

Mogelijkheden en beperkingen der electriciteit

Mulders, C.E.

Gepubliceerd: 01/01/1959

Document Version

Uitgevers PDF, ook bekend als Version of Record

Please check the document version of this publication:

- A submitted manuscript is the author's 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 ?

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

MOGELIJKHEDEN EN
BEPERKINGEN
DER ELEKTRICITEIT

REDE

UITGESPROKEN BIJ DE AANVAARDING
VAN HET AMBT VAN GEWOON HOGLERAAR
IN DE ELEKTROTECHNIEK
AAN DE TECHNISCHE HOGESCHOOL TE EINDHOVEN
OP VRIJDAG 23 OKTOBER 1959

DOOR

DR. C. E. MULDER

J. B. WOLTERS / GRONINGEN / 1959

MOGELIJKHEDEN EN BEPERKINGEN DER ELEKTRICITEIT

REDE

UITGESPROKEN BIJ DE AANVAARDING
VAN HET AMBT VAN GEWOON HOGLERAAR
IN DE ELEKTROTECHNIEK
AAN DE TECHNISCHE HOGESCHOOL TE EINDHOVEN
OP VRIJDAG 23 OKTOBER 1959

DOOR

DR. C. E. MULDER

*Mijne Heren Curatoren,
Mijne Heren Hoogleraren en Adviseurs,
Dames en Heren van de wetenschappelijke, technische
en administratieve staf van deze Hogeschool,
Dames en Heren Studenten en voorts gij allen, die door
uw aanwezigheid van uw belangstelling blijk geeft,*

Zeer gewaardeerde toehoorders,

De beoefening der natuurwetenschappen is, historisch gezien, ontstaan en gegroeid uit de leergierigheid van de mens omtrent de verschijnselen in de dode en levende natuur, die hij in het dagelijks leven ontmoet. Voor de wetenschap die zich onder de naam natuurkunde een min of meer omljnd werkkerrein heeft gekozen, zijn dit verschijnselen zoals: verdampen en koken, bevriezen en smelten, warmte en koude, geluid en licht. Deze rij van onderwerpen vormt ook nu nog de basis van het natuurkundeonderwijs bijvoorbeeld op de middelbare scholen. De serie wordt daar echter aangevuld en gecompleteerd met een onderwerp dat ik in de opsomming niet heb genoemd, nl. de elektriciteit. Ik heb de elektriciteit daarom niet in de rij opgenomen, omdat dit verschijnsel niet via de genoemde weg uit de praktijk van het dagelijks leven, maar op andere wijze tot voorwerp van wetenschappelijk en technisch onderzoek is geworden. De elektriciteit heeft zich weliswaar in de vorm van bliksem steeds op indrukwekkende wijze aan de mensheid gemanifesteerd, maar zij wordt ons door de natuur nergens op bruikbare wijze ter beschikking gesteld, zodat zij in vroegere tijden in het dagelijks leven in het geheel geen rol speelde. Anderzijds is het menselijk lichaam tegenover dit fenomeen tamelijk hulpeloos; er staan ons geen organen ten dienste, waarmede wij over de elektriciteit even waardevolle inlichtingen kunnen verwerven als die welke wij met de zintuigen over het geluid en het licht kunnen verkrijgen. Deze omstandigheden hebben ertoe bijgedragen, dat de kennis van de eigenschappen en de mogelijkheden der elektriciteit relatief laat tot ontwikkeling is gekomen. NEWTON en zijn tijdgenoten hebben over de elektriciteit nog niets te vermelden. In de 18e eeuw, wanneer vele takken der natuurwetenschappen reeds een grote omvang en een langdurige bloei kennen, begint de elektriciteit pas enige belangstelling te ondervinden, voorlopig echter in

hoofdzaak als bron van spel en vermaak. Het bescheiden elektrische instrumentarium past nog in de sfeer van het rariteitenkabinet.

