

# Batterijen

*door ir. Martine Segers,  
freelance wetenschapsjournalist*

Deze Chemische Feitelijkheid is geschreven in samenwerking met dr.ir. Dick Schmal van TNO Milieu, Energie en Procesinnovatie (TNO MEP), afdeling energiesystemen, postbus 342, 7300 AH Apeldoorn. tel. 055-549 38 47 / 015-269 60 87, e-mail: d.schmal@mep.tno.nl

1.	Inleiding	205- 3
2.	Globale werking van een batterij	205- 4
3.	Kenmerken van niet-oplaadbare batterijen	205- 5
3.1	Alkalinebatterij	205- 5
3.2	Lithiummangaanbatterij	205- 6
3.3	Zinkluchtbatterij	205- 7
4.	Kenmerken van oplaadbare batterijen	205- 8
4.1	Loodaccu	205- 8
4.2	Nikkelcadmiumbatterij	205- 9
4.3	Nikkelmetaalhydride	205-10
4.4	Lithiumionbatterij	205-11
5.	Veiligheidsmechanismen	205-12
6.	Wetgeving	205-13
6.1	Kwikgebruik	205-13
6.2	Besluit 'beheer batterijen'	205-13
7.	Recycling	205-14
8.	Nieuwe ontwikkelingen	205-15
8.1	Bussen en auto's op batterijen	205-15
8.2	Batterijen als buffer in het elektriciteitsnetwerk	205-16
8.3	Brandstofcel als mogelijke opvolger van de batterij	205-17
9.	Literatuur en websites	205-18

Chemische Feitelijkheden is een uitgave van ten Hagen & Stam bv in samenwerking met de Koninklijke Nederlandse Chemische Vereniging.



## 1. Inleiding

Batterijen zijn populairder dan ooit. Ze leveren niet alleen energie voor traditionele toepassingen zoals afstandbediening, reiswekker, rookmelder of gehoortoestel, maar ook voor moderne toepassingen in bijvoorbeeld de mobiele telefoon, de discman, het digitale fototoestel, de labtop, de elektrische tandenborstel en de afstandbediening van het autoalarm. In 2002 gingen er in Nederland zo'n 200 miljoen batterijen over de toonbank.

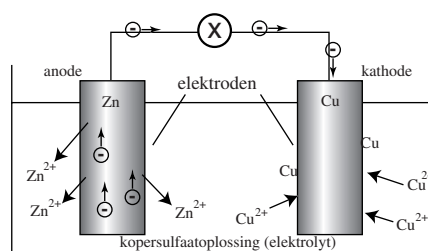
Met name het enorme succes van de mobiele telefoon was niet mogelijk geweest zonder flinke verbeteringen in de hoeveelheid energie die kleine oplaadbare batterijen kunnen opslaan. De eerste mobiele telefoons hadden in 1985 nog een loodaccu nodig ter grootte van een attachékoffer. Vandaar ook de naam autotelefoon. Zonder auto was hij nauwelijks te vervoeren. In de eerste praktische mobiele telefoons zaten nikkelcadmiumbatterijen met een dikte van zo'n vijf centimeter.

Tegenwoordig bellen we mobiel met een oplaadbare lithiumionbatterij van amper vier millimeter dik, een halve creditkaart groot en een gewicht van minder dan dertig gram. Deze batterij kan per gram batterij drie keer zoveel energie opslaan als de nikkelcadmiumbatterij. Verder is de energiedichtheid de afgelopen jaren nog met enkele tientallen procenten toegenomen door de keuze voor langere en dunnere elektrodes die opgerold of opgevouwen kunnen worden en hierdoor een groter contactoppervlak hebben waardoor de batterijreacties efficiënter verlopen. Tegelijkertijd is overigens het energieverbruik van de mobiele telefoons met een factor drie afgenomen door ontwikkeling van elektronica die weer efficiënter gebruik maakt van de energie uit een batterij.

Batterijen met een hoge energiedichtheid hebben ook een nadeel. Als bij kortsluiting al die energie ineens vrijkomt in een klein hermetisch afgesloten metalen omhulsel, kan zo'n batterij ontploffen. Fabrikanten hebben daar allerlei beveiligingsmechanismen tegen ontwikkeld, maar een enkele keer gaat het toch fout, getuige de krantenberichten over ontplofte mobieltjes.

