel. De zinken elektroden blijven achter en kunnen worden gerecycled.

Kracht uit planten

Hennepbatterij

Bij hennep denk je al snel aan wiet. Maar deze grondstof kan ook van meerwaarde zijn in krachtbronnen. In 2014 gebruikten onderzoekers van de Universiteit van Alberta in Canada de plant om koolstof-elektroden van te maken. Door het in twee fases te verhitten, ontstaat boorcarbide, dat kan worden gebruikt voor koolstof-nanobuisjes. Door de geleidende platen van supercondensatoren (zie 'Tussen twee platen' op pagina 16) hiermee te bedekken, wordt het oppervlak om lading op te slaan groter.

Behalve voor supercondensatoren is de dubbel verhitte hennep ook een goede toevoeging voor lithium-zwavelbatterijen (dat is dus weer een ander type batterij dan de li-ion- of zwavel-aluminiumvariant). Dit blijkt uit recent onderzoek van de in Texas gevestigde start-up Bemp Research Corp. Het materiaal versterkt de zwavelkathode en zorgt dat er geen zwavel op de lithiumanode neerslaat. Dit maakt lithium-zwavelbatterijen goedkoper en verbetert hun prestaties.

Het gebruik van hennep in de accu's bevoor-

dert bovendien de duurzaamheid, doordat het een plantaardig product is en het bepaald niet-duurzame kobalt overbodig maakt, waarmee lithium normaal gesproken wordt gecombineerd.

Bemp Research Corp. hoopt tegen 2026 over te kunnen gaan op massaproductie van hun batterijen. Het verwacht dat ze vooral geschikt zullen zijn voor zware elektrische vrachtwagens en elektrische vliegtuigen. Een kritische kanttekening is wel op zijn plaats: er zijn nog weinig gegevens bekend over de hennepbatterijen van het bedrijf. Het is dus nog afwachten of de accu's echt zoveel potentieel hebben als de makers beweren.

Dat laatste geldt eigenlijk in het algemeen voor batterijen met hennep. Na de ontdekking in 2014 zijn er weinig ontwikkelingen geweest. Een belangrijke reden waarom hennep de markt niet veroverd, is volgens de Canadese universiteiten van Guelph en Saskatchewan onzekerheid. Er is nog onvoldoende informatie over onder meer de thermische eigenschappen van het materiaal. Wordt dus vervolgd - of niet.





■ Aan het Duitse Fraunhofer Instituut voor Chemische Technologie werken onderzoekers aan een flowbatterij voor elektrische auto's. Hier zie je een proefopstelling.