Omstreeks de overgang van de 18e naar de 19e eeuw worden evenwel een aantal belangrijke ontdekkingen gedaan, waardoor de situatie geheel verandert. In 1800 beschrijft VOLTA een nieuwe bron van elektrische spanning, waarmee het mogelijk wordt een elektrische stroom gedurende een belangrijke tijd in stand te houden. Deze vondst verschaft de mogelijkheid tot bestudering van de verschijnselen, die met de elektrische stroom gepaard gaan, en de resultaten van deze studies komen snel en zijn zeer belangrijk. OERSTED ontdekt in 1820 de werking van de elektrische stroom op een magneetpool en daarmee het elektro-magnetisme. Vrijwel tegelijk daarmee ontdekken BIOT en AMPÈRE de naar hen genoemde wetten en FARADAY de inductiewet, de elektrolyse en de principes van de elektromotor. Reeds in 1864 weet MAXWELL deze verworven inzichten in een zodanige formulering samen te vatten, dat daarmee een zekere mate van volledigheid wat betreft de grondslagen der elektriciteitsleer werd bereikt. Op deze theoretische basis groeide daarna een indrukwekkend bouwwerk, de elektrotechniek, de kunst van het toepassen der principes van de elektriciteitsleer, met het resultaat, dat de elektriciteit, die aanvankelijk vreemd was aan het dagelijks leven, daarin thans op enorme schaal wordt toegepast. Met meer reden nog dan bij het geluid en het licht het geval is, mogen wij de toepassing van de elektriciteit zien als resultaat van de vindingrijkheid van de menselijke geest. Als natuurverschijnsel weinig interessant, is de elektriciteit als cultuurverschijnsel uiterst belangrijk geworden. Zij wordt gebruikt om een grote verscheidenheid van diensten te bewijzen, waarvan de voornaamste zo bekend zijn, dat ik ze u niet behoef te noemen. Ik wil in het hiernavolgende slechts aandacht schenken en enige gedachten wijden aan het specifieke karakter van enkele van deze toepassingen en aan de merkwaardige eigenschappen van de elektriciteit die hieraan ten grondslag liggen. Het is daarbij voor de professionele bescheidenheid van de elektrotechnicus heilzaam te overwegen, dat dit medium ook zijn beperkingen kent. Het is trouwens in het algemeen belangrijk, dat een technicus evenzeer de beperkingen van de hem ten dienste staande hulpmiddelen kent, als hun mogelijkheden.

De aanwezigheid van distributiesystemen voor elektrische energie is een van de voorwaarden voor de levensgewoonten van onze tijd.

Het intensief gebruik van deze systemen berust op de buitengewone geschiktheid van de elektriciteit als medium voor het transport van energie. Ter verduidelijking van deze karakteristieke eigenschappen van de elektriciteit, die haar in dit opzicht een zo bijzondere plaats doen innemen, zou ik u iets willen mededelen over de experimenten, die gedaan zijn door de man die zich omtrent de elektriciteitsgeleiding als eerste enig inzicht verwierf, STEPHEN GRAY. Hij beschreef deze experimenten in de *Philosophical Transactions* van 1731. De proeven zijn dus 70 jaar ouder dan de eerste publikatie van VOLTA, zodat GRAY nog geen gebruik kon maken van batterijen en zich met de zeer primitieve elektrische apparatuur van de 18e eeuw moest behelpen. Als generator van elektriciteit gebruikte hij een glazen buis of staaf, waarop hij door wrijving elektrische ladingen kon opwekken. Om de ladingstoestand van de onderdelen van zijn opstelling af te tasten, gebruikte hij primitieve elektrometers in de vorm van stukjes bladmessing of vogelveertjes aan een touwtje, die door een geladen oppervlak worden aangetrokken. De glazen buis werd afgesloten met een kurk. In deze kurk stak hij een messingdraad; aan het andere eind van die draad bevestigde hij een ivoren bal. Nadat de glazen buis door wrijving was opgeladen, kon met behulp van de elektrometer worden nagegaan of de lading zich naar de ivoren bal had verplaatst. Geleidelijk slaagde GRAY erin met behulp van steeds langere draden de elektrische lading over steeds grotere afstanden te transporteren. Bij grote afstanden werd het nodig de messingdraden te ondersteunen, hetgeen gebeurde door ze op te hangen aan het dak van de schuur waarin de proeven werden uitgevoerd. Het kostte GRAY veel moeite en tijd voor deze ophanging een geschikte methode te vinden. De proef slaagde pas toen voor de ophanging zijden draden werden gebruikt; met het aanvankelijk hiervoor gebruikte bindtouw of ijzerdraad werd de bal in het geheel niet elektrisch. GRAY vermeldt tenslotte met enige trots dat hij een afstand van 200 voet kon overbruggen, waardoor hij erin slaagde een elektrisch distributienet in optima forma te construeren lang voordat er bruikbare elektrische generatoren bestonden.

