

## Behoud van orde

**Citation for published version (APA):**

Rietjens, L. H. T. (1966). *Behoud van orde*. Technische Hogeschool Eindhoven.

**Document status and date:**

Gepubliceerd: 01/01/1966

**Document Version:**

Uitgevers PDF, ook bekend als Version of Record

**Please check the document version of this publication:**

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

[Link to publication](#)

**General rights**

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

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

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

[www.tue.nl/taverne](http://www.tue.nl/taverne)

**Take down policy**

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

[openaccess@tue.nl](mailto:openaccess@tue.nl)

providing details and we will investigate your claim.

Electrotechnische Studievereniging  
„THOR“  
Insulindelaan 2 EINDHOVEN

# BEHOUD VAN ORDE

REDE

UITGESPROKEN BIJ DE AANVAARDING VAN  
HET AMBT VAN GEWOON HOGLERAAR  
IN DE DIRECTE OMZETTING VAN  
WARMTE IN ELEKTRISCHE ENERGIE  
AAN DE TECHNISCHE HOGESCHOOL  
TE EINDHOVEN  
OP VRIJDAG 28 OKTOBER 1966  
DOOR

DR. L.H.TH. RIETJENS

*Heren Curatoren,  
Heren Leden van de Senaat,  
Dames en Heren,*

In een samenleving, zoals bijvoorbeeld de onze, hebben doorlopend vele handelingen en gebeurtenissen plaats. Het begrip handeling wordt meestal gebruikt om de daad van een individu aan te duiden; het begrip gebeuren of gebeurtenis daarentegen beschrijft een veel uitgebreidere groep van voorvallen of processen, waarbij het handelen van een individu nu niet noodzakelijk verondersteld wordt. Wanneer elk individu zich van handelingen onthoudt, vinden er toch doorlopend gebeurtenissen plaats. Het stromen van het water in de Rijn is een voorbeeld van een gebeuren dat zich blijft voltrekken ook wanneer de gehele Nederlandse samenleving, of een nog grotere gemeenschap, zou zijn ingeslapen.

Elke handeling en elk gebeuren betekent in wezen een ingreep op de orde zoals die op het moment van de handeling of van het gebeuren bestaat. We weten uit ervaring dat er bepaalde handelingen worden uitgevoerd omdat ze worden voorgeschreven door een wet. Gebeurtenissen, zoals de genoemde stroming van het Rijnwater, kunnen verlopen volgens bepaalde ervaringswetten waarvan men momenteel vindt dat zij een adequate beschrijving van de geconstateerde processen geven.

Naast deze verplichte handelingen en naast de volgens bepaalde wetten noodzakelijk verloopende gebeurtenissen, zijn er handelingen die ten uitvoer worden gebracht op basis van vrijwilligheid. Zo kunnen wij bijvoorbeeld de volgens wetten noodzakelijke stroming in de Rijn, die optreedt door hoogteverschillen in de waterstand, momenteel naar onze vrije wil tot stilstand brengen door de waterkering bij Hagestein te sluiten.

Men kan nu stellen dat een vrijwillige handeling als niet zinvol moet worden aangemerkt, wanneer de uitvoerder het belang van zijn handelen niet inziet en een dergelijke handeling dient achterwege te worden gelaten. Verder moet een vrijwillige handeling en ook het naar onze vrije keuze laten verlopen van een bepaald gebeuren, als niet zinvol worden gekarakteriseerd wanneer de gemeenschap waarin zij plaats vinden er geen voordeel van kan ondervinden. Een dergelijke handeling dient achterwege gelaten en een dergelijk gebeuren voorkomen te worden.

Het uitspreken van een inaugurele rede is een vrijwillige handeling. In de wet op het wetenschappelijk onderwijs wordt geen gewag gemaakt van een openbare senaatsvergadering als deze waarvoor U, gewaardeerd auditorium, de uitnodiging tot het bijwonen heeft willen aanvaarden. Ik zie het dan ook als mijn taak om binnen de ons toegewezen tijd een argument toe te voegen aan de argumenten welke door veel van mijn collegae reeds zijn gegeven, namelijk dat het uitspreken van een introductierede een vrijwillige handeling kan zijn, die op grond van het hierboven gestelde, niet nagelaten dient en ook niet voorkomen behoeft te worden.

Ik wil dit dan doen door U te schetsen welke handelingen wij in ons specifiek vakgebied gaan verrichten. Ons handelen, waarbij ons een grote vrijheid wordt gelaten, zal worden bepaald door de ons bij de wet gegeven opdracht. De formulering hiervan heeft reeds eerder gediend voor beschouwingen vanaf deze plaats; zij luidt: „Vorming tot zelfstandige beoefening der wetenschap, voorbereiding tot het bekleden van maatschappelijke betrekkingen waarvoor een wetenschappelijke opleiding vereist is of dienstig kan zijn, en bevordering van het inzicht in de samenhang van de wetenschappen”. Om aan deze opdracht te voldoen, zullen wij ons handelen in eerste instantie moeten baseren op de wetten die voor ons vakgebied als geldig worden geaccepteerd. Ik wil vandaag uiteraard geen opsomming van deze wetten geven, maar wel wil ik één bijzondere en belangrijke wet ter discussie stellen, namelijk: DE WET VAN BEHOUD VAN ORDE. Niet alleen omdat deze wet een belangrijke grondslag vormt voor het fysisch en technisch handelen binnen onze specialiteit, maar ook omdat ik ervan overtuigd ben, dat deze wet buiten de fysica en de techniek richting moet geven aan ons denken en handelen. Dit geldt dan in het bijzonder voor de universitaire gemeenschappen, opdat de grote

vrijheid die haar gegeven is tot optimale wetenschapsbeoefening zal leiden en aan de studenten optimale mogelijkheden tot vorming zal bieden.

