

Batterijen : twee elektroden in een potje

Citation for published version (APA):

Visscher, W. (1992). Batterijen : twee elektroden in een potje. *Natuur en Techniek*, 60(12), 890-901.

Document status and date:

Gepubliceerd: 01/01/1992

Document Version:

Uitgevers PDF, ook bekend als Version of Record

Please check the document version of this publication:

- A submitted manuscript is the version of the article upon submission and before peer-review. There can be important differences between the submitted version and the official published version of record. People interested in the research are advised to contact the author for the final version of the publication, or visit the DOI to the publisher's website.
- The final author version and the galley proof are versions of the publication after peer review.
- The final published version features the final layout of the paper including the volume, issue and page numbers.

[Link to publication](#)

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal.

If the publication is distributed under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license above, please follow below link for the End User Agreement:

www.tue.nl/taverne

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at:

openaccess@tue.nl

providing details and we will investigate your claim.

BATTERIJEN

TWEE ELEKTRODEN IN EEN POTJE

Bijna dagelijks maken we gebruik van batterijen: in horloge, walkman en zakrekenmachientje. Per persoon verbruiken we in West-Europa zo'n tien tot vijftien batterijen per jaar en dat getal zal de komende jaren nog toenemen. We stellen bovendien steeds hogere eisen aan de batterijen die we kopen. Die moeten niet alleen lang meegaan, maar liefst ook klein, goedkoop en milieuvriendelijk zijn. Ook de inzet van accu's zal toenemen. Autofabrikanten experimenteren al naar hartelust met elektrisch aangedreven auto's, maar de introductie ervan wacht nog op de ontwikkeling van een accu die krachtig genoeg is om ook lange afstanden te overbruggen.



Uit opgravingen in de buurt van Bagdad blijkt dat al 2000 jaar geleden galvanische cellen moeten zijn toegepast, maar de eigenlijke ontwikkeling van batterijen begint in 1800. Toen liet Alessandro Volta zien dat er een spanningsverschil bestaat tussen twee verschillende metalen die hij in een geleidende vloeistof plaatste. Iets dergelijks had Galvani al opgemerkt aan de trillende kikkerpoot die aan een metalen haak hing, maar hij schreef dit toe aan een biologisch verschijnsel.

De stroombron die Volta twee eeuwen geleden uitvond, berust op een (elektro)chemisch principe. Daarbij gaat chemische energie rechtstreeks over in elektrische energie. Galvanische cellen worden daarom wel elektrochemische stroombronnen genoemd. Als de chemische energie in de cel voorradig is, noemen we zo'n cel meestal een batterij, hoewel het woord 'batterij' eigenlijk een combinatie van geschakelde galvanische cellen aanduidt. Er zijn twee typen batterijen. De *niet-oplaadbare*, ofwel *primaire* batterijen zijn slechts



1

1 en 2. Hoe krijgen we elektrisch vermogen op plaatsen waar geen stop-contact is? Batterijen en accu's lossen dit probleem vaak naar tevredenheid op, zoals bij deze drinkwaterbak voor vee,

waar elektriciteit uit zonne-energie wordt opgeslagen in een accu en van daaruit naar behoefte de pomp kan voeden. De starteraccu in een auto is al tientallen jaren niet meer weg te denken.

eenmalig te gebruiken. *Heroplaadbare, secundaire*, cellen zijn opnieuw te vullen door toevoer van elektrische energie. Die wordt dan weer omgezet in chemische energie.

De heroplaadbare galvanische cel is vooral bekend als accumulator, kortweg accu, doordat de cel dient als opslagreservoir voor elektrische energie. Elektrische energie is niet zo makkelijk te bewaren. In een accu gebeurt dat via omzetting naar chemische energie. De eerste accu's werden opgeladen door primaire cellen, want er waren nog geen elektriciteitscentrales. De installatie daarvan moest wachten totdat Siemens in 1866 had ontdekt hoe hij beweging in elektriciteit kon omzetten. Van 1800 tot 1866 vormden de galvanische cellen dan ook de enige bron van elektrische energie, die als gelijkstroom werd geleverd.

Een andere categorie van galvanische cellen vormen de *brandstofcellen*, waarbij de chemische energie buiten de cel is opgeslagen en in de cel alleen de omzetting in elektrische energie plaatsvindt. Dit principe werd in 1839 door W. Grove ontdekt voor de waterstofzuurstofcel. Onderzoek naar de technische realisering van de brandstofcel kwam echter pas een eeuw later op gang. Toen maakten de opkomst van de ruimtevaart, met name de bemande reizen naar de maan, een onafhankelijke energievoorziening gedurende een lange periode noodzakelijk.

