

DE SIDDERMENS

Ons lichaam als energiebron

Rijkert Knoppers

De doelmatigheid van het menselijke lichaam om energie uit voedsel om te zetten in hoofdzakelijk beweging is ongeveer 20 procent. Desalniettemin is de efficiëntie van de menselijke machine de hoogste van het dierenrijk. Dat van het paard komt nauwelijks boven de 10 procent uit, en dat van de os is nog lager.

Vrij naar: Jean-Claude Debeir, e.a.

Colofon

1e druk 2018

Copyright: Rijkert Knoppers

Foto auteur achterkant: Heske Knoppers

Uitgeverij: Techwatch

ISBN: 978-90-827074-0-3

Ontwerp omslag en opmaak: Justin López

Inhoud

Voorwoord	12
Inleiding	16
Deel 1. Incidenteel stroom opwekken	
1. Voetkracht	28
2. Handkracht	32
Knijpen	32
Zwengelen	32
Schudden	34
Roterend bewegen	36
Trekken	37
Trommelen	39
3. Schommelen	40
4. Afscheidingsproducten	42
Fecaliën	42
Urine	43
Speeksel	45
Deel 2. Continu stroom opwekken: passief	
5. Elektriciteit maken met je adem	50
Luchtmasker	50
Broekriem	52
Grafeen	52
6. Stroom uit je bloed	54
Brandstofcel	54
Biobatterij	55
Sieraden	58
Celluloseaccu	59
Bloeddruk	60
7. Energie uit je oren	62
Temperatuurverschil	62
Potentialverschil	62

8. Profiteren van je hartslag	64
iTeng	64
Schudmachine	66
Hydraulische aandrijving	66
Plaatvormige generatoren	68
Het HBS-consortium	68
9. Elektriciteit uit warmte	71
Zaklamp	71
Kaplaarzen	73
Thermo-elektrische kleding	73
Slaapzak	76
Armband	77
Plaktattoos	77
Horloges	79

Deel 3. Continu stroom opwekken: actief

10. Het stroomt uit je vingers	82
Toetsenbord	82
Nanotechnologie	83
Handschoenen	84
11. Kauwend aan de slag	86
Kinband	86
Oorgenerator	87
12. Stroom tijdens het lopen	88
Wrijvende stoffen	88
- <i>Teng</i>	88
- <i>Rekbare generator</i>	89
Zwaaierende armen	91
Verticale bewegingen	93
- <i>De Ampy</i>	93
- <i>Trilbatterij</i>	95
- <i>Rugzak</i>	95
- <i>Borsten</i>	96
Schoenen	97
- <i>Hak</i>	98
- <i>Losse zool</i>	101
- <i>Piëzo-elektrische generator</i>	102
- <i>Verbeterde piëzo-elektrische omzetter</i>	104

- <i>Microturbines</i>	106
- <i>Trekschoenen</i>	107
- <i>Omgekeerde elektrowetting</i>	108
Knieën	110
- <i>Kniebeugels</i>	110
- <i>Piëzo-elektrische kniegenerator</i>	112
13. Conclusie	114
Bijlagen	115
Waarom heb je mobiele stroom nodig?	116
De belangrijkste technieken	123
Eenheden	125
Afkortingen	126
Literatuur	128

Voorwoord

Wie zou er niet altijd en overal over elektriciteit willen beschikken? Of je nu thuis bent, in de duinen wandelt, in je auto rijdt of in je zeilboot vaart, stroom komt altijd goed van pas. Al was het maar voor je kunstnier, je hoorapparaat, je stappenteller of je smartphone.

Het met je meedragen van elektrische apparatuur is niet iets van de laatste jaren. Dit heeft een lange traditie die teruggaat tot 1881, toen de in Parijs woonachtige elektrotechnische ingenieur Gustave Pierre Trouvé zijn vinding openbaar maakte: jurken en haarspelden die voorzien waren van elektrisch verlichte juwelen. Een zware batterij zorgde voor de benodigde stroom.

Twee jaar daarna introduceerde Trouvé de Photophore: een draadloze hoofd-lamp voor chirurgen. Een batterij voorkwam dat de arts tijdens de operatie last zou krijgen van los bungelende elektriciteitsdraden tussen lamp en stop-contact. Later maakte Trouvé de lamp ook geschikt voor reddingsbrigades, mijnwerkers en speleologen.

In 1902 vond de Amerikaan Miller Reese Hutchison het eerste elektronische hoortoestel uit, de Acousticon. Ook hierbij was een batterij noodzakelijk, net zoals bijvoorbeeld bij de pacemaker uit 1958 en negen jaar later bij de eerste draagbare elektronische rekenmachine, ontwikkeld door Jack Kilby, de uitvinder van de chip. Inmiddels heeft het aantal *wearables* een enorme vlucht genomen. Wat bedieningsgemak betreft is dit in veel gevallen een gunstige ontwikkeling, al is een minpunt dat de werkingsduur van de batterijen vaak zeer beperkt is. Daarnaast bevatten batterijen veel schadelijke stoffen, zoals cadmium, lood en kwik. Niet voor niets hoort de batterij aan het eind van zijn leven bij het klein chemisch afval. Het probleem is fors, want er is een enorme hoeveelheid batterijen in omloop. Zo waren er volgens cijfers van de Stichting Batterijen (Stibat) in 2015 in totaal 850 miljoen batterijen in ons land. Daarvan belandt meer dan de helft op de afvalberg.

Los van al dat afval kost het veel energie en grondstoffen om batterijen te maken. Oplaadbare batterijen scoren beter. Ze zijn over de hele levenscyclus bezien minder milieubelastend dan wegwerpbatterijen. Maar voor het milieu is het natuurlijk nog veel beter als de totale hoeveelheid aan batterijen afneemt.

Zou het niet veel aantrekkelijker zijn als je zelf je elektriciteit zou kunnen opwekken? Zodat je nooit hoeft op te letten of je batterijen nog vol genoeg zijn? Dat je je hersens niet hoeft te pijnigen over de vraag hoeveel reservebatterijen of *power packs* je mee moet nemen?

Zelf stroom produceren is niet nieuw, er zijn hiervoor al tientallen jaren producten op de markt. Neem de knijpkat, de in de Tweede Wereldoorlog veel

gebruikte zaklantaarn die door middel van knijpbewegingen licht geeft. Of de handbediende radio, die na enkele slingers geluid produceert. En natuurlijk de piëzo-elektrisch aansteker, dat kleine wonder der techniek: één druk op de knop levert een elektrisch vonkje op voor je gasfornuis.