## 2. Globale werking van een batterij

Een batterij zet chemische energie om in elektrische energie. Twee elektrodes met een verschillende elektrische potentiaal vormen de plus- en de minpool, ook wel kathode en anode genoemd. Deze elektrodes worden gescheiden door een elektrolyt, meestal een vloeistof die ionen geleidt. De elektrolyt is vaak een waterige oplossing van een zout of een zuur met een verdikkingsmiddel, bijvoorbeeld siliciumdioxide. Maar het kan ook een organische vloeistof zijn of een polymeer. Een vloeibare elektrolyt wordt opgezogen in een niet-geleidende poreuze kunststof, de separator, om kortsluiting te voorkomen. Als voorbeeld volgt hier de werking van een eenvoudige batterij: een staafje zink en een staafje koper dat is ondergedompeld in een koper-sulfaatoplossing (zie Figuur 1).



Figuur 1. Schematische weergave van de werking van een zinkkoperbatterij.

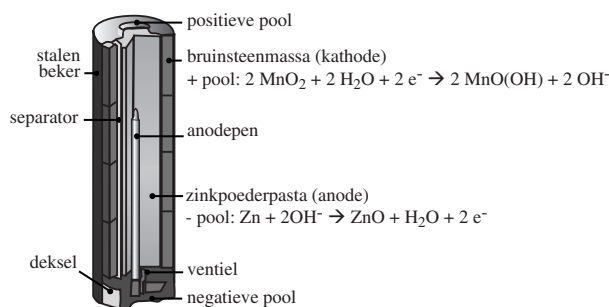
Het potentiaalverschil tussen beide polen ontstaat doordat de twee gekozen metalen in een waterige oplossing in verschillende mate oplossen. Zink (Zn) is een onedel metaal en lost gemakkelijk op. Daarbij gaan zinkionen ( $Zn^{2+}$ ) in oplossing en blijft een overschot aan elektronen achter op de zinkstaaf. De zinkstaaf wordt hierdoor de negatieve pool. Via de draad bereiken de elektronen de koperelektrode (Cu) die de aangevoerde elektronen gemakkelijk opneemt waarbij de koperionen ( $Cu^{2+}$ ) uit de oplossing juist neerslaan tot metallisch koper, Cu. Doordat er bij de zinkelektrode elektronen afgevoerd worden, kunnen er hier weer meer zinkionen in oplossing gaan. Als alle koperionen uit de elektrolyt neergeslagen zijn op de koperelektrode houdt de elektronenstroom op en is de batterij 'leeg'.

### 3. Kenmerken van niet-oplaadbare batterijen

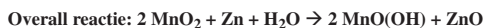
Veel apparaten zijn niet geschikt voor oplaadbare batterijen, omdat deze batterijen ook stroom lekken als ze niet gebruikt worden. Dit wordt ook wel zelfontlading genoemd. Daarom is het in het algemeen beter geen oplaadbare batterijen te gebruiken voor horloges en afstandbedieningen die maar weinig stroom nodig hebben en voor apparaten die niet dagelijks gebruikt worden zoals een zaklantaarn of dicteerapparaat. Niet-oplaadbare batterijen lekken nauwelijks stroom en blijven tot vijf jaar goed als ze niet worden gebruikt.

#### 3.1 Alkalinebatterij

Alkalinebatterijen (zie Figuur 2) zijn de meest gebruikte niet-oplaadbare batterijen. De negatieve pool bestaat uit zinkpoederpasta. Voordel hiervan is dat dit een groot zinkoppervlak oplevert waardoor deze batterij indien nodig een relatief grote stroomsterkte kan leveren. De positieve pool bestaat uit een laag van mangaanoxide en grafiet. Alkalinebatterijen worden toegepast in onder meer discmans en afstandsbedieningen. Ze hebben grotendeels de vroeger veel gebruikte zinkkoolstofbatterijen vervangen. Hierbij is de anode een zinkbeker en de kathode bruinsteen. De chemische reacties zijn min of meer vergelijkbaar met die van de alkalinebatterij.



0886-0397



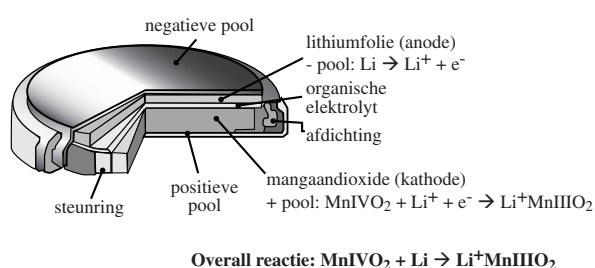
Figuur 2. Alkalinebatterij: opbouw en batterijreacties.