Het voordeel van galvanische cellen is dat het geruisloze, zelfstandig functionerende energiesystemen zijn, die op elke gewenste plaats elektrische energie kunnen leveren. In de loop der tijd is een grote verscheidenheid



2

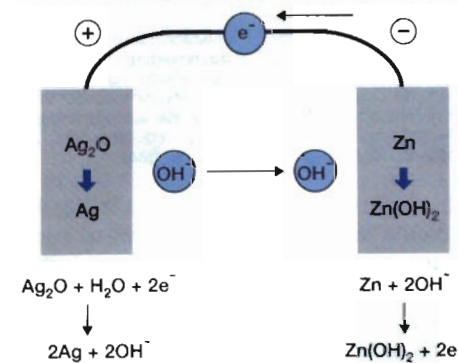
3. De zilver-zinkcel staat model voor alle primaire en secundaire cellen die in dit artikel de revue passeren. Twee verschillende elektroden en een elektrolyt vormen de hoofdingredienten van elk batterijrecept. Zodra we de batterij belasten, komt de redoxreactie in de batterij op gang.

aan cellen ontstaan. Hoewel velen dachten dat het concept van 'twee elektroden in een potje' wel snel verouderd zou raken, blijkt juist het tegendeel waar; het gebruik van batterijen is eerder stijgend dan dalend. Dit hangt samen met de ontwikkeling van elektronische apparaten. Die vraagt om kleinere, lichtere en algemeen toepasbare batterijen voor draagbare apparatuur (videocamera, draadloze telefoon of laptopcomputer, om er enkele te noemen) en om batterijen met een hoge energiedichtheid en grote betrouwbaarheid voor bijvoorbeeld backup-apparatuur. Op medisch gebied is er vraag naar implanteerbare batterijen voor pacemakers, pompjes en sensoren. Ook de belangstelling voor grote accu's groeit. Die vinden gaandeweg toepassing in elektrische voertuigen en bij de opslag van zonne-energie.

Een spontaan proces

Een galvanische cel bestaat uit twee *elektroden* waartussen zich een geleidende tussenstof, de *elektrolyt*, bevindt. Zodra een geleidende draad de uiteinden van de elektroden buiten de cel met elkaar verbindt, komt er spontaan een redoxproces op gang. Daarbij vindt aan één elektrode, de *anode*, de oxydatie plaats en aan de andere, de *kathode*, de reductiereactie. De *zilver-zinkcel* (afb. 3) is opgebouwd uit een kathode van zilveroxide en een anode van zink. Bij deze cel is de zilveroxidelektrode positief ten opzichte van de zinkelektrode. Kaliumhydroxide (KOH) fungeert als elektrolyt. Elektrochemisch is de cel samengesteld uit de redoxkoppels $\text{Ag}_2\text{O}/\text{Ag}$ en $\text{Zn}(\text{OH})_2/\text{Zn}$. Bij de ontleding wordt zilveroxide gereduceerd en, aan de andere elektrode, zink geoxydeerd. Doordat de reactiepartners, Ag_2O en Zn , niet direct met elkaar reageren maar op twee verschillende plaatsen (de elektroden), krijgen we een elektronenstroom en dus elektrische energie.

Het verschil in oxyderend of reducerend vermogen van de twee redoxkoppels bepaalt de spanning van een galvanische cel. Dit potentiaalverschil kan worden afgelezen uit tabellen waarin de potentiaal van de redoxkoppels staat opgegeven. Een moderne redoxtabel is een uitgebreide versie van de spanningsreeks van metalen die Volta oorspronkelijk opstelde. Als de cel stroom levert, daalt zijn spanning. De inwendige weerstand van de cel en de polarisatieweerstand van de elektroden veroorzaken deze spanningsval. De polarisa-



3

tieweerstand is het gevolg van het feit dat elektrochemische reacties met een zekere traagheid verlopen.

Wie een galvanische cel wil maken, neemt twee redoxreacties met een groot spanningsverschil. Het is natuurlijk niet de bedoeling dat de cel zo actief is dat hij ook ontladend als je hem niet gebruikt, dus moet de combinatie van elektrode en elektrolyt stabiel genoeg zijn. Voor een goede cel komt daar de eis bij dat de spanningsdaling bij stroomlevering niet al te groot is. De elektrolyt- en polarisatieweerstand moeten dus klein zijn. Of een galvanische cel weer kan worden opgeladen, hangt af van het redoxstelsel. Sommige reacties zijn bijna volledig omkeerbaar, terwijl bij andere storende nevenreacties optreden en het op-laadrendement te laag is. Bij een aantal cellen lukt het niet eens om de elektroden weer in hun oorspronkelijke toestand te brengen.

In soorten en maten

Hoe meer anode- en kathodemateriaal er per elektrode is aangebracht, des te groter is de lading van de cel. Deze wordt uitgedrukt in ampère-uur (1 Ah = 3600 coulomb). Batterijen zijn er in alle soorten en maten, met ladingen van enkele milli-ampère-uur tot meer dan tienduizend ampère-uur. Het produkt van lading en celspanning geeft de totale hoeveelheid energie die een batterij kan leveren. Die wordt uitgedrukt in watt-uur en gewoonlijk opgegeven per gewicht ($\text{Wh}\cdot\text{kg}^{-1}$) of volume ($\text{Wh}\cdot\text{cm}^{-3}$) van de batterij.