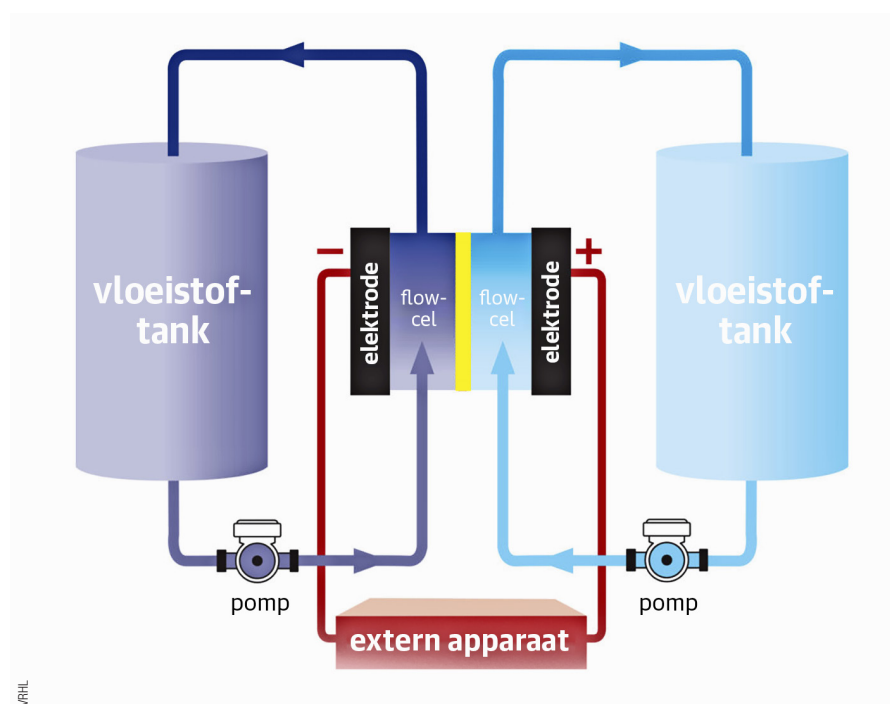
Laat het stromen

Flowbatterij

Bij een flowbatterij draait het om het stromen van vloeistoffen. Dit type lijkt op het eerste gezicht erg op een gewone oplaadbare batterij, maar er is een groot verschil: een flowbatterij slaat energie op in twee verschillende vloeistoffen met metaalionen. Die vloeistoffen bevinden zich in aparte compartimenten (in de plaat rechts aangegeven als flowcel) die zijn gescheiden door een membraan. Ook heeft de batterij een anode met een vloeibaar, negatief geladen elektrolyt, en een kathode met een positief geladen elektrolyt. Op de twee compartimenten zijn tanks met negatief en positief geladen vloeistoffen aangesloten, zodat die kunnen worden rondgepompt. Beide vloeistoffen worden langs een membraan gepompt die uitwisseling van ionen mogelijk maakt, zonder dat de vloeistoffen met elkaar in contact komen. Positief geladen ionen bereiken zo de anode. Die geeft vervolgens elektronen af aan een draad die naar een extern apparaat loopt en daarna terug naar de kathode. Zo ontstaat een elektrische stroom. Net als bij een gewone oplaadbare batterij kan een flowbatterij opnieuw worden opgeladen met een elektrische stroom die de omgekeerde richting heeft van de stroom bij het ontladen. Voordelen van flowbatterijen zijn dat ze geen schadelijke uitstoot geven, een lange levensduur hebben en weinig onderhoud vergen. Een standaard flowbatterij, met het element vanadium, kan zo'n twintigduizend oplaaden en ontladbeurten meegaan (ter vergelijking: bij een lithium-ionbatterij is dat maximaal vijf- tot achtduizend). De energie-inhoud van

een flowbatterij is eenvoudig te vergroten door grotere tanks te gebruiken. Ook kan de inhoud na langdurig gebruik worden gelegeerd om te verwisselen met 'verse' vloeistoffen. Hierdoor hoeft je niet de hele batterij te vervangen. Helaas kleven ook aan dit type nadelen. Zo hebben flowbatterijen een relatief lage energiedichtheid en lage oplaad- en ontlad-

snelheden. Een ander minpunt is dat ze complex zijn. Ze hebben pompen, sensors, stroom- en energiebeheer en vloeistoftanks nodig. Daarnaast is vanadium zeldzaam en zijn de vloeistoffen relatief duur. Er wordt dan ook veel onderzoek gedaan naar goedkopere en beter rond te pompen vloeistoffen, zoals ijzerionen opgelost in zuur en zout water.



Goedkoop zonder gif

Zwavelbatterij

Voor veel batterijen zijn giftige metalen nodig, zoals kobalt, nikkel en mangaan. Krachtbronnen op basis van zwavel zijn wat dat betreft een stuk milieuvriendelijker. Ook kunnen ze drie keer zoveel lading opslaan als 'gewone' lithium-ionbatterijen. Zwavel heeft namelijk een hogere energiedichtheid dan lithium: maximaal 750 wattuur per kilo tegenover 250 wattuur per kilo. Bovendien kan de batterij vanwege de betere beschikbaarheid van de grondstoffen tot zo'n zes keer goedkoper worden geproduceerd. Wetenschappers van het Massachusetts Institute of Technology (MIT) hebben recent, samen met universiteiten in onder meer China, een veelbelovende zwavel-aluminiumbatterij ontwikkeld (inderdaad, Amerikanen en Chinezen blijken dus toch prima te kunnen samenwerken). Hierin wordt zwavel gebruikt voor de kathode en aluminium voor de anode. De elektrolyt is van gesmolten zout. Dat gaat de vorming van dendriten, een opstapeling van aluminiumionen in dit geval, tegen (zie voor de uitleg van dendriten ook 'Twee keer zo potent' op pagina 15). Het zout heeft bovendien een laag smeltpunt; bij een hoog smeltpunt zou de batterij enkel bij heel hoge temperaturen werken. De warmte die de zwavelbatterij nodig heeft om op bedrijfstemperatuur te blijven, wordt geproduceerd door een elektrochemische reactie die ontstaat bij het opladen en ontladen. Er is dus geen



externe warmtebron nodig om de batterij te laten functioneren.