Op dit gebied is er nog veel meer. Arjen Jansen van de Technische Universiteit (TU) Delft geeft in zijn lijvige proefschrift uit 2011 zelfs ruim tweehonderd voorbeelden van mens-aangedreven energiesystemen. Daaronder bevinden zich door de voet bediende elektriciteitsgeneratoren, zaklantaarns die je heen en weer moet schudden en kleine elektriciteitsgeneratoren die stroom leveren nadat je een aantal keren aan een koord hebt getrokken.

Sidderaal

Er zijn dus voldoende mogelijkheden om zelf energie op te wekken. Maar kan het ook anders? Kan het menselijk lichaam energie opwekken zonder zich voortdurend daarvoor fysiek te hoeven inspannen? Kan de mens voldoende elektriciteit produceren om een mobieltje of misschien zelfs een laptop te laten werken?

In Zuid-Amerika leeft een twee meter lange sidderaal, de *Electrophorus Electricus*. Dit dier beschikt over een in zijn lichaam ingebouwde batterij, waarmee hij een elektrische spanning van 500 volt kan genereren. Zijn spanningsgenerator is opgebouwd uit *elektrocyten*: platte gestapelde elektrische cellen die elk 0,1 volt produceren door het verpompen van kalium- en natriumionen. Waarom zou een mens zo iets niet kunnen?

Volgens chirurg Arnold van de Laar zou iedere cel van het menselijk en dierlijk lichaam een elektrische spanning kunnen opwekken: 'De voltages die in ons eigen lichaam worden opgewekt, zijn bescheiden, maar groot genoeg om ze te kunnen meten,' schrijft Van de Laar in zijn boek *Onder het mes*. 'Zenuwcellen gebruiken hun elektrische spanning om signalen over te brengen. Onze hersenen zijn een elektrisch regelcentrum.'

Toch is de elektriciteitsproductie van een sidderaal niet helemaal te vergelijken met die van de mens. De organen waarmee de sidderaal stroom opwekt, zijn opeengestapeld, in serie achter elkaar. Juist deze serieschakeling levert zeer hoge voltages op. Daar kan de mens niet aan tippen.

Wij moeten het in vrijwel alle gevallen van technische hulpmiddelen hebben voor het genereren van elektriciteit. Omarmen we deze apparaten, dan is er het aantrekkelijke vooruitzicht van onszelf als kleine elektriciteitscentrale.

Het zelf genereren van stroom door de mens kan grensverleggende gevolgen hebben. Zou het ertoe kunnen leiden dat er uiteindelijk een geheel nieuwe mens ontstaat, een *siddermens*, die zich veel onafhankelijker in de samenleving

kan gedragen? Eentje die een heel scala aan elektronische apparaten bij zich kan dragen, zonder zorgen over de stroomvoorziening? Die niet alleen gadgets kan voeden, maar ook serieuze toepassingen op gezondheidsgebied, die de kwaliteit van leven fundamenteel kunnen verbeteren?

Laten we eerst eens bekijken hoe we op een slimme manier zelf elektriciteit kunnen opwekken. Daarna kunnen we zien of de siddermens ook andere kwaliteiten heeft dan mensen van de huidige generatie.

Bron: [BOE.11][BOE.14][BOE.16]

Inleiding

Tachtig procent van alle Nederlanders boven de dertien jaar had in 2015 een smartphone, becijferde onderzoeksbureau GfK. Een jaar later constateerde het bureau dat ook steeds meer oudere consumenten over een smartphone beschikken: tussen 2014 en 2016 steeg het aantal 65-plussers met zo'n mobieltje van 33 procent naar 55 procent. We zijn ook steeds meer online op onze telefoon: in 2014 nog 29 uur per maand, eind 2016 zit de gemiddelde Nederlander al 40 uur per maand te internetten op de smartphone, zo meldt GfK.

Het aantal soorten draagbare elektronica neemt sterk toe. Naast mobiele telefoons, tablets en mp3-spelers zijn er sporthorloges met stappentellers en hartslagmeters, digitale camera's, camcorders, borstpompen, verwarmde vesten en elektronische thermometers. Hoorapparaten, pacemakers en kunstnieren kunnen ook niet zonder stroom. In het vierde kwartaal van 2016 lag de wereldwijde verkoop van draagbare apparaten op 33,9 miljoen eenheden, aldus cijfers van de International Data Corporation. In totaal ging het dat jaar om de verkoop van bijna 102,4 miljoen elektrische apparaten.

Andere cijfers wijzen eveneens op een sterke toename. Het Engelse onderzoeksbureau Juniper Research voorspelde in 2016 dat in 2019 wereldwijd 110 miljoen mensen bij het sporten een fitness tracker zullen gebruiken en maar liefst 130 miljoen een smartwatch.

Het Amerikaanse onderzoeks- en adviesbureau Gartner Inc. komt met nog veel spectaculaire cijfers, namelijk dat het aantal draagbare apparaten in 2017 wereldwijd de 300 miljoen zal overstijgen, een stijging van 16,7 procent ten opzichte van 2016.

Lege batterij

Een probleem van het sterk groeiende gebruik en de toenemende mogelijkheden van draagbare apparatuur is dat de batterijen steeds sneller uitgeput raken. In 2000 was twee keer per week opladen voldoende voor een eenvoudige Nokia 3310 mobiele telefoon. De iPhone uit 2007 hield het nog wel een dag uit, maar zware gebruikers namen meestal altijd een oplader mee. Smartphones zijn complexer dan oudere mobieltjes: ze hebben een kleurenscherm, een navigatiechip en een bewegingssensor, wat allemaal stroom vergt. Grotere schermen vragen ook meer energie. Als de diagonaal van een scherm met 25 procent toeneemt, stijgt het verbruik met meer dan 50 procent.

Ook wandelaars met een gps-apparaat of gps-software op hun mobiele telefoon weten maar al te goed dat de accu's niet het eeuwige leven hebben. Dat dit zelfs dramatisch kan uitpakken, laat zich raden. Zo zijn reddingsteams in-

middels doodmoe van de bergwandelaars die ze met lege smartphonebatterijen, zonder papieren kaart en zonder richtingsgevoel van de berg af moeten halen, meldde NRC Handelsblad in 2016. Scubaduikers moeten ook de accu van hun polscomputer voor diepte- en tijdmeldingen nauwlettend in de gaten houden. De Chromis duikcomputer van het bedrijf Scubapro waarschuwt met een speciaal symbool bijtijds als de batterij bijna leeg is. Volgens de handleiding is het mogelijk om op dat moment de duik af te maken, maar eenmaal aan de oppervlakte is het noodzakelijk om de batterij te vervangen. Als het batterijsymbool begint te knippen is het te gevaarlijk. De computer kan dan tijdens de duik uitvallen, wat kan leiden tot 'ernstig letsel of de dood', zo stelt Chromis.