Als men de beschrijving van deze oude proeven en de commentaren van GRAY leest, wordt het duidelijk dat de verklaring van zijn ervaringen niet zo voor de hand lag als wij achteraf misschien geneigd zijn te veronderstellen. Zo gaat hij bijvoorbeeld na of het resultaat van de proeven er soms van afhangt of de geleidingsdraad in verticale dan wel in horizontale richting is uitgespannen. Als hij

er zich van overtuigd heeft, dat dit niet het geval is, probeert hij door variatie van de lengte en de dikte van de ophangdraden te achterhalen of er soms kritische afmetingen zouden bestaan. Tenslotte moet hij er zich bij neerleggen, dat de verschillende materialen die hij voor de ondersteuningsdraden gebruikte, zich om voorlopig geheel onbegrijpelijke redenen totaal verschillend gedragen. Zo hij hiermede al niet het principiële onderscheid tussen elektrische geleiders en isolatoren heeft ontdekt, het resultaat van zijn experimenten toonde in ieder geval een uiterst belangrijk feit aan, dat natuurlijk later pas in volle omvang kon worden overzien, nl. dat in de natuur zowel zeer goede geleiders als zeer goede isolatoren voor elektriciteit voorkomen en dat men in beide categorieën uitstekende constructiematerialen aantreft. Het succes, ja zelfs het bestaan van de elektrotechniek is nauw verbonden met de omstandigheid dat de goede geleiders in hoofdzaak gevonden worden onder de metalen die zeer gunstige chemische en mechanische eigenschappen bezitten, in het bijzonder deze: dat zij zich gemakkelijk tot draden laten trekken. Het is in dit verband zeker interessant op te merken, dat uit de publikatie van GRAY blijkt, dat de koperdraad i.c. de messingdraad zelfs ouder is dan de elektrotechniek.

In het elementair onderricht van de elektriciteitsleer wordt om de eigenschappen van de elektrische stroom, spanning en weerstand te illustreren wel eens gewezen op de overeenkomst met de stromingsverschijnselen van gassen, vloeistoffen of warmte. Deze vergelijking wil ik hier eveneens hanteren, maar ditmaal om uw aandacht te vestigen op de punten waarin de elektrische stroom zich van de andere stromingsverschijnselen onderscheidt. Daarbij valt het volgende op. De elektrische stroom gehoorzaamt enerzijds – in vergelijking met alle andere stromingsverschijnselen – aan bijzonder eenvoudige wetten (ik maak een uitzondering voor wisselstromen van hoge frequenties). Hij vloeit door massieve lichamen, is homogeen over de oppervlakte van een draadvormige geleider verdeeld, vertoont geen wervelingen en voldoet met grote nauwkeurigheid aan een eenvoudige lineaire relatie: de wet van Ohm, die juist door haar eenvoud karakteristiek is voor de elektriciteit. Anderzijds vormt de elektriciteitsgeleiding nog steeds een vrijwel onbegrensd terrein van wetenschappelijk onderzoek doordat zij een veeltallige verscheidenheid van interessante, belangrijke en dikwijls moeilijk begrijpbare verschijnselen biedt. Bij wijze van voorbeeld noem ik slechts de supergeleiding, die bij zeer lage temperaturen