Zoals ik reeds stelde, betekenen handelingen, dus ook handelingen binnen onze werkgroep, een ingreep op de orde zoals die op het moment van de handeling bestaat. Wanneer ik zeg dat het behoud van orde een van de grondslagen van ons werk zal zijn, dan is dit hier niet bedoeld als een wetmatigheid die vergeleken kan worden met de wet van behoud van energie en de wet van behoud van massa, welke wetten in de tijd van Newton en Avogadro door velen als absolute wetmatigheden werden beschouwd. Behoud van orde wordt gezien als een streven naar een minimale verstoring in onze kosmische orde. De aandachtige toehoorder zou in dit stadium van mijn betoog kunnen opmerken dat minimale – in dit geval geen – ordeverstoring wordt verkregen door geheel geen handelingen en gebeurtenissen toe te laten. Ik hoop U evenwel straks te laten zien dat een dergelijk systeem fysisch een bijzonder onaantrekkelijke situatie oplevert.

Wilt U dan nu, geachte toehoorders, met mij de hierboven gegeven abstracte algemeenheden verlaten om de zaak in kwestie nader te concretiseren.

De mij gegeven opdracht ligt op het gebied van de directe energie-omzetting. Zoals U in de afgelopen zomer, op enkele momenten tussen de veelvuldige buien door, heeft kunnen constateren, wordt op onze aarde zonne-energie omgezet in warmte. In dit omzettingproces onderkennen we twee vormen van energie: zonne-energie en warmte-energie. Kijken we even verder in het kalenderjaar, dan zien we dat in een elektrische kachel elektrische energie in warmte kan worden omgezet. Het zal ook aan de minst technisch georiënteerde onder mijn gehoor wel bekend zijn dat de elektrische energie wordt opgewekt in centrales waar bijvoorbeeld olie (de hierin opgeslagen energie werd uit zonne-energie verkregen) wordt verbrand en waar de ontwikkelde warmte via enkele tussenstappen wordt omgezet in elektrische energie. Zonder op de details van dit proces in te gaan, wil ik U wijzen op twee vormen van energie die bij de laatste processen een rol spelen. In de centrale wordt warmte-energie omgezet in elektrische energie en bij U thuis wordt in Uw elektrische kachel of deken elektrische energie weer omgezet in warmte-energie.

Ik wil U nu meevoeren naar een van onze wereld afgesloten gedachtenwereld, waarin slechts deze twee vormen van energie, warmte- en elektrische energie, voorkomen en waarin de wederzijdse omzetting tussen de twee gegeven vormen kan worden bewerkstelligd. De vraag is nu, en deze vraag is nog academisch, of processen van conversie van de ene vorm van energie naar de andere zich onbeperkt in een cyclus kunnen voortzetten. Het antwoord is dan onomstotelijk: neen! Zodra alle energie in de vorm van warmte-energie bij één vaste temperatuur aanwezig is, is dit het onvoorwaardelijke einde van elk verder gebeuren in onze afgesloten gedachtenwereld. Wil men dus in deze door ons gepostuleerde sub-wereld gebeurtenissen voor mogelijk houden dan zal men deze eindtoestand zolang mogelijk moeten proberen te vermijden.

Bekijken we nu de twee vormen van energie die in het geding zijn nader. De elektrische energie bezit een hoge mate van orde. Deze uit zich bij een elektrische stroom in de geordende beweging van de ladingsdragers, de elektronen, bijvoorbeeld in het snoer en de bedrading van de elektrische deken. De warmte-energie daarentegen is gecorreleerd met een wanordelijke beweging van de deeltjes waaruit de materie is opgebouwd, een beeld dat U zou kunnen vergelijken met de U misschien bekende Brown-beweging. In de geschetste eindtoestand van onze gedachtenwereld, waarbij alle energie in de vorm van warmte bij één temperatuur aanwezig is, is de wanorde maximaal geworden. Het zolang mogelijk behouden van een zekere orde in deze sub-wereld is van belang indien men wil dat gebeurtenissen, in dit geval conversieprocessen, tot de realiteit blijven behoren.

