

ARCHEOLOGIE VAN DE ELEKTRICITEIT

“Unvermerkt wird die Welt Gottes von einem Jahrhundert zum andern dem Perpetuum mobile ähnlicher. Und als, ebenfalls ganz unvermerkt, vor dem immer mehr durch Experiment und technische Erfahrung geübten Blick auf die Natur der gotische Mythos schattenhaft wurde, entstanden aus den Begriffen mönchischer Arbeitshypothesen seit Galilei jene kritisch abgeklärten *numina* der modernen Naturwissenschaft, die Stoß- und Fernkräfte, die Gravitation, die Lichtgeschwindigkeit, endlich «die» Elektrizität, die im elektrodynamischen Weltbilde durch Einverleibung der übrigen Energieformen eine Art von physikalischem Monotheismus heraufgeführt hat. Es sind die Begriffe, welche den Formeln unterlegt werden, um ihnen mythische Anschaulichkeit zu verleihen. Die Zahlen selbst sind Technik, Hebel und Schrauben, abgelauhtes Weltgeheimnis.” OSWALD SPENGLER, *Der Untergang des Abendlandes* (1918-1923), II, 3, III, 19.

TWEE CULTUREN?

Sinds honderd jaar geleden “der fysikalische Monotheismus” ontstond, zoals de Duïste filosoof Oswald Spengler het noemde, is het elektromagnetisme een wetenschappelijke gemeenplaats. Dat monotheïsme heeft een lange en bonte geschiedenis, waarin de elektriciteit en het magnetisme zich hebben geëmancipeerd van curiosum en salonverschijnsel tot kernfenomenen van de fysica. Ofschoon die geschiedenis in het navolgende een belangrijke plaats zal innemen, is zij niet het eigenlijke onderwerp. Zij dient slechts ter onderbouwing van een *filosofische* analyse van de bijzondere plaats die elektriciteit en magnetisme innemen, namelijk als verschijnselen die behoren tot ‘twee culturen’ tegelijk — de twee culturen die de Britse schrijver C.P. Snow in zijn befaamde *Rede Lecture* van 1959 onderscheidde.¹

[Uitleg van Snows idee van twee culturen]

Electriciteit en magnetisme bekleeden een centrale plaats in de hedendaagse natuurwetenschap en technologie, maar zijn tegelijkertijd zeer zichtbaar aanwezig in het dagelijkse leven, waarin zij dermate diep ingebed zijn dat zij ons even vertrouwd zijn als melk en brood.

Ter gelegenheid van de Wetenschaps- en Techniekweek 1998, waarvan het thema ‘Spanning’ was. Voordracht Universiteit Leiden 6-7 oktober 1998 (*Wetenschapsdagen*), 31 oktober 1998 (*Voorlichtingsdagen*).

1 C.P. Snow, *Two cultures* (1959 Rede Lecture).

2 In het verlengde van dit idee ziet Anthonie Meijers het slaan van deze brug als taak van de ingenieur (*Wat maakt*

[Algemeen gesproken kan de technologie worden gezien als een brug tussen de twee culturen, met haar toenemende integratie in het dagelijks leven en bestendige band met wetenschappelijk onderzoek.]²

INDIFFERENTISME

[Kenschets van de moderne tijd] tal van wetenschappelijke technologische fenomenen: de evolutieer en de genetica, de biologie van micro-organismen en de geneeskunde, de elektriciteitsleer en de theorie van de zwaartekracht worden je bijna met de paplepel ingegeven, om over sterren en planeten, verbrandingsmotoren, lucht- en ruimtevaart en computertechniek nog maar te zwijgen.

[Overvloed aan informatie; informatietijdperk; MTV-generatie. Gevaar van geblaseerdheid en indifferentisme.³ Doet zich ook voor bij elektriciteit: niemand vraagt zich nog af wat het eigenlijk is.]

PROJECT

[Analyse van de basismetaphoren en -modellen in termen waarvan wij denken en spreken over de elektriciteit en haar verwanten. Stroom, stra-

een ingenieur, Rede TU Delft, 6 maart 1998).

3 Hetzelfde gevaar werd in de achttiende eeuw gesignaleerd door Immanuel Kant in zijn *Kritik der reinen Vernunft* (1781), A x: “Jetzt, nachdem alle Wege (wie man sich überredet) vergeblich versucht sind, herrscht Überdruß und gänzlicher Indifferentismus, die Mutter des Chaos under Nacht...”

ling, plus en min, noord en zuid, deeltjes, velden, potentialen, krachtlijnen, sterk en zwak, golven en arbeid, aantrekking en afstoting.]

GESCHIEDENIS VAN DE ELEKTRICITEIT

De aantrekkingskracht van barnsteen en van magnetische steen was al bekend in de Oudheid. Dat is onder andere zichtbaar in de etymologie van de woorden. Magnetisme is genoemd naar de oude Griekse stad Magnesia, waar de eerste natuurmagneten werden gevonden. Deze magneetstenen of 'loodsstenen', zoals zij later werden genoemd,⁴ bevatten een ijzeroxide met natuurlijke magnetische eigenschappen. Volgens de overlevering was de Griekse filosoof Thales van Milete in de zesde eeuw voor Christus de eerste die de stenen beschreef. Elektriciteit is genoemd naar het Griekse woord voor barnsteen, *elektron*. Een barnsteen, immers, wanneer hij wordt gewreven met een harig of pluizig voorwerp, bijvoorbeeld een kattenstaart of een wollen vacht, vertoont een aantrekkingskracht die lijkt op die van het magnetisme. Ofschoon de oude Grieken met dit verschijnsel bekend waren, stamt het woord 'electrisch' zelf niet van hen. De invoering ervan wordt algemeen toegeschreven aan de zestiende-eeuwse Engelse arts-filosoof Gilbert, die een sleutelrol zal vervullen in deze geschiedenis.

Magneten, of althans natuurmagneten, waren aanvankelijk weinig meer dan curiosa. Daaraan kwam een eind toen het kompas werd ontdekt, d.w.z. toen werd ontdekt dat een ijzeren naald kan worden 'gemagnetiseerd' door haar over een magneet te strijken, en dat zo'n naald

draaiend op een punt kan worden gemonteerd, en dat zo'n constructie een enorme hulp is bij de navigatie. De precieze oorsprong van het kompas is onbekend. De uitvinding ervan wordt meestal toegeschreven aan de Chinezen, die het kompas hebben doorgegeven aan de Arabieren, die het op hun beurt aan de Europeanen hebben doorgegeven. Wanneer het in Europa voor het eerst werd gebruikt is evenmin bekend. Wel staat vast dat het kompas in de dertiende eeuw uitvoerig werd beschreven door een Frans geleerde, Petrus van Maricourt, beter bekend als Petrus Peregrinus, in zijn *Brief over de magneet*.⁵ Naast het kompas vindt men in dit werk ook de andere elementaire schoolkennis over de magneet, zoals de onderscheiding van de noord- en zuidpool (terminologie die Petrus introduceerde of althans codificeerde), de regels voor de aantrekking en afstoting door de polen, het magnetiseren van ijzer door er met een magneet langs te strijken en het breken van een magneet in twee kleinere magneten.

Over de verklaring van de werking van het kompas tastte men in het duister. Een bekende theorie, onder meer gebruikt door Sindbad de Zeeman in de Verhalen van 1001 Nacht, luidt dat zich in het verre noorden een Magneetberg bevindt, bestaande uit pure magneetsteen.⁶ Volgens een andere theorie is de magneet een 'bezielde', denkend of althans voelend wezen. Dit idee speelde in de zestiende en zeventiende eeuw vaak mee bij theorieën over aantrekking en andere werking op afstand, nu eens als verklaarende verdediging, dan weer als *reductio ad absurdum*.⁷ Het was William Gilbert (1544-1603),

4 Naar het Engels, *lodestones* of *loadstones*; uit het O/MEng. *lôd(e)* = pad, koers.

5 *Epistola de magnete* (1269), opgenomen in G. Hellmann, *Rara magnetica* (1898). Petrus Peregrinus is waarschijnlijk de *dominus experimentorum* die door Roger Bacon werd geroemd als de grootste experimentator van zijn tijd. E.J. Dijksterhuis beschrijft Bacons lof voor "de onbaatzuchtigheid, waarmee [Petrus] eer en rijkdom verzaakte om zich geheel aan zijn wetenschappelijk werk te kunnen wijden, en de moeite die hij zich gaf om in gesprekken met mensen van de praktijk (metaalbewerkers, mijnwerkers, jagers, landmeters, maar ook magiërs en goochelaars) van hun praktische ervaring te profiteren" (*De mechanisering van het wereldbeeld*, 1950, II, IV, 79). Saillant detail in Peregrinus' werk is dat hij zijn ideeën over het kompas illustreert a.h.v.

experimenten met *terrellae*, kleine magnetische bollen (letterlijk: kleine aardbollen), zoals die later ook in het werk van Gilbert zouden worden aangetroffen. Petrus meende dat de magneet zijn kracht otleent aan de hemelpolen en dacht bijgevolg dat een *terrella* zou meedraaien met de hemel, als een soort astronomische klok.