kan optreden, en de elektriciteitsgeleiding door halfgeleiders, welke laatste categorie van materialen zijn naam ontleent aan de omstandigheid, dat hun geleidbaarheid tussen die van de goede geleiders en de goede isolatoren in ligt.

Voor de elektrotechniek is het van kardinale betekenis, dat zij door de karakteristieke eigenschappen van de elektriciteit over een flexibel en doeltreffend distributiesysteem van elektrische energie kan beschikken. Bovendien is het nut daarvan zo bijzonder groot, omdat de moderne elektrotechniek een hoge perfectie heeft bereikt in het op betrouwbare en efficiënte wijze omvormen van elektrische energie in andere rechtstreeks bruikbare energievormen zoals licht, geluid, warmte en vooral mechanische energie voor de aandrijving van werktuigen en motoren.

Het is trouwens een gelukkige omstandigheid, dat men voor de elektrische energie over een eenvoudig distributiesysteem beschikt, want anders was het met de mogelijkheden tot toepassing van elektriciteit niet best gesteld. Dit blijkt duidelijk in die gevallen, waar wij niet met dit distributiesysteem in contact kunnen blijven, zoals in een automobiel of vliegtuig, waar wij slechts op zeer bescheiden schaal van de elektriciteit gebruik kunnen maken, omdat het niet mogelijk is elektrische energie in enigszins belangrijke hoeveelheden te bewaren of mede te voeren. Er bestaat wel een elektrisch apparaat, dat de naam accumulator, dat is verzamelaar voert, en dat zoals u weet voor sommige toepassingen zeer nuttig en zelfs onmisbaar is; maar in hoeverre het werkelijk een accumulator van energie is, kan aan de hand van de volgende eenvoudige berekening beoordeeld worden. Een automobielaccu van ca. 25 kg kan bij een spanning van 12 volt stroom leveren tot een bedrag van 70 ampère-uren, hetgeen betekent dat een hoeveelheid energie van ca. 0,8 kWh kan worden geleverd. Eenzelfde gewichtshoeveelheid benzine levert bij verbranding 250.000 kilocalorieën, hetgeen betekent, dat een benzinemotor werkend met een rendement van 30 percent hieruit een hoeveelheid mechanische energie ten bedrage van 100 kWh kan produceren, d.w.z. ruim honderd maal zoveel als het voor de accu berekende bedrag. Onder deze omstandigheden is het niet verwonderlijk, dat de verbrandingsmotor – hetzij als explosiemotor, hetzij als gasturbine – in de voortstuwing van vliegtuigen en automobielen onbetwist meester van het terrein is. Zoals de zaken thans staan, beschikken wij niet over een bruikbare methode om elektrische energie te bewaren. Zij moet verbruikt worden op het mo-