Alvorens terug te keren tot de ons omringende kosmos, moet ik twee opmerkingen maken over deze in onze gedachten gecreëerde wereld. Allereerst moet worden opgemerkt dat wij er principieel geen handelingen in kunnen verrichten. Wij staan volkomen buiten de gebeurtenissen van deze wereld. Zodra we deze wereld binnen zouden gaan, introduceren we met ons een nieuwe vorm van energie, waardoor niet meer aan de postulaten is voldaan. Ten tweede: we kunnen zelfs niet eens naar de door ons gecreëerde wereld kijken. Ons systeem was afgesloten en elk kijken naar binnen betekent contact met een ander systeem en ook dan is het gestelde van het afgesloten zijn niet meer juist.

Keren we dan nu terug naar de realiteit, naar – zoals reeds werd aangekondigd – de ons omringende kosmos. We onderkennen hierin veel meer dan de twee vormen van energie uit onze gedachtenwereld, en we kennen vele processen waarbij energie van de ene vorm in de andere wordt omgezet. Als voorbeeld van deze processen waarbij energieconversie optreedt, noem ik de eb- en vloedbeweging in zeeën en oceanen, de ontwikkeling van zonnevlammen aan het oppervlak van de zon, het ontstaan van het aard-magnetisch veld, bliksems- en aurora-lichtverschijnselen, het ontstaan van zon en sterren, de zenuw- en spierwerking in levende organismen, kernsplijting, kernfusie en de overdracht van informatie. Aan deze voorbeelden zijn nog vele toe te voegen en al deze conversieprocessen vormen een essentieel deel van het leven om ons heen, alsmede van het ontstaan van dat leven.

De algemene vraag of in onze kosmos energieconversie ongelimiteerd kan plaatsvinden, is nu geen academische vraag meer en een antwoord is niet eenvoudig te geven. Beperken we ons in eerste instantie tot die vormen van energie waarvan we een duidelijke beschrijving kunnen geven en waarvan we de hoeveelheid goed kunnen definiëren. Beperken we ons verder tot de goed bekende omzetprocessen tussen deze vormen van energie. We sluiten dus volgens deze definitie onder andere uit de energie die onze zoon Alexander op een regenachtige vrije woensdagmiddag niet kwijt kan. Een eenduidige beschrijving van deze vormen van energie en een absolute maat ervoor is niet te geven.

Met de gegeven restricties is de gestelde vraag ook nu zonder meer ontkennend te beantwoorden; er kan geen enkele handeling of gebeurtenis op macroscopische schaal meer plaatsvinden wanneer de wanorde maximaal is geworden. Dit wordt bereikt wanneer alle in discussie zijnde energie is omgezet in warmte-energie bij één bepaalde temperatuur. Bij omzetprocessen zal men er dus naar moeten streven zolang mogelijk van deze eindtoestand weg te blijven of, anders gezegd, zolang mogelijk enige orde te behouden. Reeds in 1852 merkte Lord Kelvin, sir William Thomson, op in zijn artikel „On the universal tendency in Nature to the dissipation of mechanical energy”, dat er als een merkwaardige consequentie van Carnot's thermodynamische theorieën een absoluut verlies is van de, voor de mens beschikbare, mechanische energie wanneer het aan warmte-energie wordt toegestaan om van een lichaam van hoge temperatuur naar een lichaam van

lagere temperatuur over te gaan. Sprekend over dit absolute verlies heeft Kelvin tot uitdrukking gebracht dat na het genoemde warmte-transport de oude toestand nooit meer is terug te krijgen. De toestand waarbij de materiedeeltjes van het hete medium netjes gescheiden zijn van de deeltjes van het koude medium, bezit een zekere orde. Deze toestand wordt omgezet in een andere waarin deze orde niet meer bestaat en deze ordeverstoring gaat volgens Kelvin gepaard met een absoluut verlies.

Men kan nu stellen dat, afgezien van momenteel aan de mens nog onbekende energie-conversieprocessen, de kosmos zich fysisch gezien verplaatst naar de eindtoestand van maximale wanorde. Zolang er nog temperatuursverschillen aanwezig zijn of kunnen worden aangelegd, is er sprake van een zekere orde. Elke temperatuursgradient zal echter aanleiding geven tot transport dat zal voortduren tot uiteindelijk evenwicht is ingetreden. De toestand waarin geen transport meer optreedt, is er een van volledig evenwicht waarin fysisch geen handelingen meer mogelijk zijn en waarin maximale wanorde is bereikt.

Ik wil U erop wijzen dat de hierboven gegeven uitspraak, die momenteel door velen wordt aanvaard, de mogelijkheid openlaat dat er onbekende omzetprocessen, bijvoorbeeld in levende cellen, kunnen zijn die absoluut behoud van orde in onze kosmos zouden kunnen verzekeren. De toename van wanorde of van entropie die bij alle tot nu toe bestudeerde en goed begrepen processen is geconstateerd, zou dan moeten worden gecompenseerd door processen die aanleiding geven tot een zekere ordening. Ons hedendaags fysisch inzicht laat deze mogelijkheid niet toe. De door Boltzmann aan het einde van de vorige eeuw gegeven statistische fundering van het streven naar maximale entropie binnen afgesloten systemen, sluit namelijk de kans tot ordening in veel-deeltjessystemen binnen ons kosmisch tijdsbestek uit. De waarschijnlijkheidsrekening leert ons dat, microscopisch gezien, een herordening in onze kosmos zo onwaarschijnlijk is dat wij de kans om dit te beleven zonder meer kunnen uitsluiten.