Een oplaadbare accu is niet altijd een alternatief, want het opladen vraagt aandacht en tijd. Het Duitse Fraunhofer Institute ontwikkelde bijvoorbeeld een implantaat, de Stimulais, dat door elektrische impulsen de lichaamshouding verbetert. De gebruikte accu is draadloos via inductie op te laden, waarvoor de patiënt om de negen dagen anderhalf uur moet uittrekken. Ten opzichte van de gangbare aanpak met een korset is de Stimulais ongetwijfeld een vooruitgang. Maar het zou nog mooier zijn als de regelmatig terugkerende oplaadsessies definitief tot het verleden zouden kunnen behoren.

Fatsoenlijke voorraad stroom

Consumentenproducten zullen in het algemeen slechts een relatief laag energieverbruik hebben, maar bij professioneel gebruik van elektrische of elektronische apparatuur zal de behoefte aan stroom in het algemeen flink kunnen oplopen. Laten we eens kijken wat beroepsfotograaf Sacha de Boer meesjouwt voor een reportage naar de Noordpool. Wat had ze in haar koffer? Een cardreader, een Apple Macbook, drie verschillende soorten flitsers, een radiozender en -ontvanger voor de bediening van de flitser of camera, reserveaccu's, een lichtmeter en twee verschillende fototoestellen. 'Ik wil zo veelzijdig mogelijk kunnen werken,' verduidelijkte De Boer. 'Met deze spullen kan ik zowel documentair fotograferen, portretten maken en natuurbeelden schieten.' En dan noemde ze niet eens haar smartphone, die ze ongetwijfeld bij zich had.

Hulpverleners zullen evenmin niet zonder een voorraad elektriciteit kunnen. Stel je je maar eens voor hoe je na een aardbeving of overstroming mensen moet redden terwijl je mobiele telefoon of je radiozender niet meer werkt. Of als je jezelf niet meer kunt oriënteren omdat de batterij van je gps uitgeput is.

Ook militairen sjouwen tijdens hun dagenlange missies een heel scala aan apparatuur mee. Volgens de plannen van het 'Verbeterd Operationeel Soldaat Systeem' (VOSS) zullen Nederlandse militairen vanaf 2018 een *smart vest* moeten dragen, met daarin een draadloos communicatie- en informatiesys-

teem en een eigen energievoorziening, die 48 uur lang stroom kan leveren. In de praktijk betekent dit het meezeulen van bijna vier kilo aan accu's. Een heel gewicht, naast alle andere spullen die elke militair mee moet dragen, zoals een radio, een tablet, een gps, munitie, keramische beschermingsplaten, een drinkwatersysteem en een modulaire helm. Overigens is bij Amerikaanse militairen het uitgangspunt dat deze zelfs 72 uur achtereen autonoom moeten kunnen functioneren. Dit betekent dat ze maar liefst 7 tot 9 kilo aan batterijen bij zich moeten dragen.

'Batterijen zijn meestal het meest dure onderdeel van het systeem, ze nemen ruimte in beslag, ze voegen gewicht en ongemak toe aan de draagbare apparaten en hun belangrijkste nadeel is dat je ze periodiek moet vervangen,' zo vat een wetenschappelijke publicatie van de Riga Technical University te Letland de situatie samen. En als je de batterijen niet wilt vervangen, moet je oplaadbare batterijen gaan gebruiken, die je natuurlijk regelmatig van stroom zult moeten voorzien.

Een bekend nadeel van het gebruik van batterijen en accu's is daarbij dat de capaciteit zeer beperkt is. Het meest prangende is deze situatie misschien wel bij mobiele telefoons. 'Uw mobiele telefoon heeft de hele nacht aan de oplader gelegen. 's Ochtends is de batterij nog 100 procent vol, maar na een paar uur is deze alweer bijna leeg. Vooral bij een smartphone is de accu snel leeg,' zo stelt het consumentencollectief United Consumers. En provider Simyo constateert: 'Je smartphone maar één keer per week opladen, dat zou ideaal zijn. Die technologie is er jammer genoeg nog niet. Batterijen van de meeste smartphones zijn vaak al na een dag leeg. Meestal halen ze dat niet eens.' Ook het consumentenprogramma Kassa constateert: 'We mogen allang blij zijn als onze mobiel een dag lang meegaat.'

Zoals al eerder aan de orde is gekomen, zijn elektronische apparaten in de loop van de tijd als gevolg van het grotere aanbod aan functies steeds meer elektriciteit gaan gebruiken, terwijl de prestaties van de accu's in minder snel tempo groeien. Illustratief in dit verband is het feit dat de opslagdichtheid van draagbare computers tussen 1990 en ruwweg 2001 met een factor 1.200 is verbeterd, terwijl in dezelfde periode de energiedichtheid van accu's slechts met een factor drie is toegenomen. 'Accu's zijn een beperkende factor voor ontwerpers van mobiele toepassingen als het gaat om grootte, gewicht en kosten,' aldus Loreto Mateu Sáez in haar proefschrift *Energy Harvesting from Passive Human Power* uit 2004.

Wie er nog aan twijfelt of de behoefte aan stroom onderweg wel zulke grote proporties inneemt, moet eens letten op de snellaadstations voor mobiele telefoons, tablets en laptops, die de laatste jaren binnen congressentra, uni-

versiteiten, restaurants en winkels te vinden zijn. 'Gemiddeld gaat een 100 procent volgeladen batterij acht tot tien uur mee en groeit de behoefte aan openbare laadpunten in sneltreinvaart,' verduidelijkt de website van *Charge to go*, een van de leveranciers van dit soort oplaadstations. Mensen kunnen hun smartphone tijdelijk achterlaten in een afsluitbaar kluisje, het opladen gebeurt via usb-kabels die uitgerust zijn met diverse aansluitstekkers. De speciale oplaadstations voorzien in een grote behoefte, aldus de betreffende organisatie, want: 'Mobiel bereikbaar zijn is van groot belang. (...) Mobiel bereikbaar zijn zorgt eenvoudigweg ook voor een veiliger gevoel wanneer men onderweg is. Contact kunnen opnemen bij oponthoud of bij calamiteiten en de wetenschap bereikbaar te zijn in geval van nood zorgen ervoor dat gebruikers gerust en met een veilig gevoel de deur uit gaan.'

Een andere illustratie van het feit dat de wens om voortdurend over stroom te kunnen beschikken bij veel mensen leeft is het feit dat de medewerkers van de Railcatering in de NS-intercitytreinen behalve dranken en versnaperingen tegenwoordig ook standaard een aantal opgeladen power packs in de verkoop hebben.