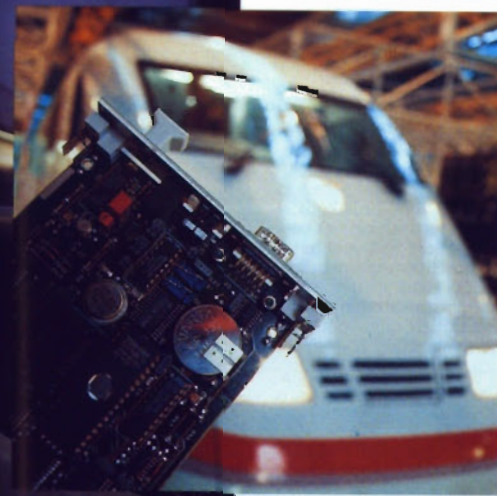
In de meeste batterijen bestaat de anode uit een metaal: zink, lood, ijzer, cadmium, natrium of lithium. Vooral zink wordt veel toegepast. Dit metaal combineert een sterk reducerend vermogen met een redelijk laag gewicht per mol en is bovendien niet duur. Het katho-



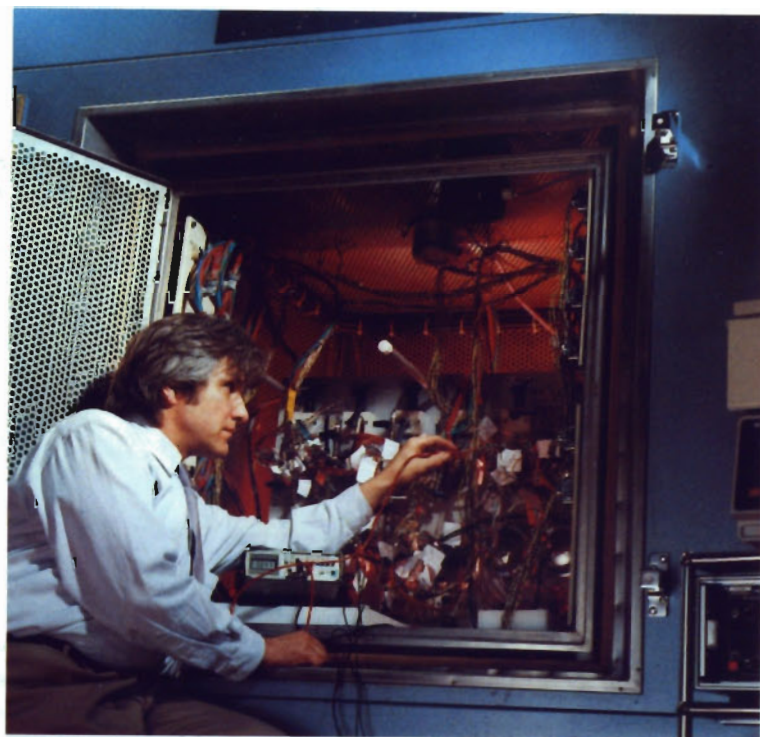
4, 5 en 6. In de Duitse hoge-snelheidstrein ICE is een grote hoeveelheid galvanische cellen verwerkt. Grote accu's moeten de stroomvoorziening garanderen als de trein bij stilstand niet meer met de bovenleiding is verbonden. Kleine batterijen zorgen ervoor dat de informatie die is opgeslagen in de boordcomputers niet verloren gaat.