De vraag of behoud van orde absoluut geldig zou kunnen zijn, kan worden teruggedbracht tot de vraag of de waarschijnlijkheidsrekening het fundament vormt van alle ons omringende processen. Zoals ik U heb gezegd is dit voor de fysicus voor de in zijn laboratorium bestudeerde of aan zijn bureau berekende handelingen een uitgemaakte



zaak. De toename der wanorde is de enige mogelijkheid die de waarschijnlijkheidsrekening hem in deze processen toestaat en het einde hiervan is de warmtedood binnen zijn fysische wereld. Ik neem aan dat het denken van de chemicus over deze materie identiek is. Het is mij bekend dat ook biologen op grond van de resultaten van hun onderzoek, onder andere van fotosynthetische processen, de noodzakelijke entropietoename in biologische conversieprocessen onderschrijven. Veel algemener echter is het standpunt dat, naar ik heb kunnen nagaan, voor het eerst door Eddington in het begin van deze eeuw is geformuleerd. Hij stelt dat, afgezien misschien van het uitdijend heelal, de wanorde in de wereld de enige objectieve en absolute maat is waaraan men kan zien in welke richting onze tijd verloopt; bij het voortschrijden van de tijd neemt de wanorde toe. Eddington ziet in de onwaarschijnlijkheid van een ordening zoals die uit de statistische beschouwing volgt, een absolute wet. Deze wet is volgens hem veel algemener van karakter dan bijvoorbeeld de wet van behoud van energie, die zoals we weten op grond van het werk van Einstein belangrijk moest worden herzien.

Hiertegenover zou ik willen stellen het standpunt geformuleerd door Schrödinger. Hij waarschuwt ervoor dat, in het bijzonder statistisch gezien, de structuur van vitale delen van levende organismen volledig verschilt van de materie die fysici in hun onderzoek hebben betrokken. Verder stelt hij dat het nagenoeg ondenkbaar is dat wetten en regels die vorm hebben gekregen binnen een bepaalde fysische sfeer zonder meer het gedrag kunnen beschrijven van systemen die niet de structuur vertonen van de materie waarop deze wetten zijn gebaseerd.

In de ontwikkeling van de wetenschap vindt men soortgelijke voorbeelden die deze visie ondersteunen. De geordende toestand van atomen in bijvoorbeeld moleculen, kristallen of in de genen van chromosomen en het behoud van deze orde gedurende zeer lange tijd kon in eerste instantie niet in overeenstemming worden gebracht met de door Boltzmann ingevoerde statistische theorieën. De quantummechanica was nodig om deze stabiele configuraties te kunnen verklaren. Het was echter een nieuwe triomf van de waarschijnlijkheidsrekening toen hiermee de overgang tussen verschillende configuraties kon worden verklaard. Zo kunnen mutaties, die optreden in genen, met behulp van de ontwikkelde theorie goed worden beschreven. Er zijn echter ook processen bekend uit levende cellen die niet in

overeenstemming zijn te brengen met de statistische theorieën. In genen bijvoorbeeld, waarvan de lineaire afmeting ongeveer 300 Å bedraagt, is slechts plaats voor een beperkt aantal, circa een miljoen, atomen. Dit aantal is volgens de waarschijnlijkheidsrekening veel te gering om alle erfelijke eigenschappen te bevatten die in de genen zijn opgesloten en die zich uiten in het feilloze en ordelijke verloop van de gehele ontwikkeling van een zeer specifiek wezen alsmede het inzetten van dit ontwikkelingsproces. Nieuwe theorieën waarin wordt gesteld dat erfelijke eigenschappen ook buiten de chromosomen zouden zijn opgeborgen, geven misschien de mogelijkheid om uit deze impasse te geraken.

Nader fundamenteel onderzoek speciaal op het gebied van energie-omzetting in levende cellen zal moeten worden verricht om beter inzicht te verkrijgen in de rol die energieconversie in onze kosmos speelt. Met dat betere inzicht zal dan misschien antwoord gegeven kunnen worden op de vraag of de kosmos als geheel al dan niet een perpetuum mobile zal kunnen zijn. Bij een bevestiging van deze vraag zal de wet van behoud van orde met het dan verkregen inzicht een sterk absoluut karakter hebben verkregen. Bij een ontkenning zal een streven naar behoud van orde ons zolang mogelijk van de warmtedood moeten vrijwaren.