Nu zijn zwavelbatterijen op zichzelf niet iets nieuws. Maar eerder zagen onderzoekers er vanwege de normaal gesproken korte levensduur van deze accu's weinig heil in. De zwavelkathode zette namelijk bij opladen en ontladen uit, om vervolgens weer te krimpen. Na ongeveer vijftig keer opladen en ontladen gaven de batterijen er al de brui aan. Om dit probleem op te lossen, voegden wetenschappers van de Universiteit van Sydney aan de zwavelelektrode grafeen toe, wat hem stabiel moet maken. Bij de eveneens Australische Monash-universiteit grepen ze naar suikers

▲ Deze ingrediënten gebruiken onderzoekers van het Massachusetts Institute of Technology voor hun zwavelbatterij. Aluminium (links) voor de anode, zwavel (in het midden) voor de kathode en zout (rechts) voor de elektrolyt.

om dit voor elkaar te krijgen. De suikers geven een nieuwe structuur aan de zwavelkathode, waardoor die minder uitzet en krimpt. Uit tests blijkt dat nieuwe zwavel-aluminiumbatterijen probleemloos honderden keren met een hoge snelheid kunnen opladen – in sommige experimenten zelfs in minder dan een minuut. Veelbelovend dus.



■ Een onderzoeker aan de Monash University werkt hier aan een zwavelbatterij die langer meegaat door suiker toe te voegen.



Op en neer

Zwaartekrachtbatterij

De wetten van de zwaartekracht op een handige manier gebruiken: ook dat biedt mogelijkheden om energie op te slaan en weer vrij te geven. Een batterij die dit principe gebruikt, noem je een zwaartekrachtbatterij. Een voorbeeld van zo'n krachtbron is een blok beton dat met behulp van (groene) stroom wordt opgehesen, en elektriciteit opwekt als je het weer laat zakken. Maar je kunt ook een zwaartekrachtbatterij maken door water naar grote hoogte te pompen en het via turbines weer naar beneden te laten stromen. Probleem hierbij zijn de kosten en de benodigde ruimte. Gravitricity uit het Schotse Edinburgh werkt daarom aan een bruikbare, schaalbare batterij met gewichten. In april 2021 testte het bedrijf met succes een prototype: een 15 meter hoge stalen toren met eraan een ijzeren gewicht van 50 ton. Elektrische motoren hesen het gewicht langzaam op en lieten het daarna geleidelijk zakken, waarbij een reeks generators werd aangedreven. Deze kleinschalige demonstratie-installatie wekte 250 kilowatt aan vermogen op, genoeg om ongeveer 750 huizen een klein uur van stroom te voorzien. Gravitricity wil verlaten mijnschachten in Tsjechië, Polen en Zuid-Afrika gebruiken

voor hetzelfde principe. Het bedrijf schat in dat er wereldwijd zo'n 14.000 mijnen zijn die geschikt zijn voor opslag van zwaartekracht-energie.

In Zwitserland heeft een ander bedrijf, Energy Vault, een prototype gebouwd van ruim twintig verdiepingen hoog. (Zie de foto hierboven.) Op momenten waarop meer groene stroom wordt opgewekt dan het elektriciteitsnet aankan, tillen door kunstmatige intelligentie aangejaagde kranen blokken van 30 ton omhoog. De kunstmatige intelligentie zorgt ervoor dat de kranen meteen in beweging komen bij toevoer van energie en dat ze gaan zakken als er een energiebehoefte is. De proefbatterij van Energy Vault kan 35 megawattuur leveren, en kan acht uur lang in

de behoefte van twee- tot drieduizend huishoudens voorzien.

In plaats van het optillen van een gewicht kan groene stroom ook worden gebruikt voor het omhoog laten komen van een ondergedompelde zuiger. Dit gebeurt in een Spaans-Marokkaans project. De beweging perst water onder hoge druk door een generator. Vergelijkbare zwaartekrachtbatterijen worden ontwikkeld in Californië en Duitsland. Vanwege de omvang zijn zwaartekrachtbatterijen niet geschikt voor kleinschalige toepassingen. Wel bieden ze een goede mogelijkheid om overschotten aan wind- en zonne-energie op te slaan, zodat die op een later moment alsnog kunnen worden gebruikt. ■



Gabor Mooij is techjournalist. Voor dit artikel raadpleegde hij de volgende bronnen: Ehsan Ghasemiastahbanati, Areeb Shehzad, Kristina Konstas e.a.: *Exceptional Lithium Diffusion through Porous Aromatic Framework (PAF) Interlayers Delivers High Capacity and Long-life Lithium-sulfur Batteries*, Journal of Materials Chemistry A (januari 2022) | Matt Reynolds: *Gravity Could Solve Clean Energy's One Major Drawback*, Wired (4 januari 2022).

Ga voor meer informatie naar www.kijkmagazine.nl/artikel/batterijen