5



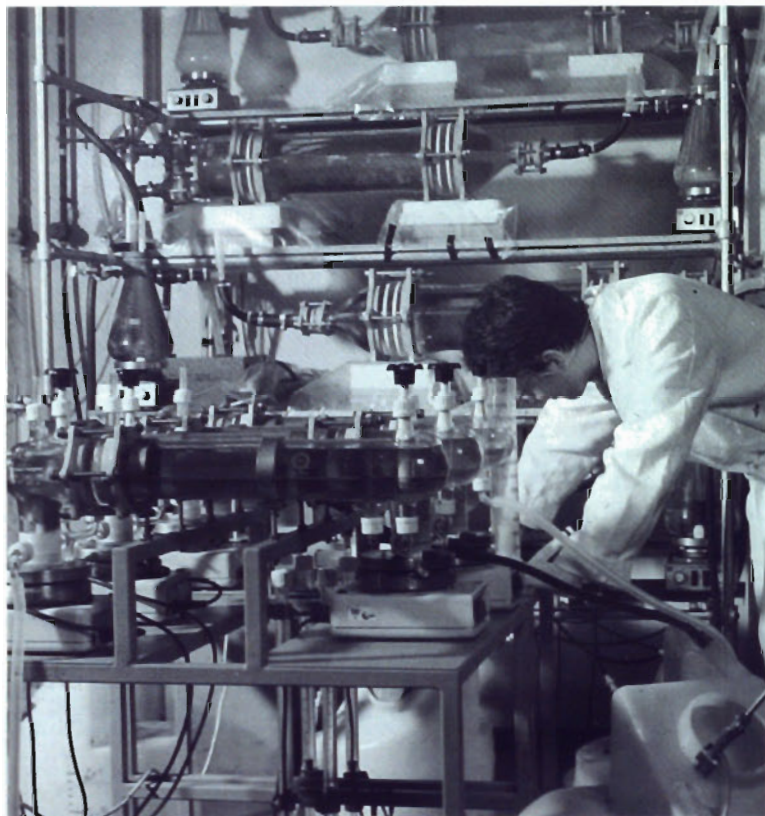
6



7. De Europese ruimtevaartorganisatie ESA beschikt bij ESTEC in Noordwijk over een speciaal laboratorium om batterijen te testen. Voor satellieten zijn (oplaadbare) batterijen onmisbaar. Ze moeten dan ook voldoen aan strenge eisen voor wat betreft hun levensduur. In deze koelcel worden nikkel-waterstof- en zilver-waterstofbatterijen getest.

demateriaal varieert van vaste metaaloxiden (PbO_2 , MnO_2) tot gasvormige oxydatoren als zuurstof en halogenen. In veel batterijen wordt gebruik gemaakt van koolstof, dat als poeder kan zijn vermengd met het kathodemateriaal om de geleidbaarheid ervan te verbeteren, of dienstdoet als stroomcollector voor het actieve materiaal. Omdat de elektroden in de batterij zo dicht mogelijk bij elkaar moeten worden geplaatst, wordt er vaak een separator (meestal een poreuze kunststof) tussen aangebracht.

Primaire cellen zijn in het algemeen klein. Zo heeft een knooppel een diameter van 11,6 mm en een hoogte van 4,2 mm. Het zijn wegwerpbatterijen waarvan de prijs gewoonlijk laag is. Secundaire cellen voor inbouw in apparatuur kunnen dezelfde afmetingen hebben als primaire cellen. Ze kunnen echter ook een stuk groter zijn, tot zo'n twintig kubieke decimeter. In het Nederlands heten de kleine oplaadbare cellen wel batterijen. Om meer lading te kunnen opslaan kan een accu een aantal elektroden bevatten, die met elkaar zijn verbonden. Een aantal cellen in serie geschakeld, levert een hogere spanning.

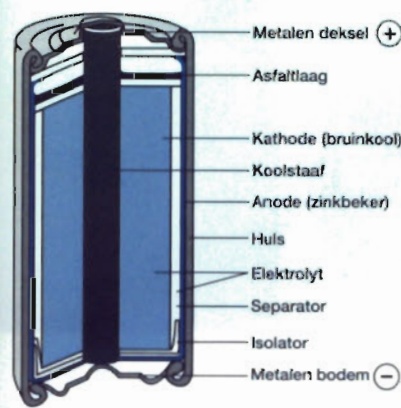


8

8. De zware metalen uit oude batterijen vormen een milieuprobleem. Gelukkig leveren veel mensen ze bij hun chemisch afval in, maar de batterijen kunnen nog niet op grote schaal worden verwerkt. Voorlopig worden ze opgeslagen. TNO werkt in Apeldoorn aan een proefinstallatie om de metalen te scheiden, opdat die kunnen worden hergebruikt.



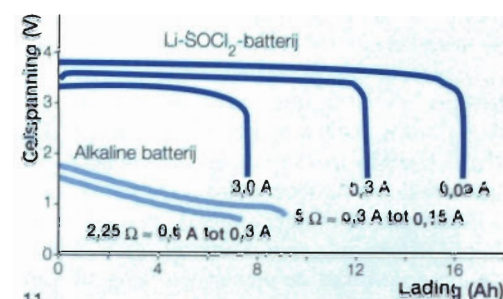
9



10

In 1950 kwam er een alkalische versie van deze batterij (de *alkaline batterij*) op de markt. De elektrolyt bestaat daarbij uit loog, waardoor de batterij hogere ontladstromen kan leveren en een grotere bewaartijd heeft. In bruinsteenbatterijen zit een kleine hoeveelheid kwik, die de zelfontlading tegengaat. Door de hoeveelheid batterijen die wordt weggegooid, veroorzaakt dit kwik een aanmerkelijke milieubelasting. Tegenwoordig zijn er 'groene' alkaline batterijen, waarin geen kwik zit.

De vraag naar galvanische cellen met hoge energiedichtheid heeft in het midden van de jaren zestig geleid tot de introductie van de *lithiumbatterijen*. Lithium is een sterke reductor. De elektrolyt moet dan ook watervrij zijn, aangezien het lithium anders direct met het water zou reageren. De ontwikkeling van lithiumcellen is bijzonder snel verlopen en heeft een verrassend groot aantal combinaties van lithium met verschillende kathodematerialen opgeleverd. De voordelen van lithiumbatterijen



11

11. De celspanning van een lithiumbatterij is afhankelijk van de belasting, maar blijft constant tot de batterij leeg is. De spanning van een alkaline batterij neemt tijdens de ontlading geleidelijk af.