In de alkalinebatterij zat tot begin jaren negentig ook één procent kwik als stabilisator om de omzetting van zink en water in zinkoxide en waterstof tegen te gaan. Kwik werkt als stabilisator doordat het samensmelt met zink; het 'veredelt' zo het zink en onderdrukt de ongewenste vorming van waterstof. Inmiddels is het giftige kwik in alle alkalinebatterijen vervangen door minder giftige stabilisatoren, zoals kleine hoeveelheden bismut, aluminium of calcium.

Binnenkort (april 2004) wordt een nieuw type alkalinebatterij geïntroduceerd, de zogenoemde AA-batterij, met Oxyride technologie. Het zijn 1,5 volt wegwerpbatterijen die aanzienlijk meer stroom kunnen leveren, en vooral interessant zijn voor gebruik in energievretende apparaten zoals digitale camera's met flits. De innovatie van Oxyride zit in het kathodemateriaal en de productiemethode. Het traditionele mangaanoxide is vervangen door een combinatie van mangaanoxide en nikkeldhydroxide. De anode is zoals gebruikelijk in de alkalinebatterij van zink. De elektrolytvloeistof wordt onder een tamelijk hoge druk in de batterij gestopt.

### 3.2 Lithiummangaanoxidebatterij

In opkomst als niet-oplaadbare batterij zijn de lithiummangaanoxidebatterijen (zie Figuur 3) met een hoge energiedichtheid en een groot vermogen. Het grote voordeel van lithium is dat het zowel het lichtste metaal is als de beste reductor, dat wil zeggen: zeer gemakkelijk elektronen afstaat. Hierdoor zijn spanningen tot vier volt te bereiken.



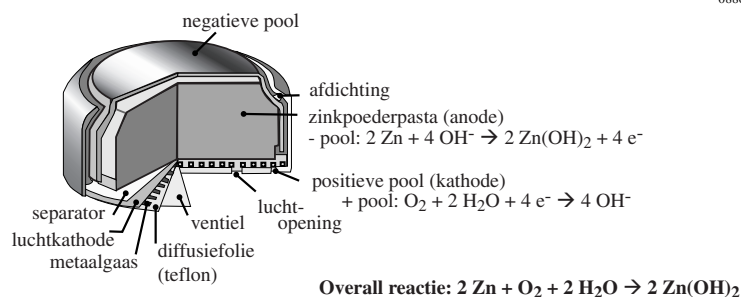
Figuur 3. Lithiummangaanoxidebatterij: opbouw en batterijreacties.

Bovendien is dit type batterijen lang houdbaar door de zeer geringe zelfontlading. Deze batterij vindt zijn weg vooral naar (digitale) foto- en videocamera's en andere elektronische en telecommunicatie-apparatuur.

### 3.3 Zinkluchtbatterij

Voor specifieke toepassingen zijn de zinkluchtbatterijen interessant (zie Figuur 4). Deze knoopcel gebruikt zuurstof uit de lucht als oxidator, waardoor bijna de gehele batterijruimte voor zinkpoeder beschikbaar is. De vloeibare elektrolyt is aanwezig in een poreus plastic materiaal. Dit voorkomt dat de elektrolyt uit de batterij lekt via de kleine openingen in de batterij die nodig zijn om de lucht op te nemen. Bij de kathode wordt de zuurstof gereduceerd. Samen met de waterstofionen uit het zuur in de batterij vormt dit gereduceerde zuurstof water.

Zodra de batterij geactiveerd is door lucht toe te laten, begint een continu proces van zelfontlading. Dat maakt deze relatief lichte batterijen alleen geschikt voor apparaten die continu stroom nodig hebben, zoals gehoortoestellen. In een grotere uitvoering worden ze ook gebruikt voor bijvoorbeeld mobiele knipperlichten die automobilisten waarschuwen voor wegwerkzaamheden.



Figuur 4. Kleine zinkluchtbatterij: opbouw en batterijreacties.

#### 4. Kenmerken van oplaadbare batterijen

Bij oplaadbare batterijen is de elektrochemische reactie omkeerbaar door het toevoeren van een tegengestelde stroom. Bij dit opladen van een batterij wordt elektrische energie omgezet in chemische energie, waarbij de oorspronkelijke stoffen weer ontstaan.

Batterijen met zink- of lithiumfolie zijn moeilijk langdurig herlaadbaar te maken. Dat komt omdat deze metalen bij het laden dendriten vormen, kleine metaalnaaldjes. Bij elke oplaadbeurt zouden deze naaldjes langer worden en zo richting de andere elektrode van de batterij groeien. Wanneer ze die bereiken, is dat fataal voor de werking van een batterij. Direct contact tussen beide polen levert immers lokale kortsluiting, waardoor de batterij snel het einde van zijn levensduur bereikt.