Laten we nu, geachte toehoorders, enige ogenblikken onze aandacht richten op de betekenis van de wet van behoud van orde voor de handelingen in de technische energieconversie. Het proces waarbij olie wordt verbrand en waarbij via stoom elektrische energie wordt opgewekt, is een handeling die niet meer uit onze samenleving geëlimineerd kan worden. De daarmee samenhangende vergroting der wanorde is zoals we gezien hebben volgens ons hedendaags fysisch inzicht absoluut. We zijn hiermee dus in een situatie geraakt waarbij de mens in zijn streven om met de produktie van elektrische energie de samenleving ordelijk te laten verlopen, in essentie de wanorde alleen maar vergroot. De wet van behoud van orde vereist nu dat we in de genoemde conversie bij de gegeven noodzakelijke vermeerdering der wanorde een optimum aan elektrische energie moeten proberen te verkrijgen. Of met andere woorden dat we bij deze omzetting een maximaal rendement moeten nastreven. Deze eis, die meestal uit economische overweging wordt gesteld, heeft dus ook een fundamentele achtergrond.

De nieuwe methoden die gedurende de laatste jaren worden onderzocht om het rendement van de elektrische centrales op te voeren zijn samen te brengen onder de slogan „Stroom zonder stoom”. Ofwel juistere geformuleerd: stroomproductie uit warmte zonder gebruik te maken van de door Newcomen in het begin van de achttiende eeuw geïntroduceerde stoomcyclus. Men streeft naar een hoger rendement door tussenstadia, bijvoorbeeld de stoomcyclus, en de daaraan gekoppelde handelingen uit te sluiten en zodoende een kleinere wanorde- of entropietoename bij gelijke elektrische energieproductie te realiseren. Het elimineren van tussenstadia geeft aanleiding tot de benaming „directe energie-omzetting”. Dat in dit gebied nog belangrijke verbeteringen mogelijk moeten zijn zou men, niet geheel ten onrechte, kunnen concluderen uit het feit dat bij de huidige elektriciteitscentrales slechts iets meer dan een derde van de toegevoerde warmte-energie in elektrische energie wordt omgezet.

In onze groep bestaat in de eerste plaats belangstelling voor een methode van directe conversie, waarvan het principe op 12 januari 1832 door Michael Faraday is voorgesteld tijdens een vergadering van de Royal Society of London. Hij was uitgenodigd voor het geven van „The Bakerian Lecture for 1832”, welke was getiteld: „Experimental Researches in Electricity”. Faraday, zoon van een smid, die zijn carrière begon als flessenspoeler in het Royal Institution te London, is de ontdekker van de geïnduceerde elektriciteit. Ik veronderstel dat het aan U bekend is dat het Faraday is geweest die heeft geconstateerd dat in sommige vaste stoffen een elektrische stroom wordt opgewekt wanneer deze stoffen in beweging worden gebracht in magnetische velden. Hij was ervan overtuigd dat soortgelijke effecten in deformeerbare media, in concreto in vloeistoffen, zouden moeten kunnen optreden. Om dit te bevestigen voerde hij experimenten uit in het meer van Kensington Palace; hij verkreeg hiervoor de vereiste koninklijke toestemming. Faraday veronderstelde dat het aardmagneetveld niet met de aarde meedraaide en dat het water van het meer met het draaien van de aarde zich door dit magneetveld bewoog. Aldus zou een elektrische stroom moeten worden geïnduceerd. Het gedetailleerd vastleggen van de omstandigheden waaronder zijn experiment werd uitgevoerd, kan menige hedendaagse experimentator tot voorbeeld strekken. Hij vermeldt onder andere: het meer is kunstmatig aangelegd en is gevuld met water van de Chelsea Company; de oevers van het meer lopen bij benadering oost-west en noord-zuid; en verder:

twee perfect schone en glanzende roodkoperen platen worden in het water, noord-zuid ten opzichte van elkaar gestationeerd; de roodkoperen meetlijn, 600 voet lang, ligt in het gras langs de oever. Faraday was er zich van bewust dat bij de gemaakte veronderstelling ook de meetkabel zich in het aardmagneetveld bewoog en dat de hierin opgewekte stroom het te meten effect zou tegenwerken. Hij verwachtte echter dat het verschil in geleidingsvermogen van roodkoper en water een netto effect zou opleveren. Nauwkeurige analyse van zijn meetresultaten, en ook hier zij de originele tekst ter lezing en lering aanbevolen, leverde geen positief resultaat op.

Faraday's volgende stap was het stilstaande water te vervangen door het stromende water van de Thames. Hij experimenteerde gedurende drie dagen bij de Waterloo Bridge; 900 voet koperen meetkabel gelegd over de railing van de brug verbond de twee in het water neergelaten elektroden met de galvanometer. In dit experiment beweegt zich een geleidend deformeerbaar medium, het Thames-water, in een magnetisch veld, het aardmagneetveld, waarbij een elektrische stroom geïnduceerd moet worden (de bewegingsrichting van het water is niet parallel aan de magnetische krachtlijnen). Faraday schrijft over dit experiment het volgende: „I constantly obtained deflections at the galvanometer but they were irregular and were, in succession, referred to other causes than that sought for”. Ondanks dit negatieve resultaat stelt hij: „Theoretically it seems a necessary consequence, that where water is flowing in a magnetic field, there electric currents should be formed”, en hiermee heeft hij het principe voor de magneto-hydrodynamische energieconversie vastgelegd.