Primaire cellen

In 1866 vervaardigde M. Leclanché de eerste commerciële primaire cel, de *zink-bruinsteenbatterij*. Hoewel de spanning van de cel bij stroomlevering steeds verder daalt, wordt de batterij nog steeds veel gebruikt vanwege de lage produktiekosten en de mogelijkheid om hem heel klein uit te voeren. Ze zijn er tot minder dan een millimeter dik. De cel (afb. 10) bestaat uit een koolstofstaafje waaromheen een mengsel van bruinsteen en kool is aangebracht. Deze kathode is geplaatst in een zinkbeker die tegelijkertijd als anode en als celomhulsel fungeert. De cel staat bekend als een *droge* batterij omdat de elektrolyt, een oplossing van ammonium- en zinkchloride, tot een pasta is gebonden of in een absorberend papier is opgenomen. De samenstelling van de elektrolyt en de kwaliteit van de bruinsteen bepalen of de batterij geschikt is voor standaard- of voor *heavy-duty*-toepassingen.

9 en 10. Achter het uniforme uiterlijk van staafbatterijen gaan vaak heel verschillende cellen schuil. Van de eenvoud van de zink-bruinsteenbatterij (9) vinden we op het eerste gezicht niet veel terug bij de lithiumbatterij met vaste kathode (10). Bij deze lithiumbatterij met vaste kathode zijn de elektroden uitgevoerd als dunne lagen.

		ENKELE GALVANISCHE CELLEN				
		NAAM VAN DE CEL	ELEKTRODE POSITIEF	ELEKTRODE NEGATIEF	ELEKTROLYT	SPANNING (volt)
NIET-OPLAADBAAR		Zilver-zink	Hg ₂ O	Zn	KOH	1,6
		Zink-bruinsteen	MnO ₂	Zn	NH ₄ Cl + ZnCl ₂	1,5
		Lithium-thionylchloride	SOCl ₂	Li	SOCl ₂	3,6
		Lithium-jood	I ₂	Li	Poly-2-vinylpyridine	2,8
OPLAADBAAR		Loodaccu	PbO ₂	Pb	H ₂ SO ₄	2,1
		Nikkel-cadmium	NiOOH	Cd	KOH	1,3
		Nikkel-zink	NiOOH	Zn	KOH	1,3
		Natrium-zwavel	S	Na	β-Al ₂ O ₃	2,1
	Zink-chloor	Cl ₂	Zn	ZnCl ₂	2,1	

en zijn de hoge celspanning (3 tot 3,6 V), de vrijwel constante spanning tijdens de ontlading (afb. 11) en de zeer geringe zelfontlading, dus lange bewaartijd.

De hoogste energiedichtheid bij primaire cellen, ruim 400 Wh·kg⁻¹, geeft de *Li-SOCl₂-cel*. De kathode van deze lithiumbatterij bestaat uit poreuze koolstof gevuld met thionylchloride, SOCl₂, dat tegelijkertijd als elektrolyt fungeert. Thionylchloride is een agressieve vloeistof en daarom is de cel hermetisch gesloten.

Een lithiumcel met vaste elektrolyt is de *lithium-joodbatterij*. De kathode is hier een mengsel van jood en poly-2-vinylpyridine. Deze batterij wordt als pacemaker bij patiënten met hartritmestoringen ingebouwd. Een dergelijke toepassing vereist slechts een heel kleine stroom, enkele microampères, en een laag vermogen, maar wel een buitengewoon hoge betrouwbaarheid en een lange levensduur.

Secundaire cellen

In vergelijking met primaire batterijen kunnen secundaire cellen een hogere stroom leveren. Doordat de accu telkens weer wordt opgeladen, speelt de zelfontlading niet zo'n doorslaggevende rol als bij de primaire batterijen, die enkele jaren moeten kunnen worden bewaard. Ook de kosten liggen bij een accu anders. Naast de materiaalprijs speelt nu ook het aantal keren dat de accu kan worden ontladen en weer opgeladen mee.

De *loodaccu* is de en meest toegepaste heroplaadbare galvanische cel. We vinden hem vooral als starteraccu in motorvoertuigen en bij installaties voor noodstroomvoorziening in bijvoorbeeld een telefooncentrale of een ziekenhuis. In Californië staat het grootste opslagsysteem met loodaccu's: 40 MWh. G. Planté bouwde in 1859 de eerste loodaccu, en daarmee de eerste secundaire cel.