Bij elektrochemische koppels die geen problemen leveren bij het herladen is energiedichtheid tegenwoordig het toverwoord. Batterijproducenten zijn voortdurend op zoek naar betere materialen voor het elektrochemische koppel om nog meer elektriciteit te kunnen opslaan per kubieke centimeter en/of per kilo. Nikkelcadmiumbatterijen leveren 40 tot 50 Wh per kilo. Een nikkelmetaalhydridebatterij van hetzelfde gewicht levert bijna dubbel zoveel energie, 80 tot 90 Wh/kilo. En de introductie van de lithiumionbatterijen zorgde begin deze eeuw weer bijna voor een verdubbeling tot 150 à 200 Wh/kilo.

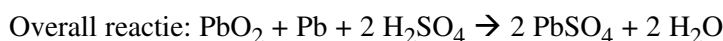
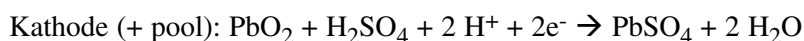
Daarnaast verbeterde de energiedichtheid ook nog met enkele tientallen procenten door de structuur van een batterij te veranderen. In lithiumionbatterijen in moderne mobiele telefoons zitten namelijk geen compacte elektrodes, maar hele lange dunne folies van slechts 100 tot 200 micron dik. Hierdoor ontstaat een groter contactoppervlak voor de elektrochemische reactie. De elektrodes worden gescheiden door een separator met elektrolyt van slechts enkele tienden van een millimeter dik. In een batterij van één centimeter zitten zo'n twintig lagen op elkaar gevouwen.

##### 4.1 Loodaccu

De loodaccu, de oerbatterij die over de hele wereld bij auto's als startaccu wordt gebruikt, was de eerste batterij die toegepast werd als

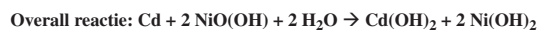
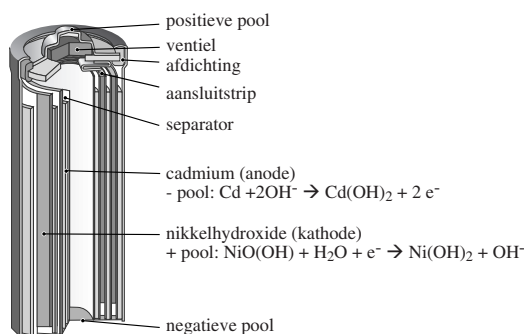


oplaadbare batterij. In geladen toestand bestaat de minpool uit zuiver lood en de pluspool uit loodoxide. Bij het ontladen komen bij de elektrode van zuiver lood elektronen vrij wanneer er loodionen in oplossing gaan. Deze elektroden stromen naar de elektrode van loodoxide. Dankzij deze elektronen gaat daar het vierwaardige lood in het loodoxide in oplossing als het tweewaardige lood in loodsulfaat. De batterijreacties zijn:  
(→ ontladen)



## 4.2 Nikkelcadmiumbatterij

Een nikkelcadmiumbatterij (zie Figuur 5) heeft een kathode van nikkeloxyhydroxide, een anode van cadmium en als elektrolyt een oplossing van kaliumhydroxide. Bij de ontlading ontstaat  $\text{Cd(OH)}_2$  en  $\text{Ni(OH)}_2$ , bij het opladen worden weer zuiver cadmium en  $\text{NiOOH}$  gevormd.



Figuur 5. Nikkelcadmiumbatterij: opbouw en batterijreacties.

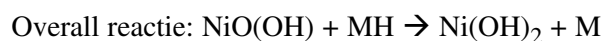
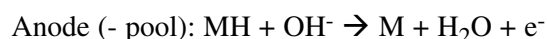
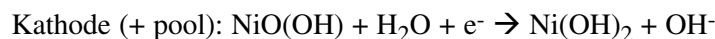
## 205-10 Batterijen

Nikkelcadmiumbatterijen kunnen hoge stroomsterktes leveren en dat maakt ze geschikt voor gebruik in zware apparaten zoals boormachines. Ze zijn ook relatief goedkoop. Nadeel is dat ze het milieuvriendelijke cadmium bevatten, een metaal dat zich bij mensen kan ophopen in de nieren en daar blijvende schade kan aanrichten. Daarnaast heeft dit type batterij een relatief lage energiedichtheid.

Types met gesinterd nikkel, waarbij het nikkel een sponsachtig oppervlak heeft, hebben bovendien last van het geheugeneffect. Hierdoor kan een batterij die regelmatig opnieuw opgeladen wordt voordat hij echt leeg is, op een gegeven moment niet meer helemaal ontladen worden. Een deel van de cadmiumelektrode wordt dan namelijk inactief doordat de porositeit afneemt (door het ontstaan van grotere cadmiumdeeltjes).