Pacemakers zonder batterij

Wie zelf op de een of andere manier voldoende elektriciteit kan opwekken, lost daarmee in één klap een aantal problemen op. Want je krijgt nooit meer de confrontatie met een lege accu, je hoeft nooit meer op zoek naar een stop-contact en je bent verlost van het gehannes met power packs. Je bent, kortom, volledig baas over je eigen energievoorziening!

Een mooi voorbeeld is de toepassing van een pacemaker, die in je lichaam is geplaatst om je hartritme te regelen. Als het hart te snel, te langzaam of te onregelmatig klopt, stuurt het instrument stroomstootjes naar het hart om het tempo weer te herstellen. Een in het lichaam geïmplanteerde batterij levert de benodigde elektriciteit. In 1958 was de toen 43-jarige Zweedse ingenieur Arne Larsson de eerste mens die een inwendige pacemaker kreeg. Na drie uur was de batterij leeg en hield de pacemaker er al mee op, er volgde een operatie om de geïmplanteerde batterij te vervangen. De tweede batterij hield het twee dagen uit, waarna Larsson opnieuw onder het mes moest. In de loop van de jaren nam de kwaliteit van de accu's toe, waardoor ze langer stroom bleven leveren, maar al met al had Larsson tot zijn overlijden op 86-jarige leeftijd in december 2001, voornamelijk vanwege het vervangen van de lege batterijen, 25 operaties in 43 jaar tijd te verduren.

Momenteel werken de moderne pacemakers meestal op 2,5 volt lithium-iodine batterijen die, afhankelijk van de intensiteit van het gebruik, ongeveer zes

tot tien jaar meegaan. Tegen de tijd dat de batterij aan vervanging toe is haalt de cardioloog in een kortdurende operatie de oude pacemaker weg en plaatst een nieuw exemplaar, uiteraard inclusief een nieuwe batterij. Juist omdat het de batterij is die bepaalt wanneer er een dergelijke medische ingreep noodzakelijk is, zou het een goed idee zijn als het lichaam zelf de benodigde elektrische stroom voor de pacemaker zou kunnen opwekken, zodat de wederkerende operaties niet meer nodig zijn.

‘Wanneer een kind van twee jaar elke zeven of acht jaar een openhartoperatie moet ondergaan, valt dat te vertalen in naar schatting tien operaties in zijn of haar leven om nieuwe pacemakers te implanteren,’ aldus professor Armaghan Salehian van de Canadese University of Waterloo in december 2013. ‘Dat aantal zou aanmerkelijk omlaag kunnen door energie te oogsten uit trillingen en menselijke bewegingen om zo de levensduur van de accu te verlengen.’

Een van de bedrijven die mogelijkheden op dit gebied ziet liggen, is het aan de Engelse University of Bolton verbonden bedrijf FibrLec. Het bedrijf maakt flexibel weefsel, dat door wrijving elektriciteit kan genereren. Als het weefsel op het hart zou zijn aangebracht, kan het materiaal stroom opwekken, waardoor een pacemaker misschien zelfs volledig autonoom zonder batterij zou kunnen functioneren.

Belangstelling voor deze aanpak zal er zeker zijn. Om een indruk te geven: in 2002 gebruikten wereldwijd naar schatting 3 miljoen mensen een pacemaker, waaronder ongeveer 1,5 miljoen Amerikanen. In ons land kregen in 2014 ruim 8.600 mensen voor het eerst een dergelijk apparaat. In de loop van de tijd zijn de afmetingen en het gewicht van de pacemaker overigens radicaal geslonken. Het eerste exemplaar uit 1958 woog 73,4 gram, het volume bedroeg 35 kubieke centimeter. In 2009 was het gewicht met 23 gram nog maar een derde van dat van de eerste pacemaker. Het volume was met 12,8 kubieke centimeter eveneens ongeveer met tweederde afgenomen. Maar de meest recente pacemakers zijn nog kleiner: de zogeheten Micra pacemaker van Medtronic weegt slechts 2 gram, bij een lengte van 25,9 millimeter en een diameter van 6,67 millimeter. Begin 2014 is deze kleine pacemaker voor het eerst in Nederland toegepast.

Ook bij andere medische apparatuur kan het opwekken van stroom door het menselijk lichaam uitkomst brengen. Volgens wetenschappelijk onderzoeker Albert van der Woerd van de TU Delft is dit met name interessant bij het gebruik van een neurostimulator, een geïmplanteerd apparaat dat stroomstootjes geeft om onder andere pijn te bestrijden en epilepsie te behandelen. Het vermogen van een dergelijk apparaat is relatief hoog, waardoor een daarbij be-

horende accu snel uitgeput kan raken. 'Een pacemaker heeft een bewakingsfunctie, dat verklaart het lage vermogen van 25 microwatt,' vertelde Van der Woerd in september 1998 in NRC Handelsblad. 'Een neurostimulator is veel actiever en heeft een vermogen van wel honderd microwatt. Dat betekent dat je zo'n apparaat ieder jaar zou moeten vervangen.' Met andere woorden: zeker in het geval van een neurostimulator zou het een uitkomst zijn als er geen accu meer nodig was.

Ook een kunstnier past goed in dit rijtje, zeker als het om een draagbare kunstnier zou gaan, die momenteel volop in ontwikkeling is. In juni 2016 maakten de zorgverzekeraars Zilveren Kruis, Menzis en CZ bekend dat zij 6,8 miljoen euro gaan investeren in de ontwikkeling van een dergelijke kunstnier. 'In Nederland zijn zo'n 6.500 patiënten voor het dialyseren van hun nieren afhankelijk van het ziekenhuis, waar ze driemaal per week vier uur worden "gespoeld". Met de draagbare kunstnier kunnen ze overal dialyseren,' aldus NRC Handelsblad van 8 juni 2016.

De ontwikkeling in de Verenigde Staten lijkt op dit gebied verder te zijn. Daar hebben onderzoekers van het Cedars-Sinai Medical Center en de David Geffen School of Medicine al in 2014 een zogeheten Wearable Artificial Kidney (WAK) ontwikkeld. Het elektrische apparaat is als een heuptas te dragen, het weegt ongeveer 450 gram. Voor de benodigde elektriciteit zorgt een accu. In juni 2016 kwam het verslag naar buiten van een proef met zeven patiënten die een WAK hebben uitgeprobeerd. Er blijken nog wel technische aanpassingen van de draagbare kunstnier nodig, maar de patiënten waren erg tevreden. Ook in dit geval is het zelf opwekken van de stroom voor de kunstnier aantrekkelijk.