Dit voorstel, dat zonder belangrijke ontwikkelingen honderd jaar is blijven liggen, is opnieuw in de belangstelling gekomen in de jaren omstreeks 1930 toen Langmuir de toestand van een heet en geïoniseerd gas als vierde aggregatietoestand introduceerde. Naast de vaste, vloeibare en gasvormige toestand noemde hij de geïoniseerde toestand waarin een gas geraakt bij voldoende verhitting: plasma. Vele experimenten zijn in de dertiger jaren uitgevoerd, waarbij plasma als het bewegende en geleidende medium werd gebruikt. Zij hebben evenmin het beoogde resultaat opgeleverd. De nog te hoge weerstand van het plasma beperkte het geproduceerde elektrische vermogen. De sterke ontwikkeling van het plasma-onderzoek gedurende het laatste decennium, een ontwikkeling die nog steeds wordt gestimuleerd door de

wens om uit het samensmelten van lichte kernen nuttige energie te winnen, heeft de belangstelling voor de magneto-hydrodynamische energieconversie opnieuw vergroot. Naast de grote proefmodellen die in vele landen werken, is nu ook de eerste proefcentrale in aanbouw. De Central Electricity Generating Board in Engeland laat deze centrale bouwen. Met een thermisch vermogen van 300 MW wordt plasma geproduceerd. Dit plasma wordt gestuurd door een magneetveld van 40 kGauss dat een effectief volume van 3 m<sup>3</sup> heeft ter opwekking van 35 MW elektrische energie. Deze getallen geven aan dat het hier gaat om een project van magneto-hydrodynamische energieconversie op grote schaal.

De handelingen in onze groep zullen niet gericht zijn op het nabouwen van in bedrijf zijnde proefmodellen. In de eerstkomende tijd willen wij de mogelijkheden bestuderen om binnen de gestelde grenzen van deze conversiemethode nieuwe methoden te vinden om het effectieve geleidingsvermogen van het plasma verder op te voeren. Berekeningen leren dat hiermee een verhoging van het conversierendement van warmte naar elektrische energie van de eerdergenoemde 35% tot ongeveer 50% moet kunnen worden bereikt, waarmee dan voor de toekomst een belangrijke bijdrage tot het behoud van orde kan worden geleverd. Hoe belangrijk dit argument voor de verdere ontwikkeling van de magneto-hydrodynamische energie-omzetting ook moge zijn, van groot belang zal deze conversiemethode kunnen worden, wanneer gaat blijken dat energieproductie uit beheerste fusie van lichte kernen kan worden gerealiseerd. De energie die bij fusie vrijkomt is opgesloten in het zeer hete en extreem goed geleidende plasma en het ligt voor de hand om magneto-hydrodynamische conversiemethoden te overwegen voor het omzetten van vrijgekomen fusie-energie in elektrische energie. Onderzoek op dit gebied moet, ook internationaal gezien, nog van de grond af worden opgebouwd. Gezien de samenstelling van onze werkgroep mag verwacht worden dat zij voor deze ontwikkeling speciale belangstelling zal hebben.

Geachte toehoorders, in de ons resterende minuten zou ik nog enkele opmerkingen willen maken over de consequentie die de wet van behoud van orde heeft voor de universiteiten. De sterke uitbreiding van de instellingen van hoger onderwijs maakt het onmogelijk om iedere persoon en elk onderdeel individueel te benaderen. Faraday ontving in zijn tijd als flessenspoeler zijn loon stellig uit handen van

zijn leermeester Sir Humphry Davy. Uit de annalen van onze universiteiten krijgt men de indruk dat deze procedure omstreeks 1900 door de hoogleraren kon worden gevolgd. Omstreeks 1930 waren er nog hoogleraren die het salaris bestemd voor één medewerker verdeelden over meerdere assistenten. Aan deze voorbeelden is te zien dat de vrijheid van ons handelen is beperkt. Een grote vrijheid, die gekoppeld is aan een beperkt aantal regels, zal aanleiding kunnen geven tot minder gecorrleerde handelingen van de individuen. Beschouwen we een verzameling van zich volledig vrij bewegende deeltjes dan zien we dat dit systeem snel naar een volledig evenwicht en dus, zoals we uiteengezet hebben, naar de toestand van maximale wanorde gaat. Het hoger onderwijs, waarin de sterke groei samengaat met het introduceren van meer en meer statistische beschouwingen, vertoont analoge verschijnselen; de analogie houdt in dat volledige vrijheid van individuen tot maximale wanorde moet leiden. Een inperking van dat gedeelte van de vrijheid dat niet wezenlijk noodzakelijk is voor het opstellen en het uitvoeren van de researchprogramma's of voor het verzorgen van het onderwijs, zal het behoud van orde binnen het hoger onderwijs sterk bevorderen. Deze specifieke beperking van vrijheid binnen de academie en het daaraan gekoppelde ordebehoud is naar mijn mening een van de voorwaarden om, internationaal gezien, tot een hoog niveau van wetenschapsbeoefening te kunnen komen. Alleen wanneer het onderzoek een hoog niveau weet te bereiken zal het wetenschappelijk onderwijs haar taak van vorming tot zelfstandige beoefening der wetenschap kunnen vervullen.