### 4.3 Nikkelmetaalhydride

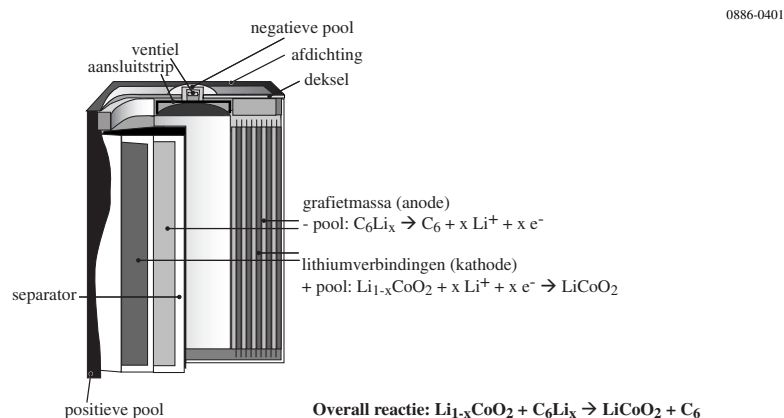
De nikkelmetaalhydridebatterij is de milieuvriendelijkere opvolger van de nikkelcadmiumbatterij en is een keer of duizend op te laden zonder dat hij last heeft van het geheugeneffect. In de nikkelmetaalhydride batterij vinden de volgende reacties plaats: (waarbij  $\rightarrow$  ontladen)



Nikkel is de positieve elektrode en als negatieve elektrode is cadmium vervangen door een metaallegering die waterstof loslaat of absorbeert. De legering kan bijvoorbeeld bestaan uit een mengsel van nikkel en magnesium of nikkel en een lanthanide. Als elektrolyt wordt gekozen voor een geconcentreerde kaliumhydroxideoplossing. Er vindt nog altijd onderzoek plaats naar het metaalmengsel dat het meeste waterstof kan absorberen. Meer waterstof betekent immers dat de batterij per laadcyclus meer energie kan opslaan.

#### 4.4 Lithiumionbatterij

De lithiumionbatterij (zie Figuur 6) kwam eind jaren negentig op de markt en zit tegenwoordig in bijna elke mobiele telefoon, vanwege zijn hoge energiedichtheid. Het lithium is in deze batterij niet als metaalfolie aanwezig, maar is opgenomen in koolstof. Zo werd het mogelijk om de vorming van metaalnaaldjes te voorkomen bij het opladen van de batterij. Qua gewichtspercentage bevat dit type batterij slechts zo'n twee procent lithium.



Figuur 6. Opbouw van een lithiumionbatterij: opbouw en batterijreacties.

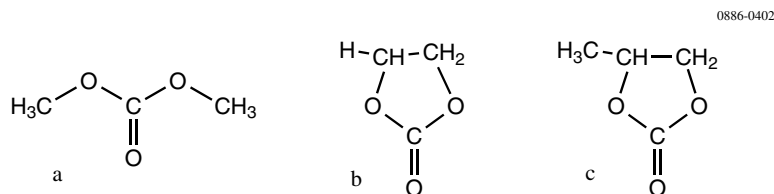
De negatieve elektrode bestaat uit poreus koolstof. Tijdens het laden worden de poriën van de koolstofelektrode negatief geladen en kruipen de positief geladen lithiumionen in deze poriën. Tijdens het ontladen migreren de lithiumionen naar de positieve elektrode van kobalt- of mangaanoxide en gaan daar een binding aan met het kobalt- of mangaanoxide. Tijdens het laden wordt het lithium in  $\text{LiCoO}_2$  vervolgens weer geïoniseerd.

In feite jojoën de lithiumionen tussen de twee elektrodes heen en weer, steeds als de batterij beurtelings wordt ontladen en weer wordt opgeladen. Om die reden wordt de lithiumionbatterij ook wel eens een swing-batterij genoemd. De capaciteit van dit type batterij is

## 205-12 Batterijen

afhankelijk van de hoeveelheid lithiumionen die door de poriën van de koolstofelektrode reversibel kunnen worden opgenomen.

De elektrolyt mag in een lithiumionbatterij geen water bevatten, omdat lithium erg reactief is als het in contact met water komt. Bij contact met water vormt het vrijwel direct lithiumhydroxide waarbij eenmalig veel warmte vrijkomt. Als vloeibare elektrolyt in lithiumionbatterijen worden daarom lithiumfluorzouten in een organische elektrolyt gebruikt, zoals propyleencarbonaat, ethyleencarbonaat of dimethylcarbonaat (zie Figuur 7). Deze organische vloeistoffen zijn te gebruiken tussen de -20 en +60 °C.