Een loodaccu bestaat uit lood- en looddioxide-elektroden in geconcentreerd zwavelzuur. De uitvoering van de elektroden hangt af van het gebruik. In starteraccu's bestaan de elek-

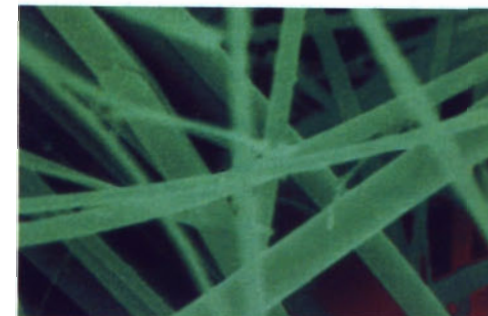
14 en 15. De structuur van de elektrode heeft gevolgen voor de elektrische eigenschappen van een batterij en voor de kosten ervan. Het is dus geen wonder dat de batterijfabrikanten proberen de optimale poreuze of vezelige structuur te vinden.



14

aan te brengen in de constructie en efficiënter gebruik te maken van de actieve massa, blijkt het mogelijk loodaccu's te vervaardigen die een anderhalf tot twee maal zo hoge energiedichtheid hebben. Dergelijke accu's worden speciaal voor elektroauto's ontwikkeld.

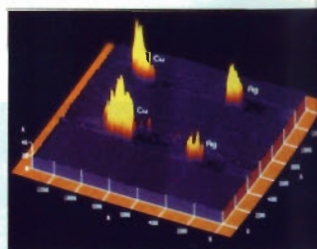
Accu's met een alkalische elektrolyt geven een hogere energiedichtheid dan loodaccu's. In dit type accu's is nikkeloxide steeds de positieve elektrode. De meest succesvolle is de *nikkel-cadmiumaccu*, die een energiedichtheid



15



12



13

12 en 13. Californië herbergt de grootste - hier zien we een 10-MW-eenheid - en de kleinste batterij ter wereld. De kleinste heeft het formaat van een verkoudheidsvirus. Met een scanning-tunnelingmicroscoop stapelden chemici zilver- en koperatomen op een plaatje grafiet. Ondergedompeld in een kopersulfaatoplossing lost het koper op en slaat op het zilver neer. Daarbij levert de batterij drie kwartier lang een spanning van 20 mV. De STM-opname toont voor een verse en achter een lege 'nanobatterij'. De afmetingen staan in ångström langs de rand. De cel kent nog geen toepassingen.

troden uit loodroosters waarop de actieve massa als pasta is aangebracht, terwijl voor zwaarder gebruik de PbO_2 -elektrode als een buisjesplaat wordt uitgevoerd. Het actieve materiaal blijft in dunne geperforeerde buisjes beter behouden. Om goed te kunnen blijven werken, moet de accu geregeld worden onderhouden. Doordat bij het opladen water ontleedt (elektrolyse), is af en toe bijvullen met water nodig. Bij de onderhoudsvrije accu hoeft dat niet meer. Daar gaat het zuurstofgas dat bij het opladen aan de PbO_2 -elektrode vrijkomt, naar de andere elektrode (Pb) waar het weer tot water wordt gereduceerd. De elektrolyt is in dit geval als een gel uitgevoerd.

Als je accu's wil gebruiken als energiebron in een elektrische auto, moet zo'n accu een hoge energiedichtheid en een hoge vermogensdichtheid in zich verenigen. Voor een rit van 100 km heeft een personenauto accu's nodig met een energiedichtheid van minstens $30 \text{ Wh}\cdot\text{kg}^{-1}$ en voor 200 km wordt dat $60 \text{ Wh}\cdot\text{kg}^{-1}$. De loodaccu heeft een energiedichtheid van 25 tot $30 \text{ Wh}\cdot\text{kg}^{-1}$ en kan slechts minimaal hieraan voldoen. Door verbeteringen

heeft van ongeveer $55 \text{ Wh}\cdot\text{kg}^{-1}$. Een voordeel van de nikkel-cadmiumaccu ten opzichte van de loodaccu is dat het opladen sneller kan gebeuren. Ook werkt deze accu nog goed bij lage temperatuur. Dat onze auto's nog niet massaal met Ni-Cd-accu's zijn uitgerust, komt voornamelijk doordat ze ruim tweemaal zo duur zijn als loodaccu's. De accu wordt zowel in een gasdichte als in een open versie vervaardigd. Voor een robuust, schokbestendig geheel krijgen de elektroden vaak de vorm van een gesinterde plaat waarin het actieve materiaal is opgenomen. De fabricage van deze elektroden is nogal duur. Om de kosten te drukken wordt nu overgegaan op schuimnikkel. De onderhoudsvrije, gesloten nikkel-cadmiumbatterijen vinden bij voorkeur toepassing in elektronische apparatuur.