En er is nog een pluspunt, want wanneer medische apparatuur de benodigde elektriciteit vanuit het menselijk lichaam zou krijgen, zullen er naar verwachting ook minder storingen optreden. 'Het vervangen van batterijen door de duurzame energiebron, die door "energy harvesters" is verkregen, heeft een tweeledig voordeel,' stelt een aantal onderzoekers van onder meer de Engelse Cranfield University. 'Enerzijds daalt de hoeveelheid onderhoud die gerelateerd is aan het vervangen of het opladen van de batterij, anderzijds neemt de betrouwbaarheid van de apparaten toe, doordat je het risico dat ze zonder arbeidsvermogen komen te zitten elimineert. Dit is van bijzonder belang bij medische toepassingen, waar elk moment van storing levensbedreigend kan zijn en waar het vervangen van een batterij een operatie vereist.'

In sommige gevallen kan het vervangen van de gangbare batterijen door een menselijke energiebron nog een ander voordeel hebben en dat is dat er een esthetische winst te behalen valt. Bijvoorbeeld in het geval van een hoortoestel. Als het mogelijk zou zijn om de batterijen van een hoortoestel af te schaffen,

kan het apparaat zelfs zo klein uitvallen dat deze bijna volledig onzichtbaar in het oor te plaatsen is.

Vermogen van diverse draagbare apparaten

Wat ?	Functie	Vermogen
Quartz horloge	Tijdmeting	5 microwatt
Pacemaker	Hartritmestoornissen	10 tot 100 microwatt
Defibrillator	Hartritmestoornissen	30 tot 100 microwatt
Neurologische stimulator	Kramp in spieren	30 microwatt tot enkele milliwatts
Hoorapparaat	Gehoorproblemen	1 milliwatt
Medicijnpomp	Spasticiteit	100 microwatt tot 2 milliwatt
Cochleair implantaat	Gehoorproblemen	tot 10 milliwatt
Mp3-speler	Muziekapparaat	50 milliwatt
Smartphone	Slimme telefoon	1 tot 5 watt
Laptop	Computer	50 tot 120 watt

Grote stroomverbruikers

Wat nou als de vraag naar elektriciteit groter is dan de mens zelf kan opwekken? Dan nog is elke hoeveelheid opgewekte stroom natuurlijk welkom. Bijvoorbeeld als je moeilijk ter been bent, en je hebt om die reden een zogeheten Achilles geïnstalleerd, een exoskelet dat het lopen kan verlichten. De speciale laarzen van het exoskelet, dat door biomechanische ingenieurs van de TU Delft is ontwikkeld, zijn elk voorzien van een 120 watt elektrische motor, die in combinatie met een veer een piekvermogen van 192 watt levert, ongeveer tweederde van het normale vermogen van de enkel. In die situatie moet de gebruiker een rugzak meesjouwen met ruim 5 kilo aan batterijen! Elk kilootje minder dragen betekent meer comfort.

Een ander voorbeeld van een grote stroomverbruiker is het robotpak voor dwarslaesiepatiënten, dat in ons land voor het eerst in december 2015 in gebruik is genomen. Volgens Andreas Reinauer van fabrikant ReWalk Robotics kan het Exoskelet System ondersteuning bieden aan personen die hooguit 100 kilo wegen en een lengte hebben van 160 tot 190 centimeter. Het robotpak is met vier latten aan de boven- en onderbenen van de gebruiker bevestigd, vier motoren maken het mogelijk om te lopen of te gaan zitten. 'De heupzak bevat een lithium-ion batterij van 28 volt, een reservebatterij en een draagbare computer, die de machine aandrijft, en bevat tevens een radiozender die

in verbinding staat met de controlepost,' schrijft Reinauer in een e-mail. 'De batterijen gaan door het afwisselend wandelen en staan/zitten ongeveer 8 uur mee, en ze zijn oplaadbaar.' De betreffende batterij heeft een capaciteit van 10,4 ampère-uur, bij continu lopen is deze na 3 uur leeg. De lithium polymeer reserveaccu heeft een capaciteit van 2 ampère-uur, hiermee kan de gebruiker nog 15 minuten wandelen. Het opladen van de accu's duurt minstens 4 uur.

Ook mensen met een kunsthand zullen erg gebaat zijn met de mogelijkheid dat zij de benodigde stroom zelf kunnen genereren, want ook bij dit apparaat is het elektriciteitsverbruik relatief hoog. De 3D geprinte bionische Hackberry van het Japanse bedrijf Exiii is bijvoorbeeld een slank uitgevoerde hand, waar drie kleine motoren voor het bedienen van de vingers zorgen. 'De wijsvinger en de duim hebben een onafhankelijke aandrijving,' schrijft Hiroshi Yamaura van Exiii in een e-mail. 'De middelvinger, ringvinger en pink zijn aan elkaar gekoppeld en moeten het stellen met een enkele motor. We gebruiken derhalve drie motoren voor de hand.' De benodigde elektriciteit komt van een oplaadbare lithium-ion batterij van 7,2 volt, de capaciteit bedraagt 1.860 milliampère-uur. Het ontwerp van de kunsthand is volgens een open source formule voor iedereen openbaar gemaakt, wat betekent dat de bouwtekeningen en software gratis te downloaden zijn. Voor de bouw van de Hackberry zou op deze manier slechts driehonderd dollar aan materiaalkosten nodig zijn.



Bouwtekeningen van deze kunsthand zijn gratis te downloaden

Foto: Hackberry

Een kachel van 100 watt

Wie regelmatig een smartphone of een tablet gebruikt voor internetbezoek, computerspelletjes of voor het vinden van de juiste route kan tegenwoordig bijna niet zonder extra batterijen. Het feit dat er steeds meer losse accu's op de markt verkrijgbaar zijn, als aanvulling voor de ingebouwde accu's in de betreffende apparaten, illustreert hoe groot de behoefte op dit gebied inmiddels is. Het gaat hierbij om draagbare acculaders, onder de verzamelnaam power pack of powerbank, waarvan er halverwege 2017 al ruim 240 modellen op de

Nederlandse markt verkrijgbaar waren. De capaciteiten lopen hierbij uiteen van ongeveer 400 milliampère-uur tot minstens 17.000 milliampère-uur. Ter vergelijking: de accucapaciteit van de in 2016 geïntroduceerde Samsung Galaxy A7 smartphone bedraagt 3.300 milliampère-uur.