*Figuur 7. Structuurformules van de organische elektrolyten dimethylcarbonaat (a), ethyleencarbonaat (b) en propyleencarbonaat(c).*

In Japan zijn ook al lithiumionbatterijen op de markt waarbij de organische vloeibare elektrolyt vervangen is door een polymeer. Om welke polymeren het gaat is fabrieksgeheim. Wel is duidelijk dat het lastig is om goede polymeren te vinden die zowel voldoende ionen geleiden als stabiel zijn als ze in contact komen met de elektroden.

Gebruik van polymere elektrolyt in plaats van vloeibare elektrolyt vereenvoudigt het productieproces. Het polymeer kan namelijk direct mee worden meegerold tussen de elektrodes en hoeft niet later apart te worden opgezogen in een laag poreus plastic. Bovendien kan bij beschadiging van de batterij geen vloeistof vrijkomen.

## 5. Veiligheidsmechanismen

Bij kortsluiting kan zoveel warmte vrijkomen dat de elektrolyt verdampst, als het een vloeistof is, of ontleedt, als het om een polymeer

gaat. In beide gevallen vindt er gasontwikkeling plaats. Om in zo'n geval ontploffing te voorkomen, hebben moderne batterijen een overdrukventiel, een klein kogeltje met een veertje dat bij een bepaalde overdruk gas naar buiten laat. Daarnaast is nog een aantal aanvullende veiligheidsmechanismen ingebouwd die onafhankelijk van elkaar functioneren en bescherming bieden als het ventiel onverhoopt toch niet zou werken. Eén daarvan is een hogestroombeveiliging. Een bimetaal bestaande uit twee metalen met een verschillende uitzettingscoëfficiënt trekt bij te hoge stroom krom waardoor het circuit onderbroken wordt. In mobiele telefoons wordt bovendien de hoogte van de spanning tijdens het opladen van de batterij via ingebouwde software bewaakt. Soms is deze software ingebouwd op een klein chipje in de batterij zelf.

Fabrikanten werken nu aan een vierde veiligheidsmechanisme dat een inherente veiligheid moet leveren. Het gaat om een combinatie van chemische stoffen in de elektrolyt die polymeriseren als de temperatuur toeneemt, waarbij de weerstand toeneemt en de stroom stopt. Het is echter lastig om stoffen te vinden met deze eigenschap die niet tegelijkertijd de oplaadbaarheid van de batterij verslechteren.

## **6. Wetgeving**

### **6.1 Kwikgebruik**

De Nederlandse overheid heeft afgelopen tien jaar via wetgeving fabrikanten van batterijen gedwongen het kwikgebruik te minimaliseren met steeds strengere regelgeving. Vanaf 1 januari 2000 mogen alkalinebatterijen niet meer dan 0,0005 gewichtsprocent kwik bevatten. Voor knooppellen geldt een uitzondering, een maximum van twee gewichtsprocent.

### **6.2 Besluit 'beheer batterijen'**

Eind jaren tachtig werd bekend dat ingezamelde batterijen uit Nederland op stortplaatsen in de toenmalige DDR belandden. Sinds 1 januari 1990 is dit verboden. Er is toen op de Maasvlakte een speci-

aal C2-deponie ingericht, een goed van de omgeving afgeschermd bak waar de batterijen in gedumpt werden.

Via een convenant wilde de overheid vervolgens fabrikanten stimuleren de metalen uit de afgedankte batterijen te recyclen. In 1994 kregen fabrikanten en importeurs, verenigd in de Nefibat, de opdracht een verwijderingsplan te maken voor 1 januari 1995. Indien Nefibat deze opdracht niet zou volbrengen, zou de overheid de invoering van een statiegeldsysteem opleggen. Het resulteerde in het Besluit 'beheer batterijen' dat op 10 maart 1995 in werking is getreden. In dit besluit is onder meer opgenomen dat diegene die als producent of importeur batterijen of producten met batterijen als eerste op de Nederlandse markt brengt, verplicht is maatregelen te nemen. Zo'n producent of importeur moet ervoor zorgen dat de batterijen die zij verkopen "na gebruik worden ingenomen en worden verwerkt met het oog op hergebruik". De uitvoering van dit convenant kwam in handen van de Stichting Batterij (Stibat). Geld voor de uitvoering komt uit de verwijderingsbijdrage die consumenten voor hun batterijen zijn gaan betalen.