6 *Contes des 1001 Nuits*, 'Histoire du troisième Calender' (fils du Roi). De Magneetberg wordt door Goethe genoemd in *Die Leiden des jungen Werther* (erstes Buch, am 26. Julius. In: *Werke*, Hamburger Ausgabe, VI, 41): "Meine Großmutter hatte ein Märchen vom Magnetenberg: die Schiffe, die zu nahe kamen, wurden auf einmal alles Eisenwerks beraubt, die Nägel flogen dem Berge zu, und die armen Elenden scheiteren zwischen übereinanderstürzenden Brettern."

7 Zie ook noot XXX (Descartes over Roberval).

de hofarts van Elizabeth I van Engeland, die het idee verbreidde dat de aarde zelf een grote magneet is, zoals beschreven in zijn klassieke werk *Over de magneet*.⁸ Het jaar waarin dit werk verscheen, 1600, werd door de grote Dijksterhuis gerekend tot de *anni mirabiles*, één van de drempejaren der nieuwe natuurwetenschap.⁹

Gilberts boek handelt over allerhande soorten van aantrekking, met als voornaamste vormen het magnetisme en de elektriciteit. Aan Gilbert komt de eer toe de term 'elektrisch' te hebben ingevoerd. In een verklarende woordenlijst bij zijn boek schreef hij: "Elektrika zijn de dingen die op dezelfde manier aantrekken als barnsteen." Voor Gilbert was de elektriciteit echter van ondergeschikt belang, een verschijnsel in de schaduw van het magnetisme. Want daarvan was hij bezeten. Vooral in zijn latere werk ontwikkelde Gilbert een panmagnetische fysica, gebaseerd op zijn geloof in een universele aantrekking of affiniteit tussen zowel nabije als verwijderde lichamen.¹⁰ Vanzelfsprekend is deze gedachte één van de voorlopers van Newtons zwaartekracht en van moderne ideeën over fysische velden. Het panmagnetisme heeft in onze oren tal van magische en mystieke bijklanken, zoals de volgende passage uit Gilberts *Nieuwe filosofie* illustreert.

8 *De Magnete, magnetisque corporibus et de magno magnetete Tellure physiologia nova* (herdruk Dover, 1968). Naar bekend is baseerde Gilbert zich vooral op een werk van zijn landgenoot Robert Norman, het in 1581 verschenen *The newe Attractive contayning a short discourse of the Magnes of Lodestone* (herdrukt in Hellmann, *op. cit.*), waaraan als appendix was toegevoegd de *Discourse of the Variation of the Compass or Magnetical Needle* van William Borough. Norman en Borough waren mensen uit de praktijk: de eerste was een voormalig zeeman die zich als kompasmaker had gevestigd, de tweede een zee kapitein die tegen de Spaanse Armada had gevochten (Dijksterhuis, *op. cit.*, IV, 3, 174).

9 Dijksterhuis, *op. cit.*, III, IV, 172. De andere *anni mirabiles* zijn 1543 (Nicolaus Copernicus, *De revolutionibus*), 1586 (Simon Stevin, *Beghinselen der Weeghconst*), 1609 (Johannes Kepler, *Astronomia nova*) en 1638 (Galileo Galilei, *Discorsi*).

10 Het latere werk van Gilbert werd door William Boswell gebundeld en uitgegeven onder de titel *De mundi nostri sublunaris philosophia nova* (Amsterdam, 1651). Duhem schrijft deze uitgave overigens toe aan Gilberts broer (*La théorie physique: son objet, sa structure*, Paris, 1914. Eng. vert. *The aim and structure of physical theory*, Princeton 1954, New York 1962, p. 230, n. 20). Gilberts panmagnetische filosofie

"Everything terrestrial is reunited to the earth; likewise, everything homogenous with the sun tends toward the sun, all lunar things toward the moon, and the same for the other bodies forming the universe. Each of the parts of such a body adheres to its whole and does not spontaneously detach itself from it; if it were snatched from it, not only would it make an effort to return to it but it would be called and enticed by the globe's virtues. If it were not so, if the parts could separate themselves spontaneously, and if they did not return to their origin, the whole world would soon be dissipated in confusion. It is not a question of an appetite which brings the parts toward a certain place, a certain space, a certain term, but of a propensity toward the body, toward a common source, toward the mother where they were begotten, toward their origin, in which all these parts will be united and preserved, and in which they will remain at rest, safe from every peril".¹¹

Vrijwel alle schrijvers in die dagen noemden het magnetisme in één adem met de elektriciteit en met andere verschijnselen van aantrekking en afstoting die wij tegenwoordig zouden beschrijven in termen van cohesie en adhesie.¹² De preoccupatie met het magnetisme was echter

werd met instemming begroet door veel natuurkundigen van zijn tijd, o.a. door Francis Bacon (*Novum Organum*, II, 48, 7-9) en Johannes Kepler, die in Gilberts kielzog het moderne idee van universele gravitatie bedacht (*De motibus stellae Martis commentarii*, Praag, 1609 = *Opera omnia* III, 151): "Here is the true doctrine of gravity: Gravity is a mutual affection among related bodies which tends to unite and conjoin them; the magnetic faculty is a property of the same order...". Het magnetisme werd overigens al veel eerder opgevat als een natuurlijk basisverschijnsel, o.a. ter verklaring van de getijdenwerking. Een bekend voorbeeld is de invloedrijke Willem van Auvergne (ca. 1180-1249, bisschop van Parijs 1228-1249), door De Wulf (*Histoire de la philosophie médiévale*, 1934-1947) "le premier grand philosophe du XIIIe siècle" genoemd. In *De universo* (ca. 1230) vergeleek hij de werking van de maan op het water met die van een magneet op ijzer.

11 William Gilbert, *De mundi nostri sublunaris philosophia nova*, 115. Merk op dat de toevoeging van de Aristotelische kwalificatie 'sublunaris' in de titel geen recht doet aan de strekking van Gilberts natuurfilosofie.

12 Een veel gebruikte opsomming noemt de aantrekkingskracht van magneet, amber, glas, hars, olie, was en kolengruis; zie bijv. René Descartes, *Principia philosophiae*

verreweg het grootst, zoals het voorbeeld van Gilbert duidelijk maakt. Dit gegeven hangt ongetwijfeld samen met het grote praktische belang van magneten in de navigatie: magneten waren toen inmiddels geëmancipeerd van curiosum tot gebruiksvoorwerp, anders dan bijvoorbeeld de elektriciteit. Bedenk dat de elektriciteit in die tijd werkelijk geen enkel nut had. Het zou nog ruim tweehonderd jaar duren voordat zij überhaupt werd gepercipieerd als een nuttig verschijnsel, bijna driehonderd jaar voordat er concrete toepassingen voorhanden waren. Uit de preoccupatie met het magnetisme laat zich de neiging verklaren om de magneet, temidden van de andere aantrekkingsverschijnselen, te beschouwen als een kernfenomeen in termen waarvan de andere verschijnselen dienen te worden begrepen.¹³

Gilbert maakte in zijn boek *Over de magneet* een rigoreus onderscheid tussen het magnetisme en de elektriciteit. De twee verschijnselen worden gekenmerkt door heel verschillende eigenschappen, zo redeneerde hij, en daarom kunnen zij niet hetzelfde zijn. Zo wordt magnetisme gekenmerkt door polariteit (richting), reciprociteit (steen trekt ijzer aan, maar ook omgekeerd) en selectiviteit (wel ijzer maar geen hout), terwijl elektriciteit wordt gekenmerkt door eenzijdige aantrekkingskracht (de steen trekt de snippers aan, maar niet omgekeerd) en door katholiceit (d.w.z. non-selectiviteit). Bovendien stelde Gilbert vast dat een magneet zijn werking blijft

(1644, vert. als *Les principes de la philosophie*, 1647), IV, 184.

¹³ Vgl. Goethe: "Der Magnet ist ein Urphänomen, das man nur aussprechen darf, um es erklärt zu haben; dadurch wird es denn auch ein Symbol für alles übrige, wofür wir keine Worte noch Namen zu suchen brauchen" (Maximen und Reflexionen, *Hefte zur Naturwissenschaft* II/1, 1823, in: *Werke*, Hamburger Ausgabe XII, 367). De fixatie op het magnetisme en de overeenkomstige onderbelichting (althans in onze ogen) van de elektriciteit treft men bijv. ook bij Descartes aan, zoals beneden beschreven.