Een andere oplossing om de stroomvoorziening aan te vullen is door het inschakelen van een brandstofcel. Een brandstofcel wekt elektriciteit op door een brandstof te laten reageren met zuurstof. Het gebruik van een dergelijk apparaat kan in sommige situaties al een verbetering brengen. Het is niet voor niets dat er binnen Nederlandse militaire kringen belangstelling is voor de aanschaf van de E-lighter, een door Fokker Aerostructures ontwikkelde, dieselgestookte brandstofcel. Het apparaat is zo groot als een flinke colafles en weegt gevuld met brandstof 1,8 kilo. De brandstofcel levert meer dan 400 wattuur per kilogram gedurende 48 uur. Het gebruik van de brandstofcel zou een 50 procent gewichtsreductie op kunnen leveren ten opzichte van de tot nu toe gebruikte accu's.

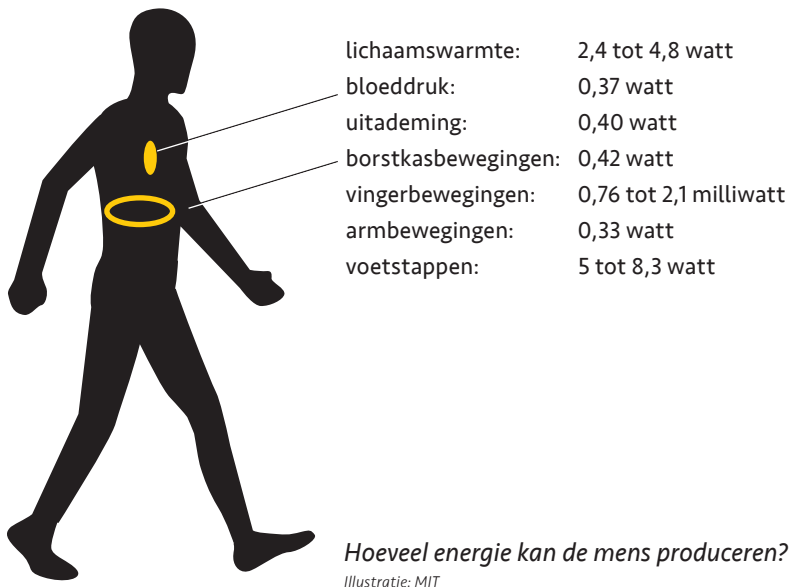
Maar ook al weegt de brandstofcel minder dan een stel oplaadbare accu's, in beide gevallen is de aanvoer van brandstof of elektriciteit nodig. Het is dan ook niet verwonderlijk dat er geluiden klinken naar een oplossing die onafhankelijk is van voorzieningen uit de directe omgeving.

De situatie is dus maar al te duidelijk: de mens heeft in toenemende behoefte aan draagbare elektriciteit. Tegelijk zijn er steeds meer technieken in ontwikkeling, die het mogelijk maken om zelf stroom op te wekken. Volgens Jo Hermans, emeritus hoogleraar natuurkunde, kan een volwassen mens een flinke hoeveelheid energie produceren. 'Een mens is een kachel van 100 watt,' staat te lezen in zijn *Energie survival gids* uit 2008. Met daarbij de toevoeging: 'als hij zich niet lichamelijk inspant.' Bij het verrichten van uitwendige arbeid neemt het vermogen toe, vervolgt Hermans. 'Als we ons lichamelijk inspannen zijn we een motor van zo'n 100 watt op duurbasis. Bij een korte inspanning kan dit gemakkelijk boven de 500 watt komen.' En dat getal van 500 watt is nog een conservatieve schatting. Bij een korte krachtsexplosie, zoals het omhoog rennen op een trap, zou een gemiddeld mens wel 800 watt aan mechanische energie kunnen halen, zegt Hermans.

Joseph Paradiso onderzoeker bij het Massachusetts Institute of Technology (MIT) gaat nog verder, en stelt dat een mens bij voldoende inspanning maar liefst 1.000 watt of meer kan produceren. Dat is genoeg om 140 ledlampjes van 7 watt te laten branden!

Maar dat een mens zoveel energie kan produceren wil nog niet zeggen dat deze hoeveelheid ook in de praktijk te gebruiken is. Hermans wijst erop dat

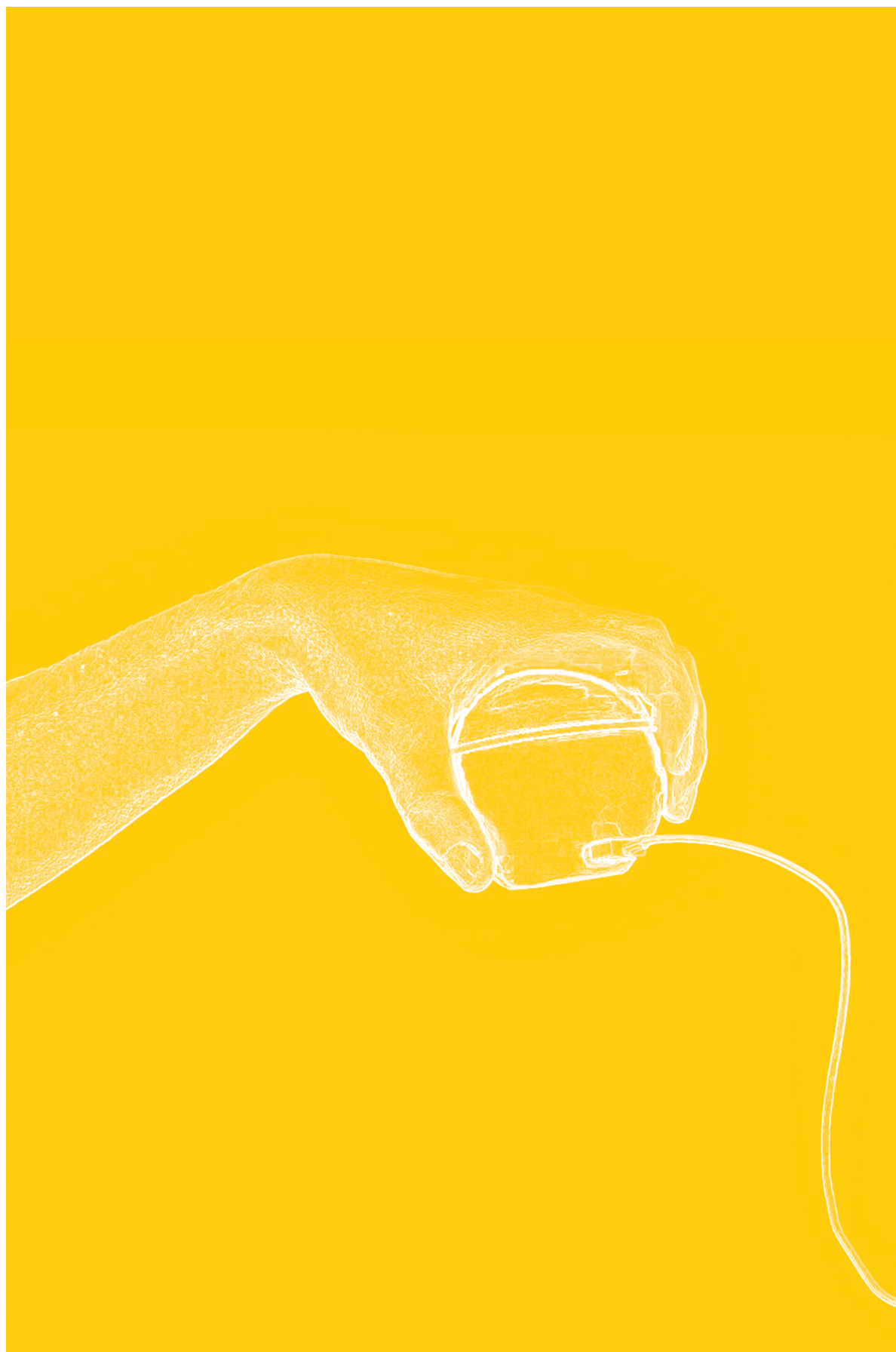
van die genoemde 100 watt het hart al ongeveer 5 watt nodig heeft om bloed rond te pompen. Daarnaast gaat een deel van de energie naar de hersenen en andere organen. Thad Starner, promovendus bij MIT, noemt in dit verband de volgende netto getallen:



Iemand die van alle menselijke energiebronnen gebruikmaakt, kan dus over een totaal netto vermogen beschikken van ongeveer 10 tot 17 watt, constateert Starner.

Een belangrijke kanttekening hierbij is dat er vaak ook andere cijfers te vinden zijn. Een voorbeeld: in een publicatie uit 2012 van twee Canadese wetenschappers over een elektromagnetische microgenerator staat dat een kniegenerator een vermogen heeft van 5 watt. Maar uit cijfer van het commerciële bedrijf Bionic Power blijkt dat met een kniegenerator op vlak terrein 8 tot 14 watt aan stroom valt op te wekken. Kortom: een zekere relativering van het gepresenteerde cijfermateriaal is dus van belang. Eén ding is duidelijk: de elektriciteit die met behulp van menselijke inspanningen valt te genereren, is van een voldoende omvang om nuttig te gebruiken, ook al zal het niet altijd mogelijk zijn om volledig aan de vraag te voldoen.

Bron: [PER.6][PER.19][PER.66][BOE.3]



13. Conclusie

Stroom opwekken met het menselijke lichaam begint steeds meer in de belangstelling te komen. Wereldwijd verrichten wetenschappelijke instanties er onderzoek naar en er zijn inmiddels verschillende bedrijven die producten op dit gebied aanbieden, al is het op bescheiden schaal. Het zal nog wel even duren voordat mensen massaal overgaan op het zelf genereren van elektriciteit voor hun draagbare toepassingen.

Wat het extra lastig maakt, is dat draagbare apparaten om steeds meer stroom vragen. Smartphones verbruiken door fotograferen, navigatie en talloze draadloze verbindingen aanzienlijk meer energie dan bijvoorbeeld een Nokia of Ericsson uit 1999, die alleen voor telefoongesprekken diende.

Maar ook al is de hoeveelheid opgewekte stroom niet voldoende voor het volledig opladen van de meegedragen apparaten, dan nog is het zelf opwekken van stroom aantrekkelijk om de accu te ontzien. De beste techniek om met het menselijk lichaam elektriciteit te genereren is nog geen uitgemaakte zaak. Zo kan het onder bepaalde omstandigheden aantrekkelijk zijn om de warmte van het lichaam te gebruiken, zelfs als de efficiëntie hiervan laag is, terwijl in andere situaties een elektromagnetische generator van pas komt. De techniek zal zich aanpassen aan de vraag, het is allemaal maatwerk.

Hoewel de menselijke generator zich nog maar in een pril stadium bevindt, kan de ontwikkeling wel eens heel snel verlopen. Het is daarbij niet ondenkbaar dat wonderbaarlijke uitvindingen zoals de sieraden van Naomi Kizhner of de kauwgomgenerator van Jérémie Voix en Aidin Delnavaz een rol gaan spelen, juist omdat ze zo'n opvallende functie vervullen. Al die kleine kwantitatieve veranderingen kunnen samen een kwalitatieve omslag teweegbrengen.

Dan zal het niet lang meer duren of we komen bij het moment dat de eerste siddermens zich zal aandienen: een mens die energieonafhankelijker in het leven staat dan de huidige generatie en die zorgeloos van allerlei elektrische draagbare apparaten gebruik kan maken, zonder zich hierbij druk te hoeven maken over het op tijd opladen van de betreffende accu's. Of die misschien zelfs helemaal geen accu's of batterijen meer nodig heeft. Als dat geen vooruitgang is?

Bijlagen

Waarom heb je mobiele stroom nodig?

Wie nog niet gemotiveerd is om zelf elektriciteit op te wekken zal daar waarschijnlijk binnenkort anders over denken. De komende tijd zullen een groot aantal draagbare elektronische apparaten op de markt verschijnen. Naast de nieuwste uitvoeringen van smartphones, mp3-spelers en pacemakers zijn met name de zogenaamde *wearables* in opkomst: miniaturcomputers met veel verschillende mogelijkheden, met als gemeenschappelijke noemer dat ze vooral informatie verschaffen.

Hoe zou het zijn om voor al die innovatieve snufjes batterijen aan te moeten schaffen? Of hoeveel moeite zal het gaan kosten om al die benodigde oplaadbare batterijen regelmatig op tijd op te laden? Hieronder volgt een lang niet volledige lijst van draagbare toepassingen, die zonder uitzondering op batterijen werken en waarbij het zelf opwekken van stroom een uitkomst kan zijn.

De internetbronnen [INT.xxx] zijn te vinden op www.techwatch.nl en www.rijkertknoppers.nl, de andere bronnen staan achterin dit boek.