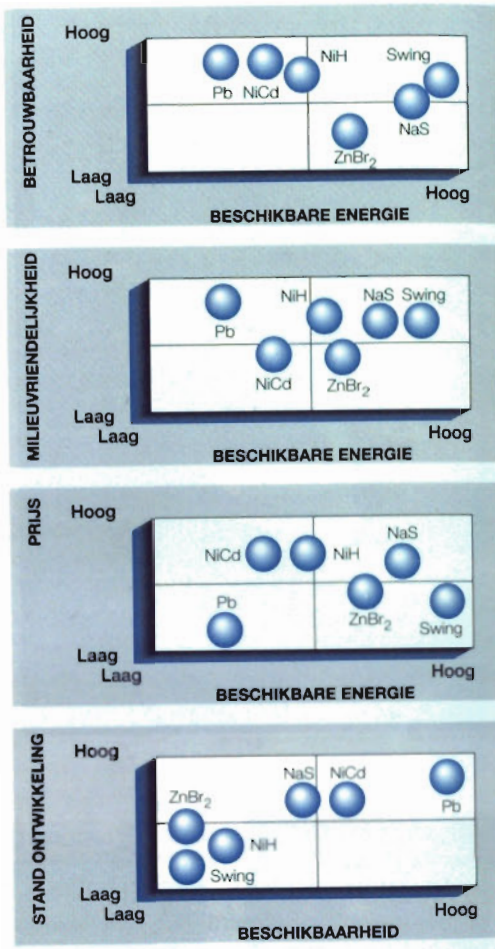
Tot nu toe zijn alle lithiumbatterijen primaire cellen, maar heroplaadbare zijn op komst. Een voorbeeld van een secundaire lithiumcel is de *Li-V₂O₅-batterij*, die is uitgerust met een ionengeleidend polymeer als elektrolyt. Zo is een filmdunne accu met hoge energiedichtheid te fabriceren. Een ander voorbeeld is de *lithi-*

um-swingbatterij. De lithiumelektrode is bij deze cel vervangen door een koolstofstructuur en de kathode bestaat uit een lithium-mangaanmineraal of uit metaaloxiden. De lithium-ionen 'swingen' bij ont- en oplading van de ene naar de andere elektrode (afb. 16).

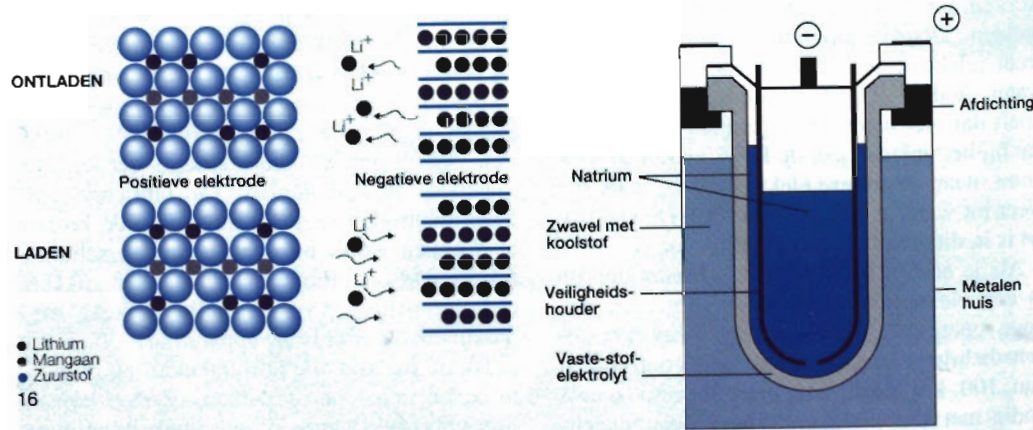
Energierijker

Een doorbraak in de ontwikkeling van accu's met hogere energiedichtheid vormde in 1967 de natrium-zwavelcel. Deze accu (afb. 18) levert 100 tot 150 Wh·kg⁻¹, maar vereist wel een werkt temperatuur van 350°C, zodat natrium en zwavel vloeibaar zijn. De elektrolyt is een keramisch materiaal, β-Al₂O₃. Deze geleider van natriumionen doet tevens dienst als vaste scheidingswand tussen de twee vloeibare elektroden. Dankzij een goede thermische isolatie rond de cel is het warmteverlies zo gering, dat de accu gemakkelijk twee dagen op temperatuur blijft. Vorig jaar is deze accu in productie genomen.

De speurtocht naar energierijkere batterijen resulteerde ook in andere constructies, zoals metaal-gasbatterijen en stromingscellen waarin de elektrolyt wordt rondgepompt. Een voorbeeld is de zink-chlooraccu. Dit is een stromingscel, die thans vooral voor stationaire opslag wordt gebouwd. De elektroden bestaan beiden uit koolstof: bij de ontlading wordt zink geoxydeerd en chloor gereduceerd. Tij-



17



18

16. De ontwikkeling van de lithium-swingbatterij staat nog in de kinderschoenen, maar de verwachtingen ten aanzien van deze oplaadbare bat-
terij zijn hooggespannen. De (kleine) lithiumionen bewegen bij ont- en opladen van de ene naar de andere elektrode.

dens het opladen slaat het zink weer op de elektrode neer en vormt zich aan de andere chloorgas. Dit gas wordt naar een opslagcel gepompt, waar het wordt gekoeld en met water een vaste verbinding vormt.