Bekijken we de situatie zoals deze in 1966 in onze universiteiten is, dan constateren we dat de universiteiten zich aanzienlijke beperkingen weten op te leggen. Bij het opstellen van de researchprogramma's zien we dat een strenge discipline wordt geaccepteerd. Het directe belang dat onze samenleving bij een bepaald onderzoek kan hebben, is mede bepalend bij de beslissing of dit onderzoek al of niet ter hand zal worden genomen. De instelling van de leerstoel in de directe energie-omzetting getuigt hiervan.

Vergelijken we de situatie van het hoger onderwijs in Nederland met die in andere landen, dan valt onder andere op dat bijvoorbeeld in de Verenigde Staten van Amerika door de staten belangrijke bedragen worden geïnvesteerd in researchopdrachten aan industrieën, terwijl vele groepen binnen de universiteiten voor hun inkomsten sterk

afhankelijk zijn van gedetailleerde researchopdrachten, welke door de industrie of door de overheid worden verstrekt. Ik wil hier geen uitspraak doen over de voor- en nadelen van dit Amerikaanse systeem, maar wel wil ik stellen dat het rechtstreeks investeren van grote bedragen in het wetenschappelijk onderwijs zoals in ons land gebeurt, de verplichting oplegt om in ons handelen de directe belangen van samenleving en industrie sterker te gaan betrekken dan voorheen reeds geschiedde. Dit houdt in dat we zelf binnen het hoger onderwijs een beperking van de vrijheid bij het opstellen en uitwerken van de researchprogramma's zullen moeten realiseren.

Duidelijk wil ik echter benadrukken dat het hierboven gestelde niet een aansporing mag worden om wetten en reglementen uit te gaan breiden ter beperking van de academische vrijheid. Ik heb U immers laten zien dat volgens ons huidig inzicht de wanorde noodzakelijkerwijze toeneemt, althans wanneer we volgens Eddington de klok niet willen laten terugdraaien. Al diegenen die betrokken zijn bij het opstellen van wetten en voorschriften voor het hoger onderwijs hebben in dit opzicht een tweeledige taak. In de eerste plaats zullen zij ervoor moeten waken dat iedereen die direct betrokken is bij het onderzoek en het onderwijs in staat zal blijven de wanorde ook binnen onze technische hogeschool te laten toenemen. Voor een samenleving waarin zoveel regels zijn opgesteld dat handelingen en gebeurtenissen onmogelijk worden en de wanorde niet meer kan toenemen, is de warmtedood nabij. In de tweede plaats hebben bestuursorganen de taak zich te realiseren wat het gevolg is van nieuwe wetten en regels. Alle hieruit voortvloeiende handelingen zijn, zoals we aan het begin hebben uiteengezet, gekoppeld aan een toename der wanorde. Binnen het hoger onderwijs vereist behoud van orde dat alleen die handelingen mogen worden voorgeschreven die gericht zijn op het bevorderen van het onderwijs en het inzicht in de wetenschap.

Zeer geachte toehoorders, ik ben mij ervan bewust slechts enkele en dan nog algemene gedachten die samenhangen met het werk in de directe energie-omzetting te hebben geïntroduceerd. Misschien had U verwacht dat ik U bij de magneto-hydrodynamische machines zou hebben meegevoerd naar de enorme plasmamotoren in onze hedendaagse raketten. Ook de energievoorziening van de ruimtevaartuigen en van toekomstige maanexpedities door middel van zonne- of brandstofcellen, valt binnen het gebied van de directe energie-om-

zetting. Voor het bespreken van deze aspecten ontbreekt de tijd en ik moet U hiervoor verwijzen naar de ingenieursopleidingen aan deze hogeschool.

De vooruitgang die de laatste jaren op dit gebied wordt geboekt is fascinerend. We mogen ons gelukkig prijzen dat onze economie het toelaat en eist dat we hieraan deelnemen. Gaarne betuig ik dan ook mijn dank aan *Hare Majesteit de Koningin* die mij, met de hierboven voor U geschetste opdracht, tot hoogleraar aan deze hogeschool heeft benoemd.

*Heren Curatoren,*

Men kan moeilijk zeggen dat het instellen van de leerstoel in de directe energie-omzetting getuigt van een vooruitziende blik. Immers bij het instellen van deze leerstoel, overigens de eerste in ons land, was het belang van dit terrein internationaal al erkend. Dat deze nog zo jonge hogeschool dit werkgebied tot het hare heeft gemaakt, getuigt mijns inziens wel van inzicht in de internationale ontwikkeling der energievoorziening en getuigt tevens van het besef dat de nieuwe methoden van energie-opwekking een sterke stimulans zullen zijn voor de studie in de elektrische energietechniek. Ik wil naar vermogen tot de verwezenlijking en uitbreiding van deze gedachten bijdragen.