¹⁴ Het Franse woord voor magneten is overigens *aimant*, hetgeen zou kunnen wijzen op een oorsprong in de sympathetische denkwijze; verdere gegevens zijn mij hierover niet bekend. Als 16e-eeuwse standaardwerk op het gebied van de fysische sympathieer geldt Hieronymus Fracastoro, *De sympathia et antipathia rerum* (ca. 1545). Als twee delen van hetzelfde geheel worden gescheiden, aldus Fracastoro, sturen zij naar elkander een emanatie van hun substantiële vorm, een species of beeld dat de tussenliggen-

MAGNETISME	ELECTRICITEIT
polair	apolair
reciprook	eenzijdig
selectief	katholiek
penetrant	locaal
sterk	zwak

Figuur 1: Eigenschappen van magnetisme en electriciteit vergeleken volgens William Gilbert, *De magnete* (1600). Vgl. noot 000.

uitoefenen door steen en vlammen heen, terwijl hij meende waar te nemen dat dit voor elektriciteit niet geldt (iets dat mogelijk samenhangt met de ionisatie van de lucht door de vlam). Verschijnselen die zo radicaal verschillen moeten ook berusten op verschillende principes en dus verschillend worden verklaard. Volgens Gilbert berust het magnetisme op een verborgen 'sympathetische kwaliteit' van magneetstenen (ofschoon hij deze termen zelf angstvallig probeert te vermijden), terwijl de elektriciteit volgens hem berust op de werking van bepaalde rafelige stofdeeltjes (een 'subtiële materie'), die worden geactiveerd door wrijving.¹⁴

DENKFOSSIELEN: FILOSOFIE ALS ARCHEOLOGIE

Het is interessant om dieper in te gaan op die twee verklaringen van magnetisme en elektriciteit. Zij leren ons iets over de geschiedenis van de natuurkunde en haar begrippen, maar leggen ook iets bloot over onze eigen, 'moderne' manier van denken. Want de basisbegrippen en basismetaforen van 'ouderwetse' zienswijzen leven in veel opzichten gewoon voort in onze eigen manier van denken, al zijn wij ons daar zelden van bewust. De filosofie kan hier goede diensten bewijzen. Niet zelden neemt zij de vorm aan van een soort van archeologie (met een knipoog naar Foucault)¹⁵ die ons confronteert met de denkfossielen in ons eigen denken. Wij mogen

de ruimte doorkruist. Door het contact met dit species neigt elk deel naar het andere om zich ermee te herenigen; dit verklaart de onderlinge aantrekkingskracht tussen gelijken, waarvan ook de sympathie van het ijzer voor de magneet een voorbeeld is (Duhem, *op. cit.*, 228-229).

¹⁵ Michel Foucault, *L'archéologie du savoir* (1969).

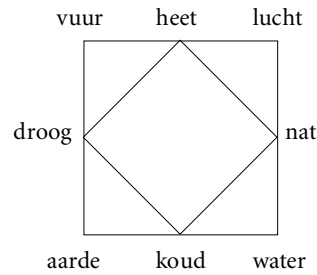
dan wel *denken* dat allerhande antieke zienswijzen tegenwoordig achterhaald zijn door de moderne wetenschap (een van onze meest blinde vooroordelen), maar in feite bepalen zij nog steeds ons denken, ons verbeelden en ons redeneren.

De archeologie van het denken beschouw ik als een vorm van metafysica, niet in de oudere zin van een studie naar de hogere, bovenzinlijke werkelijkheid, maar in de tegenwoordig meer courante zin van een categoriale analyse, d.w.z. als een onderzoek naar de fundamentele begrippen, modellen en metaforen in termen waarvan wij denken en spreken over de werkelijkheid. Als zodanig is de archeologie van het denken verwant aan het project van een ‘*metaphysica generalis*’ (Wolff/Kant) en aan enkele karakteristieke projecten in de twintigste-eeuwse analytische filosofie, zoals dat van de ‘*denkgrammatica*’ (Wittgenstein), de ‘*conceptual geography*’ (Ryle) en de ‘*descriptieve metafysica*’ (Strawson).¹⁶ [Het verschil schuilt in de historische dimensie]

[Beschrijving en analyse van de metaforen in termen waarvan wij nog altijd onze voorstellingen van electromagnetische verschijnselen bespreken en letterlijk ‘verbeelden’.]

16 Christian Wolff (1679-1754), *Philosophia prima sive ontologia* (2e druk 1736), in: *Gesammelte Werke*, ed. Ecole (1962vv), 2. Abt. Lateinische Schriften, Bd. 3; Immanuel Kant, *op. cit.*, B 873; Ludwig Wittgenstein, *Philosophische Untersuchungen* (1958), bijv. §90; Sir Peter Strawson, *Individuals* (1959), ‘Introduction’, en *Analysis and metaphysics* (1992), 1-16; Gilbert Ryle, *The concept of mind* (1949). In de angelsaksische filosofie is het idee van metafysica als ‘categoriale analyse’ terdege ingeburgerd; vgl. Brian Carr, *Metaphysics* (1987), 1-14.

17 Hier tekenen zich de contouren af van de latere alchemie en van de speurtocht naar de steen der wijzen, waarmee elk gewenst materiaal kan worden omgezet in goud. Een beroemde strijdvraag in verband met de elementenleer was overigens het ‘*mixtio*’-probleem: of, en zo ja, hoe in een echt *mixtum* (een *mixtum secundum veritatem*, niet een gewoon mengsel of *mixtum ad sensum*) de elementen waaruit het is ontstaan nog aanwezig zijn. Ook in de moderne scheikunde, waarin de Aristotelische vier elementen zijn vervangen door een groot aantal nieuwe elementen, bestaat deze vraag voort. Het *mixtum ad veritatem* neemt daar de vorm aan van een chemische verbinding. Vgl. Dijksterhuis, *op. cit.*, II, 5, C 132vv. Vgl. [verwijzing]



Figuur 2: Oppositie en compositie van de Aristotelische elementen en hun kwaliteiten. Vrij naar een in de Middeleeuwen veel gebruikt diagram. Vgl. David Lindberg, *The beginnings of Western science. The European scientific tradition in philosophical, religious, and institutional context, 600 B.C. to A.D. 1450* (1992), fig. 3.2.

KWALITEITEN

Eén van de onbetwiste grondleggers van de natuurkunde was de Griekse filosoof Aristoteles van Stagira (384-322 v. Chr.). Door een samenloop van omstandigheden raakte zijn werk in de eerste eeuwen van onze jaartelling in West-Europa in een duizendjarige vergetelheid. Toen het echter in de loop van de twaalfde eeuw via de Arabieren en de Moren werd herontdekt, was het effect op het Westerse denken enorm. De filosofie van de late middeleeuwen, de zogeheten ‘*scholastische*’ wijsbegeerte, was doortrokken van de Aristotelische filosofie, die zij vervolgens heeft doorgegeven aan de denkers van de moderne tijd, zoals Galileo, Descartes en Newton.

In de Aristotelische fysica wordt het begrip ‘*kwaliteit*’ gebruikt om een onherleidbaar element of basisaspect van de verschijningsvorm of van het gedrag van een ding te benoemen. Zo zijn er actieve kwaliteiten (hitte, droogte en hun tegendelen) die verantwoordelijk zijn voor het merendeel van de verschijnselen in het ondermaanse. Zij bepalen ook de vier elementen uit Aristoteles’ natuurleer: aarde (droog en koud), vuur (heet en droog), lucht (nat en heet) en water (koud en nat). Deze elementen kunnen in elkaar worden omgezet door telkens één kwaliteit te verwisselen.¹⁷ Voorts zijn er affectieve kwaliteiten die inwerken op een van onze zintuigen. Zij beïnvloeden bijvoorbeeld het licht en brengen kleuren teweeg, of maken dingen transparant of ondoorzichtig. Tot slot zijn er ook kwaliteiten die niet rechtstreeks inwerken op

onze zintuigen, zoals zwaarte en lichtheid; deze eigenschappen kunnen wij alleen indirect 'waarnemen', namelijk op basis van redeneringen over de wél waargenomen natuurlijke bewegingen van aarde en vuur. De eerste en tweede groep van kwaliteiten (de actieve en de affectieve) werden in de scholastische filosofie 'manifest' genoemd, terwijl de derde groep 'verborgen' of 'occult' heette. Tot de occulte kwaliteiten behoren ook de sympathieën en de antipathieën, waartoe als regel ook het magnetisme en de elektriciteit werden gerekend.¹⁸

SYMPATHIE

Zoals gezegd schulde volgens Gilbert de verklaring voor het magnetisme in een verborgen kwaliteit van magneetstenen die 'sympathetisch' kan worden genoemd. Het sympathiebegrip in de wetenschap komt oorspronkelijk uit de geneeskunde, waar het wordt aangetroffen van het *corpus Hippocraticum* (5e/4e eeuw v. Chr.) tot rond 1800. Het gaat hierbij om het idee dat tussen bepaalde organen of lichaamsdelen een speciale band bestaat, zoals tussen de baarmoeder en de borsten, zodanig dat wanneer het ene deel of orgaan letsel oploopt, de kwetsuur zichtbaar wordt in het andere. Volgens de beroemde filosoof-arts Galenus (129-circa 200) schuilt de verklaring van dergelijke sympathieën in inwendige verbindingen tussen de organen via de zenuwen en de lichaamssappen.¹⁹

Onder invloed van Hermetische en alchemistische denkbeelden werd het sympathiebegrip tijdens de Renaissance gaandeweg steeds breder toegepast, eerst metaforisch, later letterlijk, voor de verklaring van elke vorm van werking op afstand in het universum. In de magische geneeskunde, bijvoorbeeld, kwamen mid-

delen in zwang zoals de wapenzalf (*unguem armoris* of *weapon salve*). Aangebracht op het zwaard dat de wond toebracht, geneest deze zalf de wond zelf. Het Hermetische sympathiebegrip raakte in de tweede helft van de 17e eeuw steeds meer in onbruik, net als de overige occulte en andere Aristotelische kwaliteiten.²⁰

TOVENARIJ

De denkbeelden die als reactie op de Aristotelische filosofie ontstonden in de Renaissance en vroege moderne tijd, van de late vijftiende eeuw tot de vroege zeventiende eeuw, kunnen *in abstracto* worden onderscheiden in twee groepen, de wetenschappelijke en de magische. Dit is echter vooral een reconstructie achteraf, dus een *imaginair* onderscheid. In die dagen zelf bestond er grens noch verschil tussen beide soorten denkbeelden. Pas in de zeventiende eeuw, naarmate zich een zeker paradigma voor wetenschappelijke aannemelijkheid ontwikkelde,²¹ begonnen geleerden elkaar over en weer te betichten van magie. De verhouding tussen magie en wetenschap was echter veel minder duidelijk dan wij tegenwoordig geneigd zijn te denken. Een eminent geleerde als Johannes Kepler (1571-1630), bijvoorbeeld, de ontdekker van de perkenwet voor de beweging van de planeten en één van de grondleggers van de zwaartekrachtsleer, polemiseerde vanaf 1619 met de Engelse arts-apotheker Robert Fludd over diens kabalistische, op Paracelsus geïnspireerde (magische) theorieën, maar was tegelijkertijd zelf een mystiek Pythagoreër en voorstander van het kosmisch magnetisme, naar aanleiding waarvan iemand als Galileo hem op zijn beurt van magie kon betichten.²² Min of meer hetzelfde geldt voor William Gilbert, wiens werk zich eveneens

18 Magnetisme en sympathie zijn ook het thema van één van Goethe's 'Sprüche' (*Werke*, Hamburger Ausgabe I, 305-306):

"Magnetes Geheimnis, erkläre mir das!"