Tot slot moet sinds 1 juli 1995 de verpakking, van alle batterijen die in Nederland op de markt worden gebracht, voorzien zijn van een kca-logo voor klein chemisch afval. Dit logo geeft aan dat consumenten de batterijen niet in de gewone vuilnisbak mogen gooien.

## 7. Recycling

De Stichting Batterij zamelt jaarlijks bijna tweeduizend ton batterijen in via een landelijk netwerk van inzamelpunten. Op een centrale plaats in Nederland worden de ingezamelde batterijen vervolgens gesorteerd en naar diverse fabrieken in Nederland en andere landen in West-Europa getransporteerd voor recycling. Bij recycling gaat het om de terugwinning van de metalen waar batterijen voor 60 tot 80 procent uit bestaan. Volgens de Stichting Batterij levert de totale batterijrecycling momenteel een energiebesparing op die is te vergelijken met het jaarlijkse gasverbruik van 223 huishoudens.

De kwikvrije zinkkoolstofbatterijen (met een zinkbeker als anode en een kathode van bruinsteen) blijven in Nederland. De firma Nedstaal in Alblasterdam voegt bij de productie van staal uit schroot maximaal

0,8 procent kwik- en cadmiumarme batterijen toe. Het staalschroot en de batterijen worden gesmolten bij een temperatuur van ongeveer 1600 °C . Het toegevoegde ijzer uit de batterijen komt in het staal terecht en de organische en/of koolstofhoudende componenten vervangen gedeeltelijk de toevoeging van koolstofdragers als energiebron. Daarnaast lost de koolstof uit de batterijen op in vloeibaar staal en verlaagt zo het smeltpunt van staal. Oxidatie van het via de batterijen toegevoegde zink levert bovendien extra energie op tijdens het smeltproces.

Alkalinebatterijen en mengsels met zowel alkaline- als zinkkoolstofbatterijen gaan naar het bedrijf Valdi in Frankrijk dat ferromangaan en zinkoxide produceert met als enige grondstof batterijen. Net als bij Nedstaal worden de batterijen gesmolten bij een temperatuur van 1600 °C. Organische componenten zoals papier, plastics en teer verbranden bij die temperatuur geheel. Het zink verdampt, wordt geoxideerd tot zinkoxide en met de gasstroom afgevoerd naar de gasfilters. Mangaan en ijzer worden in ferromangaanstaven gegoten.

Andere Franse bedrijven winnen via vergelijkbare smeltprocedures ferronikkel en cadmium terug uit nikkelcadmium- en nikkelmetaalhydridebatterijen, waarbij cadmium in vacuüm geprecipiteerd (gebonden en neergeslagen) wordt. Uit lithiumionbatterijen worden in Frankrijk alleen nog kleine fracties kostbare metalen teruggewonnen, waaronder kobalt. Slecht sorteerbare batterijen waar mogelijk kwik in zit, gaan naar Zwitserland waar diverse metalen teruggewonnen worden en de kwikdamp veilig verwerkt kan worden.

## **8. Nieuwe ontwikkelingen**

### **8.1 Bussen en auto's op batterijen**

De toename van de energiedichtheid van batterijen maken ze ook interessanter voor toepassingen in voertuigen. Om een auto alleen op batterijen te laten rijden is echter het benodigde gewicht aan batterijen nog steeds te groot. Daarnaast duurt het opladen van een batterij veel langer dan het tanken van bijvoorbeeld benzine.

Meer succesvol lijken de hybride elektrische voertuigen met een verbrandingsmotor en een batterij. De verbrandingsmotor zorgt, eenvoud-

dig gezegd, voor het gemiddeld benodigd vermogen om te rijden, terwijl de batterij de extra energie levert die nodig is bij bijvoorbeeld accelereren en inhalen. Daarnaast wordt de batterij gebruikt voor opslag van energie die vrijkomt bij remmen, waarbij de elektromotor werkt als generator. Op deze manier kan de verbrandingsmotor op een constant optimaal vermogen draaien, waarbij de brandstof zo efficiënt mogelijk wordt omgezet in energie en de uitstoot van vervuulende stoffen minimaal is. Vooral in grote steden met serieuze luchtverontreinigingproblemen kan een hybride bus of hybride auto aantrekkelijk zijn. In Eindhoven rijdt al een prototype van een hybride elektrische bus met nikkelmetaalhydridebatterijen en binnenkort gaan er meer dan tien rijden. Verder hebben Honda en Toyota al hybride personenauto's op de markt gebracht met nikkelmetaalhydridebatterijen. Naast nikkelmetaalhydridebatterijen worden ook lithiumionbatterijen voor dit soort toepassingen ontwikkeld en getest in voertuigen. Toepassing in commerciële voertuigen is in een beginstadium.