*Leden van de academische senaat,*

Grote bewondering heb ik voor hetgeen U in de afgelopen jaren aan deze hogeschool hebt opgebouwd. De bereidheid tot discussie en tot samenwerking welke ik in enkele contacten met U heb mogen ervaren, vervullen mij met hoge verwachtingen voor de toekomst.

*Hoogleraren van de afdeling der Elektrotechniek,*

Ik zie het als een voorrecht tot lid van Uw afdeling te zijn benoemd en met U te mogen meewerken aan onderzoek en onderwijs. Gaarne wil ik U vandaag openlijk danken voor de wijze waarop U mij in de afdeling heeft opgenomen en in onze hogeschoolgemeenschap heeft binnengeleid. Ik weet dat ik ook in de toekomst een beroep zal kunnen doen op Uw kennis en ervaring.

*Medewerkers van de groep der directe energie-omzetting,*

In de korte tijd dat onze groep bestaat hebben wij geleerd elkanders taal te verstaan. Uw onderlinge bereidheid tot samenwerking en Uw



belangstelling en waardering voor elkaars werk vormen een gezonde basis waarop de toekomst van de groep en Uw persoonlijke toekomst kunnen worden gebouwd.

*Leden van de wetenschappelijke staf,*

Met enkelen van U heb ik reeds intensief contact gehad over Uw werk. Ik zie het als een van mijn belangrijkste taken deze contacten te stimuleren, omdat ik ze noodzakelijk acht voor de vorming van het wetenschappelijk denken dat binnen onze hogeschool moet rijpen om te kunnen worden overgedragen op de studenten en uitgedragen naar buiten.

*Dames en heren leden van de technische en administratieve staven,*

In de korte tijd dat ik in Eindhoven werk heb ik de enorme faciliteiten mogen ervaren die Uw diensten het wetenschappelijk onderzoek en onderwijs bieden. Ik kan U verzekeren dat ik zal proberen Uw diensten uit te buiten.

*Medewerkers van de Stichting voor Fundamenteel Onderzoek der Materie, in het bijzonder de directeur en medewerkers van het FOM-Instituut voor Plasmafysica,*

U heeft na mijn benoeming te Eindhoven ervaren dat ik mij met moeite van mijn werk te Jutphaas heb kunnen losmaken. De persoonlijke contacten, de prettige samenwerking en de aard van het werk waren hiervan de oorzaak. Ik wil hier bevestigen dat ik in mijn benoeming te Eindhoven een erkenning zie van het werk dat door gezamenlijke inspanning in het FOM-Instituut te Jutphaas is verricht. Ik prijs mij gelukkig het contact met U, zij het beperkt, te kunnen blijven onderhouden.

*Dames en heren studenten,*

Enkelen van U heb ik in het afgelopen jaar nader leren kennen. Ik moet U zeggen dat ik getroffen ben door het enthousiasme waarmee U zich op de problemen uit het gebied van de directe energie-omzetting heeft geworpen. Proberen we de weg die voor ons ligt te overzien dan moet ik constateren dat de eerste stappen die we gezet hebben wel eens de eenvoudigste kunnen zijn geweest. Graag wil ik met U de voor ons liggende weg bewandelen.

*Zeer geachte aanwezigen,*

Gekomen aan het einde van deze vergadering zal het U duidelijk zijn dat een nieuw argument voorhanden is dat pleit voor het handhaven van de inaugurele rede. Voor diegenen onder mijn gehoor die deskundig zijn op een of meer van de door mij aangeroepte gebieden behoeft deze uitspraak mijns inziens geen nadere toelichting. Voor hen die dit argument nog niet in mijn verhandeling hebben kunnen ontdekken, wil ik nog iets toevoegen. Het onderzoek en het onderwijs dat gericht is op de ontwikkeling en vooruitgang in het gebied van de directe energieconversie zal moeten worden gebaseerd op inzicht in de fundamentele rol die energieconversie in ons leven speelt. Het is de inaugurele rede die mij ertoe heeft aangespoord deze materie nader te bestuderen. Aan deskundigen zal het duidelijk zijn dat deze studie nog lang niet is afgesloten.

Zeer gewaardeerde toehoorders, door Uw aanwezigheid en Uw aandacht tijdens deze vergadering heeft U bijgedragen tot de hierboven beschreven gedachtenvorming. Hiervoor zeg ik U mijn dank.

Ik heb gezegd.

LITERATUUR:

Michael Faraday, Experimental researches in Electricity, Vol. I, London, 1845, pag. 42.

William Thomson, Mathematical and physical papers, Vol. I, Art. LIX, Cambridge University Press, 1882.

Erwin Schrödinger, What is life, the physical aspects of the living cell, Cambridge University Press, 1945.

A. S. Eddington, The nature of the physical world, Cambridge University Press, 1929.

Hans Reichenbach, The direction of time, Ed. by Maria Reichenbach, University of California Press, Berkeley, 1956.

D. ter Haar, Foundations of Statistical Mechanics, Rev. mod. Phys., Vol. 27, 1955, pag. 289.

Magnetohydrodynamic Power Generation, I, II, III en IV, The Engineer, Vol. 222, 1966, pag. 77, 118, 161 en 199.