Het is natuurlijk eenvoudiger als het gas in de cel zelf kan worden opgeslagen. Dit gebeurt in de nikkel-waterstofcel. Deze bestaat uit een nikkeloxide-elektrode en een met platina bedekte, poreuze elektrode waaraan tijdens de ontlading waterstofgas wordt geoxydeerd. Bij de oplading wordt weer waterstof gevormd, dat onder hoge druk (enkele MPa) in de cel zelf bewaard blijft. Het blijkt echter ook mogelijk om in een elektrode waterstof op te

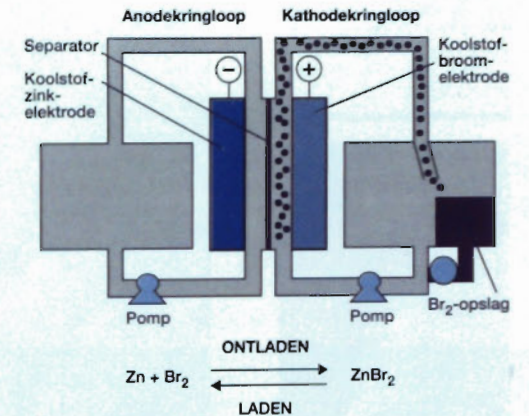
17. Voor een aantal batterijtypen is de energie die zij per kilo kunnen leveren uitgezet tegen enkele andere factoren die de aantrekkelijkheid van een batterij bepalen. Wat opvalt is dat de swingbatterij erg goed scoort, maar nog niet beschikbaar is.

18. De natrium-zwavelcel lijkt onmisbaar als energiebron in de elektrische auto van de toekomst. Toch zal de toepassing ervan beperkt blijven. Auto's die geheel uit batterijen worden gevoed zullen het buiten de stad niet ver brengen. Bovendien maakt de hoge werkt temperatuur de accu alleen geschikt voor voertuigen die dagelijks in gebruik zijn, zodat de accu op temperatuur kan blijven.

19. De zink-broomstromingscel, nauw verwant aan de zink-chloorstromingscel, is een voorbeeld van een geheel nieuw type batterij. Met een brandstofcel heeft die gemeen dat het materiaal dat aan de elektroden reageert gedeeltelijk buiten de cel wordt opgeslagen.

en analysetechnieken worden bestaande batterijen steeds beter. Met de ontwikkeling van nieuwe materialen ontstaan andere perspectieven voor batterijen. Zo leeft in diverse laboratoria al het idee om de recent ontdekte buckyballs (C₆₀) in batterijen toe te passen.

Helaas vermelden fabrikanten niet op alle batterijen in begrijpelijke taal van welk type ze zijn. Er bestaat wel een lettercode, maar voor de meeste gebruikers is dat geheimtaal. Meer produktinformatie over de batterij zou, zeker gezien de vele soorten batterijen, wenselijk zijn. Het vermelden van de uiterste houdbaarheidsdatum is wel het minste wat de fabrikant kan doen.



19

slaan. Dankzij fundamenteel onderzoek van Miedema bij Philips is ontdekt dat waterstof in vrij grote hoeveelheden in metaallegeringen als Ti-Ni of La-Ni kan worden opgenomen. Uit deze bevindingen is in 1975 een nieuwe categorie Ni-H₂-cellen voortgekomen, de metaalhydridebatterijen. Als kleine cel zijn deze batterijen reeds verkrijgbaar. Ze hebben dezelfde celspanning als de nikkel-cadmiumbatterij en zullen waarschijnlijk het milieuschadelijke cadmium gaan vervangen.

De vraag naar batterijen blijft toenemen. De consument wil steeds kleinere batterijen in verband met de miniaturisering van allerlei apparatuur (de smart card) en batterijen die een hoge energiedichtheid hebben, geen onderhoud vergen en bovendien milieuvriendelijk zijn. Dankzij nieuwe produktiemethoden

Literatuur

Euler KJ. Batterien und Brennstoffzellen. Berlin: Springer Verlag, 1982. ISBN 3-540-11378-9.
Kiehne HA ea. Portable Batteries. Ehningen: Expert Verlag, 1988. ISBN 3-8169-0137-9.

Bronvermelding illustraties

Varta AG, Bad Homburg vd Höhe, D: pag. 890-891, 2, 4, 5, 6 en 15
Dowty Batteries Ltd., UK: pag. 891, 9
R&S Renewable Energy Systems, Eindhoven: 1
ESA/ESTEC, Noordwijk: 7
Victor Scheffer fotografie, 's-Gravenhage: 8
Southern California Edison, Rosemead, Californië: 12
Reg Penner/University of California, Irvine, Californië: 13
SAFT, Romainville, F: 14 (foto: Jack Burlot)