ment dat zij wordt opgewekt, en het laat zich niet aanzien dat voor dit probleem binnenkort een oplossing te verwachten is. Persoonlijk verwacht ik veel van een uitweg in een andere richting. Het moderne halfgeleideronderzoek heeft materialen weten op te leveren, waarvan de thermo-elektrische effecten bijzonder geprononceerd zijn. In Amerika en Rusland worden reeds koelkasten geconstrueerd, die berusten op het gebruik van één van deze effecten, nl. het peltiereffect dat optreedt tussen combinaties van geschikte halfgeleiders. Ook de thermo-elektrische spanning tussen geschikte combinaties van halfgeleiders die op verschillende temperaturen zijn gebracht, kan zeer groot zijn. Daarmede komt de mogelijkheid in het uitzicht thermische energie om te vormen in elektrische energie zonder de nu nog steeds vereiste tussenschakel van mechanische energie. Men kan dan de in een voertuig medegevoerde brandstof gebruiken om met een brander een thermo-elektrische generator aan te drijven en daarmede het voertuig langs elektrische weg voort te stuwen. De principiële voordelen van deze methode zijn zeer interessant, hoewel de realisering waarschijnlijk nog wel enige tijd op zich zal laten wachten. Men is trouwens in het algemeen nog pas in een beginstadium met de ontwikkeling van methoden tot het opwekken van elektrische energie langs andere weg dan met de conventionele elektromechanische omvormers. De door mij genoemde thermo-elektrische generator is een van de mogelijkheden, niet de enige. Want ook is men bezig met het ontwikkelen van methoden die gebruik maken van elektronenemissie als omvormingsprincipe. Ook de rechtstreekse omzetting van stralingsenergie, bijvoorbeeld van de zon, in elektrische energie wordt als mogelijkheid geëxploreerd, o.m. met het oog op de techniek van de satellieten en de ruimtevaart. Het zijn wederom de halfgeleiders, die in dit opzicht veelbelovende perspectieven bieden.

De toepassingen der elektriciteit die ik tot nu toe heb aangeduid, waren die waarbij het accent op het begrip energie valt, niet alleen om de elektrische energie zelf, die in de gehele elektrotechniek steeds een tussenvorm is, maar evenzeer om de rechtstreeks bruikbare energievormen, die men er door omvorming uit verkrijgen kan. Men heeft daar dus in het algemeen te maken met die toepassingen, waarvan men de prestatie in hoofdzaak beoordeelt of rangschikt naar het geleverde aantal kW of kWh. Om deze reden geeft men aan dat deel der elektrotechniek tegenwoordig gaarne de naam ener-

getica, die de voorkeur verdient boven de oude naam sterkstroom-techniek. De hier genoemde toepassingen der elektriciteit zijn tevens de oudste. Later zien wij daarnaast het gebruik opkomen van de elektriciteit voor het overbrengen van berichten, aanvankelijk evenals de overbrenging van elektrische energie langs draden, vervolgens ook door middel van de voortplanting van elektromagnetische golven door de vrije ruimte. Het in dit verband genoemde begrip 'bericht' heeft allengs een ruimere inhoud gekregen: aanvankelijk was het niet meer dan een eenvoudige telegrafische boodschap in morsetekens; daarna werd het een niet-gecodeerde mondelinge mededeling per telefoon of radio. Thans kan de elektriciteit zelfs dienen voor de overdracht van het zeer ingewikkelde bericht van een televisiebeeld, al dan niet in kleuren.

Het is tegenwoordig gebruikelijk laatstgenoemde werkzaamheden der elektrotechniek in verband te brengen en te beschrijven met het begrip 'informatie'. De term informatie is in de omgangstaal volstrekt niet nieuw; het is zelfs een zeer alledaags woord. Modern is het zoeken naar een exacte omschrijving van het ermee bedoelde begrip, waardoor het bruikbaar wordt voor kwantitatieve beschouwingen en waardoor het mogelijk wordt te bepalen hoeveel informatie een boodschap bevat. Deze aangelegenheid is in hoofdzaak langs twee wegen aan de orde gekomen. In de eerste plaats uit de theorie der communicatiemiddelen, waar men zich ging afvragen op welke wijze men een gegeven verbinding zo efficiënt mogelijk kon gebruiken, m.a.w. hoe men hierover zoveel mogelijk berichten kon verzenden en hoe de verhoudingen in dit verband liggen tussen bijv. telegrafie en telefonie. Anderzijds komt de statisticus voor een soortgelijk probleem te staan, als hem gevraagd wordt, hoe men van een partij nominaal gelijke goederen moet nagaan of de eenheden aan gestelde eisen voldoen en hoe men daarbij met zo weinig mogelijk proeven zoveel mogelijk gegevens kan verkrijgen. De gemeenschappelijke facetten van problemen als de hier genoemde hebben de stoot gegeven tot kwantitatieve beschouwingen over het begrip informatie: de informatietheorie.