Kein größer Geheimnis als Lieb' und Haß.

19 Van oudsher waren drie basissappen bekend, namelijk bloed (*sanguinis*), gal (*cholia*) en slijm (*phlegma*), waaraan rond het begin van onze jaartelling een vierde aan werd toegevoegd, de zwarte gal (*melancholia*). Deze vier sappen definiëren ook de vier basistypen van menselijke karak-

ters, al naar gelang het overheersende sap. Zo spreken wij heden ten dage nog altijd van sanguinische, cholerische, flegmatische en melancholische of zwartgallige types.

20 Over de sympathie, haar denktrant en toepassingen, zie ook Umberto Eco, *L'isola del giorno prima* (1994). In deze roman spelen niet toevallig ook het kompas en de navigatiekunst een belangrijke rol.

21 Met een knipoog naar Thomas Kuhn, *The structure of scientific revolutions* (1962).

22 Robert Fludd (1574-1637), *History of the macrocosm and microcosm* (ca. 1618). Voor Keplers Pythagoreïsche fantasieën, zie o.a. diens *Harmonice mundi* (1619). Voor de

bevond op (wat wij nu noemen) het grensgebied tussen magie en wetenschap.

Volgens Brian Easlea, die een studie wijdde aan de heksenjacht, de tovenarij en de nieuwe filosofie in de vroege moderne tijd, is de uiteindelijke overwinning van 'de wetenschap' op 'de magie' niet zozeer te wijten aan zoiets als de superieure methodologie of filosofie van de ene groep van geleerden (de wetenschappers), maar vooral aan het maatschappelijke engagement van de andere geleerden (de tovenaars).²³ Het waren de magiërs die actief opkwamen voor de emancipatie van de armen, de onderdrukten, de vrouwen en de boeren. Met hun acties, die overigens veelal los stonden van hun denkbeelden, maakten zij zich maatschappelijk verdacht en eindigden zij niet zelden op de brandstapel. Collega-geleerden die betere contacten met het *establishment* onderhielden verbreedden weliswaar ideeën die niet minder ketters waren, maar wisten althans te overleven, zowel letterlijk als in sociaal opzicht. Mede dankzij hun connecties raakten juist hun ideeën uiteindelijk ingeburgerd.

Een bijzonder invloedrijke lijn van denken was de Hermetische natuurgie. Ofschoon haar historische bronnen teruggaan op Gnostische mysteriën van de tweede en derde eeuw, kan haar ontstaan kan worden gedateerd op 1463, toen de Italiaanse geleerde Marsilio Ficino (1433-1499), de eerste tovenaar uit de Renaissance, van zijn Florentijnse beschermheer Cosimo de' Medici (1389-1464) de opdracht ontving om een verzameling Griekse manuscripten te vertalen. Het ging om een spoedopdracht, waarvoor Ficino zijn grote Plato-vertaling tijdelijk onderbrak. De kostbare teksten maakten (althans volgens de legende van die dagen) deel uit van het *Corpus Hermeticum*, volgens de overlevering geschreven door Hermes Trismegistus, de legendarische Egyptische priester, een Griekse versie van de Egyptische god Thoth en tijdgenoot van Mozes, die onder goddelijke influïste-

ring de geheimen van de kosmos en van de Schrift had weten te ontrafelen. De geschriften zijn in werkelijkheid een eclectische, neoplatoniserende verzameling *pia philosophia* uit de eerste eeuwen van onze jaartelling. In de Middeleeuwen was hiervan slechts één deel bekend, de Latijnse *Asclepius*, die in 1469 voor het eerst in druk verscheen. Vanzelfsprekend baarde de ontdekking van de Griekse *Hermetica* in Cosimo's manuscripten veel opzien. Het gaat om veertien tractaten die Ficino vertaalde onder de titel *Pimander*.²⁴ De eerste druk verscheen in 1471, de tweede sterk verbeterde druk in 1472. *Pimander* bleef tot in de negentiende eeuw de meest invloedrijke hermetische tekst. Binnen honderd jaar verschenen er tientallen uitgaven in het Latijn en vertalingen in het Italiaans, Frans, Nederlands en Spaans.

In het voorwoord van de *Pimander* beschreef Ficino de afstamming van de oude wijsheid aldus:

“Mozes werd geboren ten tijde van Atlas de astroloog, broer van de natuurfilosoof Prometheus en grootvader van moederszijde van Mercurius de Oudere, wiens kleinzoon Mercurius Trismegistus was. Hij werd Trismegistus genoemd, of Driewerf Grootste, want hij was de grootste filosoof, de grootste priester en de grootste koning. (...) Hij beschreef als eerste met grote wijsheid de majesteit van God, de orde der demonen en de transformaties van de ziel. In de *prisca theologia* (de 'oude theologie') werd hij gevolgd door Orpheus. Na Aglaophemus kwam Pythagoras, ingewijd in de rituelen van Orpheus, en hij werd gevolgd door Philolaus, leermeester van onze goddelijke Plato.”²⁵

Een belangrijk onderdeel van de oude wijsheid in de *Hermetica* vormt de natuurgie. Het meest tot de verbeelding spreken waarschijnlijk de paragrafen in de Latijnse *Asclepius* die beschrijven hoe standbeelden tot leven kunnen

invloed van Keplers neoplatoonse metafysica op zijn kosmografie, zie ook. Gerald Holton, 'Johannes Kepler's universe: its physics and metaphysics', in: *Thematic origins of scientific thought. Kepler to Einstein* (1973, rev. ed. 1988), 53-74.

²³ Brian Easlea, *Witch hunting, magic and the new philo-*

sophy (1980)

²⁴ *Liber de potentia et sapientia dei, cujus titulus est Pimander*. In: *Opera omnia* (repr. Turijn, 1959).

²⁵ *Op. cit.*, 1836. Ficino schrapte later Philolaus en plaatste Zoroaster bovenaan de stamboom.

worden gewekt door er demonische krachten over af te roepen.²⁶ In Aristotelische termen gesteld legde een Hermetisch tovenaars zich toe op de manipulatie van de natuurlijke en occulte kwaliteiten der dingen. Zijn werkwijze was echter niet Aristotelisch, maar volgde de wijsheid van Hermes, Zoroaster, Pythagoras en Orpheus, soms nog aangevuld met die van de Joodse kabbalisten.²⁷

[Beschrijving van enkele kenmerkende onderwerpen: de wonderlijke vermogens van de zuigvis (*echeuis remora*, een kleine beenvis waarvan de rugvin vergroeid is tot een zuignap, waarmee hij zich vasthecht aan bijv. haaien), van de feniks, van de talisman. Vooral ook de wonderlijke vermogens van de magneet en van het amber trokken de aandacht. Een goed voorbeeld van de magische fascinatie door deze verschijnselen geeft Ficino in zijn commentaar op het *Symposium* van Plato:

“Want de kracht van magie berust geheel en al op Liefde. De werking van magie is de aantrekking van het ene ding door het andere ding op grond van hun natuurlijke onderlinge sympathie. De delen van de wereld, net als de lichaamsdelen van een levend wezen, (...) zijn onderling verbonden in de gemeenschap van één natuur. (...) Uit hun gemeenschappelijke verhouding wordt een gemeenschappelijke liefde geboren en uit deze liefde een gemeenschappelijke aantrekking: en dit is de

26 *Asclepius* 23v, 37v.