Verder wordt al een aantal jaren gewerkt aan de ontwikkeling van natrium-nikkelchloridebatterijen voor (hybride) elektrische voertuigen. Deze batterij heeft een relatief hoge energiedichtheid van ongeveer 100 Wh/kilo, maar werkt pas bij 300 °C. Daarom is dit nieuwe type batterij, dat nog niet op de markt is, vooral interessant voor voertuigen die bijna altijd in gebruik zijn, zoals bestelauto's. Dan hoeft de batterij slechts eenmaal via een verwarmingselement opgewarmd te worden. Daarna is de warmte van de motor genoeg om de temperatuur op niveau te houden.

Bij 300 °C kunnen in het vloeibare natrium natriumionen gevormd worden, iets wat bij lagere temperaturen en in water niet mogelijk is. Een keramische elektrolyt van aluminiumoxide, die er uitziet als een dikke pvc-buis, laat de natriumionen door op hun weg naar de nikkelchloride-elektrode.

## 8.2 Batterijen als buffer in het elektriciteitsnetwerk

Grootschalige introductie van duurzame energie zoals zonne- en windenergie kan ook ondersteund worden door batterijen. Die kunnen bij piekproductie elektriciteit opslaan en bij piekvraag juist elek-



triciteit leveren. Zo zijn fluctuaties in vraag en aanbod beter op te vangen.

TNO denkt dat batterijen ook een relatief goedkope oplossing kunnen vormen op plaatsen waar het ondergrondse elektriciteitsdistributienetwerk zijn capaciteitsgrenzen bijna bereikt heeft. Het uitgangspunt is dat elektriciteitscentrales buiten de piekuren goedkope elektriciteit aanbieden, die bedrijven afnemen en opslaan in batterijen. Op die manier hebben ze op piekmomenten extra elektriciteit beschikbaar, zonder dat er dure extra ondergrondse elektriciteitskabels aangelegd hoeven te worden.

### **8.3 Brandstofcel als mogelijke opvolger van de batterij**

Microbrandstofcellen die energie halen uit de reactie tussen waterstof en zuurstof zijn in theorie aantrekkelijk als mobiele krachtbron. Theoretisch hebben ze namelijk een hoge energiedichtheid van 1000 Wh/kilo, terwijl de beste batterij nu niet boven de 200 uitkomt. Groot probleem is echter de werktemperatuur van de daarvoor in ontwikkeling zijnde polymere brandstofcellen (70 à 80 °C). Bij lagere temperaturen leveren ze minder vermogen, waardoor ze aan aantrekkelijkheid inleveren. Er is nog veel technologische ontwikkeling nodig om daadwerkelijk een hogere energiedichtheid te bereiken dan met lithiumionbatterijen mogelijk is.

## 9. Literatuur en websites

- C. Jongeneel, *Batterij is blok aan het been*, Natuurwetenschap & Techniek, 71e jaargang, 2003, nr. 11, 88-89.
- B. Scholtens, *Mobieltje kán soms ontploffen*, Volkskrant, 15-10-2003, 17.
- R. Knoppers, *Gasvorming in batterij GSM*, NRC Handelsblad, 14-10-2003, 12.
- F.A. Brockhaus, *Zo werkt dat!; de techniek van vandaag*, Uitgeverij Het Spectrum, Utrecht, 2003, ISBN 90 274 7907 0.
- B. van Oosterhout, *De onstilbare honger naar slimmere batterijen*, Intermediair, 24-1-2002.
- M. Dees, *Techniek in woord en beeld; een volledig overzicht van wat ons aan techniek omringt*, Uitgeverij Het Spectrum, Utrecht, tweede druk 1994, ISBN 90 274 3068 3.
- G.C.J. Rouweler, *Batterijen*, Chemische Feitelijkheid 92, november 1992.

## Internet

- Stichting Batterij: <http://www.stibat.nl>
- Europese en Nederlandse wetgeving: <http://www.eu-milieubeleid.nl/ch05s11.html>
- Milieueffectrapport landelijk afvalbeheersplan, achtergronddocument over batterijen: [http://www.aoo.nl/images1/aoo\\_nl/bestanden/A05\\_batterijen.pdf](http://www.aoo.nl/images1/aoo_nl/bestanden/A05_batterijen.pdf)
- General information: <http://home.howstuffworks.com/battery.htm> en <http://auto.howstuffworks.com/hybrid-car.htm>