Het is nog een bron van controverse of deze theorie inderdaad een belangrijke aanwinst is voor het wetenschappelijk arsenaal van de technicus, dan wel een methode om kennis, die intuïtief reeds aanwezig was en werd toegepast, nu expliciet en uit een breed standpunt te formuleren. In het laatste geval zou de winst voorlopig in hoofdzaak op didactisch en esthetisch terrein liggen. Het

ligt niet op mijn weg hier nader op in te gaan. Ik wil slechts vaststellen, dat men het belang van het begrip informatie thans algemeen inziet en dat men vele moderne aspecten van de elektrotechniek nauwelijks kan omschrijven zonder dit begrip te hanteren. U zult het woord in het hiernavolgende dan ook nog vele malen horen.

De meest bekende van de moderne toepassingen der elektrotechniek zijn op te vatten als een uitbreiding van de vermogens waarmee de mens informatie verkrijgt of mededeelt, met name de spraak, het gehoor, het gezicht enz. Deze relatie komt ook tot uiting in de benamingen van vele van deze technieken, die samengesteld zijn met het voorvoegsel *tele* = ver, zoals *telefoon*, *televisie*, *telegraaf*, *teletype*. Het principe van deze technieken is steeds hetzelfde. Men vertaalt het concert, het televisiebeeld of het getypte blad papier in elektrische signalen van een zodanige structuur, dat zij de informatie die in het geluids- respectievelijk optische beeld aanwezig is, kunnen bevatten. Als elektrisch signaal kan deze informatie langs draden of met behulp van elektromagnetische golven door de vrije ruimte worden verzonden en na ontvangst wederom in zintuiglijk waarneembare geluids- of lichtsignalen worden terugvertaald. De vindingrijkheid die voor de realisering van dit principe nodig is, is niet in al de gevallen die ik noemde, van dezelfde orde, maar bij de nieuwste ontwikkelingen, zoals bijvoorbeeld de kleurentelevisie, is deze zeer indrukwekkend.

De hier besproken technieken, die wij onder de naam communicatietechniek kunnen samenvatten, zijn wederom toepassingen van karakteristieke eigenschappen van de elektriciteit. Zonder deze zijn zij niet denkbaar. In deze sector der elektrotechniek zijn het vooral het machtige hulpmiddel van de elektronenbuis, en in ruimere zin de elektronica, die de mogelijkheid tot vele spectaculaire vindingen hebben geopend. Het is ook in het bijzonder op dit terrein, dat de elektriciteit zich op geheel eigen wijze als cultuurbepalend medium heeft ontplooid. De techniek doet hier meer dan welvaart brengen of vergroten, want door deze ontwikkeling heeft zij de mogelijkheden der menselijke ontmoeting op ongedachte schaal verrijkt.

Geleidelijk aan groeit in verband met het begrip informatie in de moderne elektrotechniek nog een nieuwe taak, nl. die van het verwerken van informatie. Een der arbeidsterreinen biedt hier de