27 [Volgens Ficino's tijdgenoot Pico della Mirandola (1463-1494) is de Egyptische natuurmagic niet krachtig genoeg. Alleen wanneer zij wordt aangevuld met de oude Joodse (kabbalistische) magie kan de tovenaars er demonische en angelieke en krachten mee losmaken en zelfs God zelf bereiken. duivelse magie, zoals gepraktiseerd door met name de eerder genoemde Agrippa von Nettesheim (1487-1535). Ondanks zijn verdiensten op het slagveld in Spanje... Paracelsus (Theophrastus Philippus Aureolus Bombastus von Hohenheim, 1493-1541), bekend om zijn iatrochemische geneeskunst gebaseerd op kwik, zout en zwavel, en fel gekant zowel tegen de kruidenkunst als tegen de oude Galenische sappenleer. Giordano Bruno: het Christendom heeft de oude, ware Egyptische godsdienst van Hermes Trismegistus, met de levende magi Orpheus en Pythagoras, vernietigd, en er een verering voor dode dingen voor in de plaats gezet; in 1591 verraden aan de Inquisitie, negen jaren gevangen gezet en in 1600 verbrand als ketter. Tommaso Campanella]

28 Marsilio Ficino, *Commentaire sur le Banquet de*

ware magie. (...) Zo trekt de loodssteen ijzer aan, barnsteen stro, zwavel vuur, trekt de Zon de bloemen en de bladeren tot zich en de Maan de zeeën ...”²⁸

[Besluit van digressie over tovenarij]

EEN LOGISCH PROBLEEM

De introductie van verborgen kwaliteiten ter verklaring van de verschijnselen brengt een logisch probleem of risico met zich mee: dat van de *circulus in explanandi*, of van de *ad hoc*-verklaring. Ofschoon dit probleem inherent is aan de Aristotelische natuurfilosofie (en dus al vele eeuwen bestond), werd het pas in wijde kring als echt problematisch ervaren ten tijde van de zogenoemde Wetenschappelijke Revolutie van de 16e en 17e eeuw. Het waren de Aristotelici zelf die toen ter tijd opmerkten dat de verklaarende kracht van occulte kwaliteiten steeds minder werd, doordat steeds meer filosofen (en vooral de Hermetici) steeds meer verschijnselen wilden verklaren in termen van telkens weer andere verborgen sympathieën en andere occultheden.²⁹ In de veel strengere corpusculaire filosofie die gaandeweg de Aristotelische verdronk werden dergelijke verborgen kwaliteiten dan ook uitgebannen. De nieuwe filosofie van de 17e en 18e eeuw erkende uitsluitend nog zogeheten ‘primaire’ kwaliteiten als werkelijk inherent in de dingen. Typische primaire kwalitei-

Platon, vert. R. Marcel (Parijs, 1956), 220. *Opera omnia* (repr. Turijn 1959), 1150vv. Het werk beschrijft de viering van Plato's geboorte- en sterfdag op 7 november 1468 in Ficino's Florentijnse Academie (*op. cit.*, 335-340). Het gebruik om op 7 november Plato's geboorte- en sterfdag te vieren gaat tenminste terug op Plotinus.

29 De trivialiteit en circulariteit van dit soort van Aristotelische schijnverklaringen wordt op kernachtige wijze geheld door Molière in zijn *Le malade imaginaire* (1673). Aan een geleerde arts in dit stuk (*doctus bachelieurus*) wordt gevraagd waarom je van opium eigenlijk slaperig wordt. Hij antwoordt op karakteristiek Aristotelische wijze:

“Demandabo causam
Et rationem quare
Opium facit dormire”
“Quia est in eo
Virtus dormitiva
Cuius est natura
Sensus assoupire”

ten zijn de wiskundige eigenschappen van de dingen, zoals hun vorm, hun aantal en hun beweging. Alle andere eigenschappen werden gerekend tot de secundaire kwaliteiten: niet eigen aan de dingen zelf, maar subjectieve reacties van waarnemende personen op (complexen van) primaire eigenschappen, die door ons dan worden ervaren als koude of warmte, als mooi of lelijk, als stank of als aangenaam, en zo voort.

ARISTOTELISCH, MAGISCH OF MODERN?

Gilbert deed zijn best om zich in zijn theorie van het magnetisme te distantiëren van de oude Aristotelische verklaringswijzen. Hiermee zou hij later de lof oogsten van Galileo Galilei, die *Over de magneet* al in 1602 las. In zijn beroemde *Dialoog over de grote wereldsystemen* uit 1632 wordt Gilbert genoemd in de bespreking van het magnetisme. Aan het einde van de derde dag spreekt Salviati zijn grote enthousiasme uit over het werk van Gilbert. Hij heeft het ontvangen, zo vertelt hij schertsend, van een Aristotelische filosoof die het niet bij de andere boeken in zijn bibliotheek durfde te zetten, uit angst dat deze erdoor besmet zouden raken. Naast lof is er echter ook kritiek. Net als Kepler heeft Gilbert zich weliswaar weten te bevrijden van het Aristotelisme, maar is hij vervolgens gevallen voor de magische ideeën van zijn dagen.³⁰

Dijksterhuis beschrijft Gilberts verwoede pogingen om zich van het Aristotelisme te bevrijden als volgt:

“Gilbert geeft zich alle moeite, dit vermogen nader in woorden te omschrijven. Het is, verne-
men we, een formele efficiëntie, een speciale pri-
maire radicale astrale vorm. Men mag vooral niet
denken aan de *causa formalis* van de Aristoteli-
sche wijsbegeerte of aan begrippen als sympathie,
hemelse influentie of occulte kwaliteit. Wanneer
ijzer en magneet er naar streven samen te komen,
dan is dat niet een violente neiging van het ene
lichaam naar het andere, geen dol samenvloeiën
in het wilde weg, geen gevolg van dwang, strijd

of tweedracht, maar een uiting van de overeen-
stemming zonder welke de wereld ineen zou stor-
ten, een gevolg van de wezenlijke gelijkheid tussen
de delen en het geheel.

De opeenhoping van machteloze omschrij-
vingen typeert de verlegenheid, waarin een zes-
tiende- of zeventiende-eeuwse physicus kwam te
verkeren, wanneer hij wel reeds de verklaring-
principes der Aristotelische natuurwetenschap
had verworpen, maar de verklaringsbehoefte die
er in de Middeleeuwen door bevredigd was ge-
worden, nog bezat.³¹

Gilbert verzette zich fel tegen het idee dat
magnetisme een vorm van ‘aantrekking’ is, “for
where attraction exists, there, force seems to be
brought in and a tyrannical violence rules”. Hij
gaf de voorkeur aan de term ‘coitio’ of ‘samen-
komst’, verwijzend naar de hymne van Orpheus
waarin “iron is drawn to the lodestone as the
bride to the embraces of her spouse.”³² In de vijf-
tiende eeuw had de Duitse wiskundige en filo-
soof Nicolaus van Kues (1404-1464) al gespro-
ken van een in het ijzer zetelend verlangen naar
vereniging met de magneet, vergelijkbaar met
het streven van de menselijke geest naar wijs-
heid.³³

[Slotsom over Gilberts animistische magneetleer]

EFFLUVIUM

Verklaarde Gilbert het magnetisme in termen
van occulte sympathetische kwaliteiten op de
oude Aristotelische manier (hoezeer hij zelf ook
tegen deze kwalificatie gekant was), voor de ver-
klaring van de elektriciteit deed hij zoals gezegd
een beroep op een uiterst subtiele materie, in
de modernere corpusculaire verklaringstrant.
Die theorie is een onderdeel van de *effluvium*-
leer. Effluvium werd soms opgevat als een on-
stoffelijke substantie (als een soort geest, dus),
maar meestal als een uiterst subtiele stoffelijke
damp (*vapor*), die wordt uitgestoten door licha-
men en die er weer naar kan terugkeren.

30 *Dialogo sopra i due massimi sistemi del Mondo, Tole-
maico e Copernicano* (1632). De gesprekspartners in deze
dialoog, Salviati, Sagredo en Simplicio, vertegenwoordigen
resp. Galileo zelf, het gezonde verstand en de Aristotelische

filosofie.

31 Dijksterhuis, *op. cit.*, IV, 3, 178.

32 *De magnete* (Dover, 1968), 136 en 97.

33 Cusanus, *Idiota de sapientia*, in: *Opera omnia*, ed.

[Relatie effluvium/Aristotelisme? Emanatio specierum, optische straling, astrale substantiële vormen.]

Het effluviumbegrip werd door de corpusculaire filosofen van de 17e en 18e eeuw veelvuldig gebruikt om schijnbare werking op afstand te verklaren. Zo bijvoorbeeld door Robert Boyle (1627-1691) in zijn *Essays of the Determinate Nature of the Effluvioms* (1673) en door Isaac Newton (1642-1727) in zijn verklaring van het magnetisme. Het bekendste model, dat als voorbeeld diende voor veel latere theorieën, stamde van René Descartes (1596-1650) uit diens theorie over het magnetisme.³⁴

WERVELS, SCHROEVEN EN BONEN

Volgens Descartes bestaat het magnetisch effluvium uit langwerpige, schroefvormige partikels van uiterst subtiele aard. Magneten bezitten onzichtbare poriën waar het effluvium, dat verwant is aan de hemelse materie, gemakkelijk in en uit kan stromen. De effluviuustroom is in wezen een kolk van dergelijke partikels die aan de ene kant van de magneet naar buiten en, via een grote boog, aan de andere kant weer naar binnen stroomt. Naast magneten hebben alleen ijzer en staal zo'n structuur. Wanneer de magneetschroeven via de noord- en de zuidpool de magneet verlaten (de ene groep linksdraaiend, de andere rechtsdraaiend), vinden zij op hun weg alleen in andere magneten en in ijzer de geschikte poriën om door naar binnen te treden. Zijn deze aanwezig, dan ontstaat tussen de beide lichamen

een continue stroom van magnetische partikels. Aangezien de lucht tussen de lichamen door de partikels opzij wordt gedrukt, komt een luchtstroom op gang die de beide lichamen naar elkaar toe duwt. Er is dus alleen sprake van een *schijnbare* aantrekking tussen magneten en ijzer; in werkelijkheid gaat het namelijk om *druk* aan de andere kant.³⁵

In de natuurfilosofie van Descartes is de ruimte in zekere zin identiek aan de materie. De hele ruimte is gevuld met materiële partikels of corpuscula (*natura abhorrens vacuo*) die ontwikkeld zijn in voortdurende, complexe wervelstromen (*vortices* of *tourbillons*). Via deze wervelstromen verklaarde Descartes allerhande gevallen van schijnbare werking op afstand, waaronder ook de planeetbewegingen en de 'zwaartekracht' (*avant la lettre*).