Amblyz	Elektronische bril ter behandeling lui oog (amblyopie)	INT.366
Neurostimulator	Geeft stroomstootjes ter bestrijding van epilepsie	INT.373
Philips Healthsuite	Informatiesysteem voor diabetespatiënten	INT.322
Chemopomp	Pomp voor toedienen geneesmiddelen	INT.281
Defibrillator (ICD)	Geeft elektrische schok bij hartritmestoornis	INT.288
Accu-Chek	Pomp voor toedienen insuline	INT.289
Stemmingsregelaar	Stemming verbeteren met elektriciteitspulsen	PER.8
Botgenezing	Infrarood laser geneest bot	INT.303
TruPosture	Smart shirt voor houdingcorrectie (rug)	INT.337
Empa ECG band	Band controleert conditie hart	INT.191
Tilhulp/Power vest	Ontlast rug bij tillen	PER.3
Neurostimulator	Pijnbestrijding o.m. bij Parkinsonpatiënten	INT.259
Bionische hand	Prothese hand	INT.PER.6
GoBe/Healbe	Calorieën tracker	INT.154
WellShell	Apparaat voor krachttraining	INT.154
Hoop Tracker	Geeft feedback voor basketballers	INT.154
Olive	Voorspelt stress aan de hand van hartslag, etc	INT.154
StimulAis	Apparaat dat betere houding stimuleert	INT.310
Dialyseapparaat	Draagbaar apparaat voor nierpatiënten	INT.311
Oura ring	Slaap monitor/hartslagmeter	INT.220
E-skin	Hartslag/bloeddruk	INT.172
Quell	Transcutane elektrische zenuwstimulatie bestrijdt pijn	PER.1
Ybrain	Hoofdband geeft elektrische schokjes tegen depressie	INT.782
Leapband/Leapfrog	Meet activiteiten van kinderen	INT.154
TZOA	Meet lucht, T, druk, vochtigheid, licht en UV	INT.185

De belangrijkste technieken

Er zijn diverse technieken voorhanden om de energie van het menselijk lichaam om te zetten in elektrische energie. Veel daarvan zijn gebaseerd op bewegingen van de mens, zoals de elektrodynamische techniek, andere technieken benutten de temperatuur van het lichaam of ze zetten bepaalde chemische stoffen om in elektrische stroom.

Brandstofcel

In een brandstofcel reageert een brandstof met zuurstof, waarbij elektriciteit ontstaat. De werking van een brandstofcel lijkt op dat van een batterij of accu, een belangrijk verschil is dat in een brandstofcel een voortdurende aanvoer is van de brandstof, zoals waterstof en zuurstof, terwijl bij een batterij of accu de benodigde chemische stoffen opgeslagen zitten binnen het apparaat.

Biobatterij

Een biobatterij zet suiker om naar elektriciteit. Het is een gesloten systeem, waarbij de reagentia zijn opgeslagen in de batterij. Bij de biobatterij zitten de suiker verterende enzymen op de anode, de kathode bevat enzymen die zuurstof reduceren. De anode onttrekt elektronen en waterstofionen uit het suiker (glucose) door een enzymatische oxidatie. De waterstofionen migreren door een scheidingsmateriaal van cellofaan van de anode naar de kathode. Daar reageren de waterstofionen met de aanwezige zuurstof tot water. Tijdens deze elektrochemische reactie ontstaat er een spanningsverschil tussen de anode en kathode, waardoor er een elektrische stroom van de één naar de ander gaat lopen.

Elektromagnetische techniek

Als een magnetisch materiaal door een geleidende spoel beweegt, ontstaat er een elektrische spanning. Dit verschijnsel ontdekte Michael Faraday in 1831. Een *elektromagnetische* generator maakt gebruik van deze magnetische inductie om stroom op te wekken. Een bekende voorbeeld van deze techniek is de fietsdynamo.

Elektromechanische techniek

Een *elektromechanische generator* zet een mechanische beweging om in elektriciteit. Elektromechanische principes waren vroeger, voor de komst van de moderne elektronica veel te vinden in bijvoorbeeld elektrische typemachines, uurwerken en elektriciteitsschakelaars.

Literatuur

Hieronder een overzicht van de voornaamste geraadpleegde boeken en periodieken. De gebruikte internetbronnen zijn, gerubriceerd per hoofdstuk, te vinden op: www.techwatch.nl en www.rijkertknoppers.nl

BOE.1

Techniek van de toekomst
Schilperoord, Paul
Uitg. Veen magazines, 2004

BOE.2

Trapperkracht
McCullagh, James (ed.)
Uitg.: Servire, Katwijk, 1980

BOE.3

Energie survival gids
Hermans, Jo
Uitg. Betatext, Bergen, 2008

BOE.4

Alternative Energy Sources in Product Design
A.J. Jansen en G.C.M. van Leeuwen (eds.)
Uitg. Delft University of Technology, Faculty of Industrial Design Engineering

BOE.5

Alternative power sources for portables & wearables. Part 1: power generation
S.F.J. Flipsen
Uitg.: Delft University of Technology, Personal Energy Systems Programme. Reader 2004

BOE.6

Biochemical fuel cells
Katz, E., Shipway, A.N., Willner, I.
In: Handbook of fuel cells; fundamentals, technology and applications
Volume 1: Fundamentals and survey of systems
Wolf Vielstich e.a. (red.)
John Wiley & Sons, Chichester, 2003

BOE.7

Gek op natuurkunde
Walter Lewin
Uitg. Thomas Rap, Amsterdam 2012

BOE.8

Collecting energy with thermoelectric generators
Uitg.: Otego, Karlsruhe, z.j.

BOE.9

Midas Dekkers
De kleine verlossing
Uitg. Atlas/Contact, 2015

BOE.10

Medium man and his regenerate energy
Emilian Dobrescu; Edith Mihaela Dobre; Ionela Gavrilă Paven
In:
Black Sea: history, diplomacy, policies and strategies
Proceedings of the first international conference on EU and Black Sea Region
Eds.: Gavriil Preda, Gabriel Leahu
Uitg.: Mineo Giovanni Editore, Bagheria, Italy, 2012

BOE.11

Onder het mes: de beroemdste patiënten en operaties uit de geschiedenis van de chirurgie
Arnold van de Laar
Uitg. Thomas Rap, Amsterdam 2014
Isbn: 9789400402294

BOE.12

Renewable energy. Sources for fuels and Electricity
Thomas Johansson (eds.)
Uitg.: Earthscan, Londen 1993
ISBN 1-85383-155-7

BOE.13

Dmitrii Pankratov
Self-charging biosupercapacitors
<http://muep.mah.se/handle/2043/13611>

BOE.14

Human power empirically explored
Arjen Jansen
PhD Thesis TU Delft, 2011
<http://repository.tudelft.nl/view/ir/uuid:6a8f5511-432b-45b7-8e92-23a4dfbb4237>

BOE.15

Design of a Philips/Nike human powered MP3 player
Maarten van Pul, master thesis, Delft University of Technology, 2002