De partikels van het eerste hemelse element stelde Descartes voor als een soort van interstellair slijpsel (*raclure*), gevormd uit de polijstende onderlinge botsingen en bewegingen van de deeltjes van het tweede element, die aldus hun bolvorm verkrijgen. Sommige van deze slijpseldeeltjes rijgen zich aaneen tot grotere lichamen, vooral waar zij zich in een rechte lijn van de periferie naar het centrum van de vortex bewegen: deze deeltjes zijn immers het minst onderhevig aan botsingen. Descartes stelde zich deze lichamen voor als staafjes met drie schroefdraden, die zich tussen de dicht opeengepakte bolvormige partikels van het tweede element al draaiend voortbewegen.³⁶

Baur (1937), V, 1.

³⁴ Brief aan Constantijn Huygens, 22 mei 1643 (AT III, 669). Magnetisme wordt zeer uitgebreid besproken in Descartes' *Principia*, IV, 133-183, gevolgd door een aanmerkelijk kortere bespreking van de aantrekkingskracht van amber, glas en andere stoffen (*ibid.*, 184-186). Wat Newtons ideeën over elektrische verschijnselen betreft, is het interessant dat Newton de elektriciteit uitdrukkelijk noemt in zijn beruchte en merkwaardig beroep op "a certain very subtle spirit that pervades all dense bodies and is concealed in them" in het *Scholium generale* waarmee hij zijn hoofdwerk besluit (*Principia mathematica philosophiae naturalis*, 1687). Zie ook A.B. en A.R. Hall, 'Newton's electric spirit: four oddities', *Isis* 50, 1959.

³⁵ Descartes gruwde van het in zijn ogen absurde idee van aantrekking tussen lichamen. Zijn tijdgenoot Gilles (Pierre?) de Roberval opperde in 1644 het idee dat lichamen van gelijke soort een aantrekkingskracht op elkaar uitoefenen, een Aristotelische occulte kwaliteit die als voorloper

kan worden beschouwd van Newtons universele zwaartekracht. Roberval lanceerde dit idee overigens zeer voorzichtig: niet onder zijn eigen naam, maar in een door hem bezorgde editie van een werk dat hij toeschreef aan Aristarchus van Samos (*Aristarchi Samii De Mundi systemate, partibus et motibus cujusdem Liber singularis*, Parijs, 1644). Over dit idee liet Descartes zich vernietigend uit in zijn brief van 20 april 1646 aan pater Marin Mersenne, die hem Robervals werk ter commentaar had toegestuurd "ad iudicium ferendum de ijs scriptis: "Denique absurdissimum est quod addit, singulis partibus materiae mundanae inesse quandam proprietatem, vi cuius ad se inuicem ferantur, & reciprocè attrahant" (AT IV, 396-403). Descartes' reden voor deze veroordeling was o.m. de implicatie dat de lichamen zouden moeten kunnen weten wat zich elders bevindt, derhalve bezield zouden moeten zijn. Vgl. Duhem, *op. cit.*, 15-16 en 242-243.

³⁶ "Il suffit que nous les concevions ainsi que de petites colonnes cannelées, à trois raies ou canaux et tournées com-

Over de elektriciteit, die door hem naar mijn weten overigens nergens met die term wordt aangeduid,³⁷ schreef Descartes dat hij eerst meer experimentele kennis van de verschijnselen moest opdoen. Hij noemde in dit verband in één adem de aantrekkingskracht van amber, was, hars en dergelijke meer,³⁸ waaraan hij nog glas en git toevoegde. Alleen voor de aantrekkingskracht van glas gaf Descartes vervolgens de schets van een verklaring die analoog is aan die van het magnetisme, met dien verstande dat de schroefvormige lichamen vervangen zijn door een soort boonvormige linten (*fasciolae*, in de Franse vertaling uit 1647 “des bandelettes”).³⁹ Deze bonen worden door de wrijving van het glas zodanig geagiteerd, dat zij via de poriën het glas verlaten. Als zij in de omgeving geen stof aantreffen met geschikte poriën om in binnen te dringen, “elles retournent aussitôt dans le verre, et y amènent avec soi les fétus ou autres petits corps dans les pores desquels elles se trouvent engagées”.⁴⁰

ELECTROMAGNETISME?

Het verband tussen de elektriciteit en het magnetisme, althans zoals wij dat nu kennen, werd gelegd in de eerste helft van de negentiende eeuw. Het zou in de daaropvolgende eeuw-

me la coquille d'un limaçon, tellement qu'elles puissent passer en tournoyant par les petits intervalles qui ont la figure du triangle curviligne ..., et qui se rencontrent infailliblement entre trois boules lorsqu'elles s'entre-touchent” (*Principes*, III, 90)

37 Toch was Descartes bekend met het werk van Gilbert, die hij noemt als degene die ontdekt heeft dat de aarde een magneet is (*Principia*, IV, 166). Zie ook noot 3.

38 “De vi attractionis in succino, cera, resina et similibus”, *Principia*, IV, 184.

39 *Op. cit.*, IV, 185: “En suite de quoi il faut remarquer touchant ce premier élément, dont la propriété est de prendre toujours la figure des lieux où il se trouve, que, pendant qu'il coule par ces petites fentes [dans le verre], les moins agitées de ses parties s'attachent les unes aux autres, et composent des bandelettes qui sont fort minces, mais qui ont un peu de largeur et beaucoup plus de longueur, et qui vont et viennent en tournoyant de tous côtés entre les parties du verre, sans jamais guère s'en éloigner, à cause que les passages qu'elles trouvent dans l'air ou les autres corps qui l'environnent ne sont pas si ajustés à leur mesure, ni si propres à les recevoir”.

40 *Ibid.* Merk op dat Descartes hier stelt dat de ‘bandelettes’ de stoffen *meenemen* (‘amènent avec soi’). Anders dan

wisseling uitmonden in “eine art von physikalischen Monotheismus”, zoals Spengler het noemde.⁴¹ In 1820 had de Deen Hans Christian Oersted geobserveerd dat een elektrische stroom die vlakbij een kompas door een draad stroomt, de kompasnaald beïnvloedt afhankelijk van de richting van de stroom. Kort daarna beschreef de Fransman André Marie Ampère een experiment waarin twee elektrische stromen door parallelle draden worden gevoerd. Als de stromen dezelfde kant op gaan trekken de draden elkaar aan; als zij tegengesteld zijn stoten de draden elkaar af. Rond die tijd begon ook de Engelse natuurkundige Michael Faraday (1791-1867) aan een onderzoek naar magnetisme en elektriciteit. Hij baseerde zijn experimenten op een fenomeen dat ook al door Petrus Peregrinus was beschreven: als je ijzervijzel strooit op een vel papier boven een magneet en vervolgens zachtjes tegen het papier tikt, groepeert het vijzel zich in boogvormige lijnen tussen de polen van de magneet. In 1629 had Niccolò Cabeo deze lijnen al ‘krachtlijnen’ genoemd, *lineae virtutis*. Ook Faraday sprak van ‘magnetische krachtlijnen’. Als je deze truc nu ook bleek te kunnen uitvoeren met een elektrische stroom, vooral als deze door een spoel wordt gevoerd, zou vanzelfsprekend een nauw verband zijn gelegd tussen de elektri-

bij de verklaring van magnetisme wordt hier geen beroep gedaan op de druk van de door de elektrische deeltjes verplaatste lucht om de verplaatsing te verklaren. Vermoedelijk speelt hierbij een rol dat de te verplaatsen lichamen zeer klein zijn, als onderscheiden van de vaak zware ijzeren en stalen lichamen die door magneten worden bewogen. Een andere factor is wellicht het gegeven dat magnetische aantrekking reciprook is, maar elektrische aantrekking eenzijdig (zoals Gilbert al had opgemerkt). Zou de laatste aantrekking ook door luchtverplaatsingen worden bewerkstelligd, dan zou moeten worden verwacht dat ook het glas of de barnsteen beweegt, hetgeen niet het geval is. Een mogelijk bezwaar tegen deze suggestie is dat het uitblijven van beweging in bijv. glas ook veroorzaakt kan zijn door de relatieve zwaarte ervan in verhouding tot de aangetrokken deeltjes en bijgevolg in verhouding tot de verplaatste lucht: misschien beweegt het glas wel, maar niet waarneembaar. Het hier door Descartes gemaakt verschil tussen de verklaring van elektriciteit en die van magnetisme lijkt analoog aan het onderscheid dat Gilbert maakte. Zoals boven beschreven, beschouwde Gilbert de elektriciteit als een echte eenzijdige aantrekking, het magnetisme als een *coitio* of samenkomen van twee lichamen.

41 Zie het motto van dit stuk.

cteit en het magnetisme.

Faraday ging echter veel verder, met alle gevolgen van dien voor onze huidige cultuur en samenleving. Als een elektrische stroom een magnetisch veld kan opwekken, zo redeneerde hij, moet dat dan niet ook omgekeerd kunnen: dat een magneet een stroom opwekt? In 1831 verrichtte Faraday een experiment dat de wereld zou veranderen: hij wekte een stroom op in een draad door een magneet door een spoel te bewegen. Om de stroom te kunnen meten gebruikte hij overigens een splinternieuw apparaat, de galvanometer, die net in 1820 was ontworpen door de Duitse natuurkundige Johann Schweigger. Met zijn dynamo, gebaseerd op het beginsel van inductiestromen, bracht Faraday de wereld de mogelijkheid om continu elektrische stromen in grote hoeveelheden op te wekken en industrieel toe te passen.⁴² Misschien nog wel belangrijker dan deze maatschappelijke vernieuwing is het feit dat Faraday's experimenten de basis legden voor de algemene electromagnetische veldtheorie van James Clerk Maxwell (1831-1879), die in 1861 werd gepubliceerd.

FLUIDUM IMPONDERABILE

William Gilbert ontdekte dat niet alleen barnsteen maar bijvoorbeeld ook glas door wrijving een elektrische 'lading' kan krijgen. Hem wordt algemeen de eer gegeven voor dit verschijnsel de naam 'electriciteit' (van het Griekse woord voor barnsteen, *elektron*) te hebben geïntroduceerd. Het soort van electriciteit waarmee Gilbert en zijn tijdgenoten zich bezighielden werd later (en wordt nog steeds) 'statische electriciteit'

42 De concrete industriële toepassing van electriciteit zou echter nog enkele decennia op zich laten wachten. Pas in 1872 werd 's-werelds eerste echt efficiënte generator ontwikkeld door de Duitse ingenieur Friedrich Von Hefner-Alteneck. Voor een beknopte schets, zie Isaac Asimov, *Asimov's new guide to science* (1984), 392vv. De eerste maatschappelijk succesvolle industriële toepassing was de telegraaf. Eigenlijk uitgevonden door de Amerikaan Joseph Henry (1797-1878), maakte een kunstenaar met meer zakelijk instinct er uiteindelijk naam mee, namelijk zijn landgenoot Samuel Morse. Het was Morse die in 1844 de eerste werkende telegraaf installeerde. Henry vond eveneens de electromotor uit, ofschoon Thomas Alva Edison (1847-1931), de grote promotor van de wisselstroom, er het zakelijk succes aan wist te verbinden. In 1879 werd in Berlijn een

genoemd: het gaat uitsluitend om een 'lading' die een voorwerp heeft en waardoor dat voorwerp bepaalde verschijnselen kan teweegbrengen. Die lading beweegt niet, of anders gezegd: er treedt geen stroom op. Het idee van stromende electriciteit was gewoon nog niet geboren.

Nauwkeuriger onderzoek naar de verschillende stoffen die door wrijving elektrisch 'geladen' kunnen worden bracht de Franse geleerde Charles François de Cisternay du Fay (1698-1739) ertoe om een scherp onderscheid te maken tussen twee soorten van electriciteit (1733). De ene soort noemde hij glaselectriciteit ('*électricité vitrée*'), het soort electriciteit waarmee glas, bergkristal, edelstenen, haar en wol geladen kunnen worden. De andere soort noemde hij harselectriciteit ('*électricité résineuse*'), waarmee onder andere rubber, barnsteen, zijde en papier geladen kunnen worden. Du Fay was de eerste die de hoofdregel formuleerde dat voorwerpen met gelijksoortige electriciteit (hars-hars, glas-glas) elkaar afstoten, terwijl voorwerpen met ongelijksoortige electriciteit elkaar aantrekken (glas-hars). De glas- en hars- (of eboniet-)terminologie bestaat nog steeds, al wordt zij tegenwoordig steeds minder gebruikt.

Zoals algemeen bekend is had ook de Amerikaan Benjamin Franklin (1706-1790) een grote belangstelling voor de electriciteit. Net als veel van zijn tijdgenoten dacht hij dat licht, warmte, magnetisme en ook electriciteit eigenlijk een speciaal soort vloeistof zijn.⁴³ Aangezien zij door gewone materie heen kunnen gaan en geen aantoonbaar gewicht hebben, dacht men dat zij bestaan uit zeer subtiele materie die bovendien *im-*

volledig elektrische locomotief gedemonstreerd. In datzelfde jaar liet Edison op 21 oktober zijn eerste elektrische lamp branden, die het 40 uren aan een stuk volhield. Vermeld zij nog dat Joseph Henry ook geldt als de uitvinder van het gebruik van geïsoleerde stroomdraden. Voor latere ontwikkelingen, zie ook Siegfried Gidion, *Mechanization takes command* (Oxford, 1948).

43 Voor de verklaring van thermodynamische verschijnselen werd de *fluidum caloricum* gebruikt, een idee dat nog altijd voortleeft in ons begrip 'calorie' (de hoeveelheid warmte die nodig is om de temperatuur van één liter water met één graad te verhogen). Voor een vergelijking tussen warmte, magnetisme en electriciteit, zie ook Immanuel Kant, *Versuch den Begriff der negativen Größen in die Weltweisheit einzuführen* (1763), 2. Abschnitt, §4, 30vv.

ponderabilis (gewichtloos) is. In hetzelfde rijtje horen ook de verschillende soorten ‘aether’ thuis die werden gebruikt ter verklaring van zwaartekracht, cohesie en andere natuurlijke aantrekkingskrachten. Franklin meende dat er bij het wrijven van glas elektrische vloeistof in wordt gepompt, terwijl er volgens hem uit barnsteen bij wrijving juist elektrische vloeistof wegloopt. Wat Du Fay had onderscheiden als glas- en hars-elektriciteit, was volgens Franklin in wezen een teveel respectievelijk een tekort aan één en dezelfde elektrische vloeistof. In 1747 introduceerde Franklin de terminologie die nog heden ten dage wordt gebruikt: glas heeft een ‘positieve’ lading, barnsteen heeft een ‘negatieve’ lading. En als je een positief en een negatief voorwerp tegen elkaar houdt, stroomt de elektrische vloeistof van plus naar min totdat een evenwicht is bereikt, net zoals water van hoog naar laag stroomt.⁴⁴

Ten tijde van Franklin was in Europa overigens een apparaat bedacht om de elektrische vloeistof mee op te vangen en in te bewaren, de zogeheten Leidse fles. De naam ‘fles’ is natuurlijk niet toevallig. In onze terminologie gaat het hier om de eerste condensator, een term die al evenmin toevallig is.⁴⁵ Ofschoon de Duitser Ewald von Kleist de eerste was die in 1745 zo’n ding ontwierp, is de fles genoemd naar de Leidse universiteit, waar enkele maanden na Von Kleist en onafhankelijk van hem, Peter van Musschenbroek de eerste echte demonstratie ervan gaf.⁴⁶ In 1752 voerde Benjamin Franklin zijn beroemde bliksemexperiment met de vlieger uit, waarbij

44 De gangbare plus/min-terminologie in de elektriciteitsleer, die teruggaat op Franklin en mede door het werk van Volta is ingeburgerd, is vrij ongelukkig. Zoals algemeen bekend is *zeggen* wij dat de stroom van plus naar min gaat, maar wij *bedoelen* (zo voegen wij daaraan toe) de electronen de andere kant op ‘stromen’. Het is curieus om vast te stellen hoe diep de aangerichte verwarring eigenlijk is. Een helder en historisch onderlegd schrijver als Isaac Asimov, bijvoorbeeld, noemt Franklins *fluidum*-theorie een “remarkably shrewd speculation”: “If we substitute the word *electrons* for Franklin’s *fluid* and reverse the direction of flow (...), his guess was essentially correct” (*op. cit.*, 386). Asimov spant het paard achter de wagen: Franklin definieerde immers gewoon de plus/min-terminologie die wij heden ten dage nog steeds hanteren. Als Franklin de plus en de min had omgedraaid, of als er sprake zou zijn van een ‘stroom’ van positieve ionen, zou Franklins “guess” er niet beter of slechter op zijn

hij erin slaagde om een Leidse fles te vullen met de elektrische lading die hij aan de wolken ontlokte.

DYNAMISCHE ELEKTRICITEIT

Iedereen zal onwillekeurig geneigd zijn om te denken dat bij Benjamin Franklin de elektrische lading toch beslist niet stationair op zijn plaats bleef zitten. Het is per slot van rekening een wonder dat hij de proef met de vlieger juist overleefde, waar verscheidene andere wetenschappers bij datzelfde experiment het leven lieten. En ook bij een Leidse fles moet de lading zich toch kunnen verplaatsen van en naar de fles. Waarom spreken wij dan (nog steeds) van ‘statische’ elektriciteit? Wij zijn tegenwoordig zo gewend aan de vele toepassingen van stromende elektriciteit dat wij dreigen te vergeten dat er zonder die toepassingen eigenlijk niet veel verschijnselen zijn waarbij de elektriciteit waarneembaar en continu stroomt. Wel zijn er kortstondige, eenmalige verplaatsingen van lading, van de ene ‘statische’ plaats naar de andere, zoals bij de bliksem en de Leidse fles. Maar er is geen voortdurende stroom zoals van water uit een bron, of zoals in een rivier. Trouwens, al zou je zo’n stroom hebben, waar zou die naar toe moeten gaan? En al had je zo’n stroom, dan zou je nog ver verwijderd zijn van het idee dat de stroom als zodanig interessante eigenschappen kan hebben, als onderscheiden van de eigenschappen van dat-wat-stroomt.⁴⁷

Het was een Italiaanse anatomieprofessor aan de universiteit van Bologna, Luigi Galvano

geweest. Waar het in wezen om draait is Franklins *metafoor* van elektriciteit als een stromende vloeistof. De verwarring ontstaat vervolgens wanneer de metafoor officieel ‘vergeten’ wordt maar de erop geënte terminologie gehandhaafd blijft.

45 De Engelse uitdrukking is ‘condenser’ of ‘capacitor’ (de laatste term alleen in een elektrische betekenis gebruikt), de Duitse ‘Kondensor’ of ‘Kondensator’, de Franse ‘condensateur’. De oorsprong van het elektrische gebruik van deze termen is mij niet bekend.

46 In het Boerhaave Museum in Leiden bevindt zich een groot aantal originele experimentele opstellingen uit die dagen, compleet met elektriseermachines en Leidse flessen. Ook het Teylers Museum in Haarlem bezit enkele zeer fraaie opstellingen.

47 Vgl. ook de volgende piquanterie van Goethe: “Wer weiß etwas von Elektrizität, sagte ein heiterer Naturforscher, als wenn er im Finstern eine Katze streichelt oder Blitz und

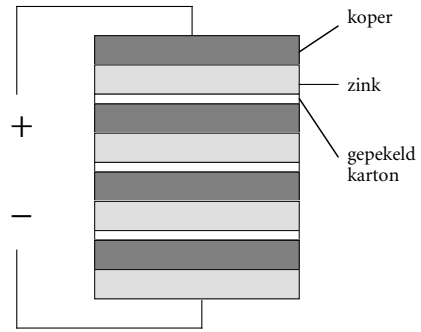
(1737-1798), die in 1791 bij het ontladen van een kikker bij toeval ontdekte dat hij de poten van het dier kon laten bewegen door ze aan te raken met een passer waarvan de poten bestaan uit twee verschillende metalen. Aangezien een vergelijkbaar effect kon worden verkregen door de poten een schok uit een Leidse fles te geven, meende Galvano dat hij de verborgen oorzaak van spierbewegingen had gevonden, namelijk dierlijke elektriciteit, d.w.z. de elektriciteit die van nature in een dier zit en die door zijn passer alsnog aan het dode dier werd ontlokt. Zijn collega Alessandro Volta (1745-1827), natuurkundeprofessor in Bologna, trok echter een tegenovergestelde conclusie: dat de elektriciteit niet uit de spieren van het dier kwam, maar uit de passer. In de daaropvolgende jaren werkte hij dit idee uit en presenteerde in 1800 de zogeheten 'zuil van Volta': een stapel schijfjes van twee verschillende metalen (zink en zilver, later zink en koper), paarsgewijs gestapeld met telkens een plaatje gepekelde karton ertussen. Volta had de eerste batterij gemaakt (ook 'galvanisch element' genoemd), die in latere jaren werd geperfectioneerd, o.a. door de toevoeging van een zuurbad.⁴⁸ Aangezien met voldoende krachtige zuilen dezelfde effecten konden worden opgewekt als met een Leidse fles, was snel duidelijk dat het in beide gevallen ging om hetzelfde: elektriciteit.

OHM VINDT DE SPANNING UIT

Pas met de komst van batterijen en dynamo kon de elektriciteit ook echt worden bestudeerd op de wijze zoals wij die kennen, ruwweg als iets dat kan stromen en waarmee je iets nuttigs kunt doen (arbeid verrichten). Het is in deze tijd dat men aan elektrische verschijnselen gaat meten en dat de ons bekende meeteenheden worden uitgevonden, later vernoemd naar de grote namen uit het elektrische verleden. De enige van hen die hierboven niet is besproken is de Frans-

Donner neben ihm niederleuchten und rasseln? Wie viel und wie wenig weiß er alsdann davon?" (*Wilhelm Meisters Wanderjahre*, 3. Buch, Aus Makariens Archiv, Nr. 96, in: *Werke*, Hamburger Ausgabe VIII, 474).

⁴⁸ De droge (zink/koolstof-)batterij, zoals wij die heden ten dage kennen, werd in 1841 ontwikkeld door de Duitse scheikundige R.W.E. Bunsen (1811-1899), bekend om zijn



Figuur 3: Galvanisch element volgens Alessandro Volta, ca. 1800.

man Charles Augustin de Coulomb (1736-1806), naar wie de *coulomb* is vernoemd (de eenheid van elektrische lading. Verder zijn er de *faraday* (= 96.500 coulombs), de *farad* (eenheid van elektrische capaciteit), de *ampère* (eenheid van de intensiteit van een stroom, gelijk aan 1 coulomb per seconde) en de *volt* (eenheid van de elektrische bewegingskracht die de stroom in gang brengt). Daar voeg ik nog de *ohm* aan toe (eenheid van weerstand), genoemd naar de Duitse wetenschapper Georg Ohm (1789-1854).

Het was Ohm die in 1827 een werkbare uitwerking gaf van het laat-achttiende eeuwse idee van een 'elektrificatiegraad' of een elektrische 'spanning'.⁴⁹ Hij kwam op het idee om te denken in termen van een elektrische bewegingskracht die een bepaalde hoeveelheid arbeid kan verrichten (d.w.z. een bepaalde hoeveelheid elektrische lading kan verplaatsen), in proportie tot de weerstand van de weg die de stroom moet afleggen. Iedereen kent natuurlijk de wet van Ohm waarin dit verband is neergelegd: weerstand = spanning : stroom, of spanning = stroom x weerstand. Het is goed om te beseffen dat Ohm hier eigenlijk de elektrische weerstand heeft *uitgevonden*, namelijk door deze te definiëren als de verhouding van spanning en stroom

onderzoek op het gebied van de spectroscopie en om de naar hem genoemde 'Bunsen-brander'.

⁴⁹ De 'elektrificatiegraad' werd in 1781 geïntroduceerd door de Brits fysicus Henry Cavendish (1731-1810). Alessandro Volta lanceerde enkele jaren later (1788) de notie van een elektrische 'spanning'. Vgl. het lemma 'Potential', in: W.F. Bynum, E.J. Browne en R. Porter, eds., *Dictionary of*

(die beide natuurlijk ook in wezen ongrijpbaar zijn).⁵⁰ De ‘weerstand’ die een stroom ondervindt is niet een waarneembaar ding zoals de weg waarover een bepaalde kracht werkt (arbeid = kracht x weg). Het is juist die creatieve vondst van Ohm die aan de weerstand (en daarmee tegelijk ook aan de spanning en de stroom) een soort van tastbaarheid geeft, namelijk als meetbare waarde in een vaste wet.⁵¹

[Besluit over Ohm]

VIER BASISMETAFOREN

[Metaforen, modellen, theorieën, verschijnselen.

Vier metaforen:

sympathie: velden, potentialen, intrinsieke natuurgegevens

fluidum: plus/min, stromen, ophopen, zwak/sterk

effluvium: partikels, straling

arbeid: ohmse weerstand

metaforen in termen waarvan wij nog altijd onze voorstellingen van electromagnetische verschijnselen bespreken en letterlijk ‘verbeelden’

Sinds Ohm worden deze metaforen a.h.w. afgedekt of versluierd door kwantitatieve formules en operationele definities. Vgl. Spengler: “Es sind die Begriffe, welche den Formeln unterlegt werden, um ihnen mythische Anschaulichkeit zu verleihen. Die Zahlen selbst sind Technik, Hebel und Schrauben, abgelaushtes Weltgeheimnis.”]

the history of science (1981), 335.

50 “De dienst die Dr G.S. Ohm aan de elektriciteitsleer heeft bewezen kan alleen op juiste waarde geschat worden wanneer we het taalgebruik van die schrijvers over elektriciteit die onkundig waren van de wet van Ohm vergelijken met dat van diegenen, die haar hebben begrepen en aangenomen.” James Clerk Maxwell, 1876, geciteerd in H.B.G. Casimir, *Het toeval van de werkelijkheid* (1983), 41 (oorspr. *Haphazard reality*, 1983). Vgl. het hoogtepunt van de pre-Ohmse elektriciteitsleer; voorbeeld G.W.F. Hegel, *Enzyklopädie der philosophische Wissenschaften im Grundrisse*, 2. Teil, *Die Naturphilosophie* (1830), §§ 308-324.]

51 Sinds Ohm is het allemaal alleen nog maar sneller gegaan met de elektriciteit en met het magnetisme. Het idee dat aan elk punt in de ruimte rondom een zwaar lichaam

een ‘potentiaal’ (*avant la lettre*) kan worden toegekend (de aantrekkingskracht die een verwaarloosbaar klein lichaam ondervindt) was al bekend uit de wiskundige gravitatietheorie van Joseph-Louis Lagrange (1736-1813) uit 1777. De Fransman Poisson breidde dit idee uit tot de electrostatica (1811) en het magnetisme (1824). Het begrip ‘potentiaal’ zelf werd in dit verband ingevoerd in 1828 door George Green. In 1849 toonde de Duitser Gustav Kirchhof (1824-1887) aan dat Ohms elektrische bewegingskracht uit de experimentele natuurkunde kon worden geïdentificeerd met de potentialen uit de wiskundige theorieën van Poisson. Vergelijkbare ideeën werden ook uitgewerkt voor chemische potentialen en voor warmte. Maxwell publiceerde in 1861 zijn algemene electromagnetische veldtheorie. Vgl. het lemma ‘Potential’, in de *Dictionary of the history of science*.