boekhoudkundige verwerking van de massale informatie, die toegevoerd wordt aan de moderne massa-administraties. Een voorbeeld hiervan vindt men o.a. in de postcheque- en girodienst, waar per dag ongeveer één miljoen boekingen moeten worden verricht; en in de loonadministraties van de overheid en van grote bedrijven, waar het voorkomt, dat meer dan honderd toeslagen en inhoudingen per loonpost moeten worden toegepast. Ik noem verder de reserveringssystemen voor reizigersplaatsen van de grote vervoersondernemingen, in het bijzonder de luchtvaartmaatschappijen, en als laatste de administraties van grote loterijen, zoals de voetbaltoto's. Uit de gegeven voorbeelden blijkt, dat het bestaan van zulke massale administraties niet alleen maar een gevolg kan zijn van eventuele, in onze tijd bestaande neigingen tot bureaucratie of ambtenarij. Het is blijkbaar zo, dat de ontwikkeling van de techniek en de algemene stijging van de welvaart ook een toenemende complicering van het dagelijks leven op administratief gebied ten gevolge hebben. De Engelsman H. A. THOMAS wees dit jaar in zijn Faraday-lecture over automatisering op het feit, dat thans in Engeland 10 procent van de beroepsbevolking zich bezig houdt met eenvoudig administratief werk zoals het sorteren van kaarten, het verrichten van eenvoudige boekhoudkundige bewerkingen, het invullen van formulieren, tabellen e.d. Deze toestand schept eigenaardige problemen. Weliswaar zijn de genoemde werkzaamheden vrij simpel, maar dikwijls moeten toch hoge eisen gesteld worden aan de nauwkeurigheid en het verantwoordelijkheidsbesef, waarmede zij moeten worden verricht. Enerzijds wordt het moeilijk mensen te vinden aan wie men dergelijk werk kan opdragen; anderzijds moet men zich afvragen of men die mensen eigenlijk niet bij moeilijker opdrachten zou kunnen inschakelen en daarbij het routinewerk aan de machine overlaten. Dit kan namelijk en wordt reeds thans op belangrijke schaal met allerlei kantoormachines in praktijk gebracht. De reden waarom het probleem actueel is en waarom ik er hier over spreek, is dat de introductie van de elektronica op dit gebied een nog geraffineerder mechanisering van het administratieve werk heeft mogelijk gemaakt en nog veel verder gaande ontwikkelingen belooft. De successen van de elektronica op dit terrein lopen parallel met en zijn gedeeltelijk gebaseerd op de resultaten van de elektronica op het gebied der elektronische rekenmachines, speciaal der digitale typen, die een door de oorlog sterk gestimuleerde ontwikkeling hebben doorgemaakt. Kenmerkend voor deze machines en

de sleutel tot hun succes zijn in de eerste plaats de geheugens, d.w.z. de organen die het mogelijk maken grote hoeveelheden informatie te bewaren op een zodanige wijze, dat deze daaruit snel kan worden teruggevonden, en in de tweede plaats de organen die het mogelijk maken in zeer korte tijd grote aantallen rekenkundige bewerkingen uit te voeren. Beide soorten karakteristieke organen zijn wederom gebaseerd op typische mogelijkheden der elektriciteit, in dit geval der elektronica. Deze hangen hier samen met een merkwaardigheid in de structuur van het elektrisch elementair deeltje, het elektron. De verhouding van lading en massa van het vrije elektron is nl. zodanig, dat het in een zwak elektrisch veld van bijvoorbeeld 1 volt per meter reeds een versnelling ondervindt die ca. 10^{10} maal zo groot is als de versnelling van de zwaartekracht. Dit houdt in dat men met het elektron vrijwel onbegrensd snel kan manipuleren, hetgeen de moderne elektronica dan ook op vele wijzen weet te realiseren. Nogmaals blijkt hier het intermediaire karakter van alle elektrische technieken. In dit geval vormen de elektronen de onzichtbare mysterieuze tussenschakel. Voor het verkrijgen van het eindresultaat moet de elektrotechnicus dikwijls een beroep doen op niet of niet-geheel elektrische technieken. Ter illustratie van dit laatste wijs ik op de noodzaak bij de girodienst om het saldo in tastbare vorm aan de rekeninghouder bekend te maken. De mechanische constructeur krijgt hierbij in sommige gevallen problemen te verwerken die zeer moeilijk zijn door de grote omvang en snelheid der aangeboden rekenresultaten.

Nu is het interessant, dat er ondanks de indrukwekkende technische vorderingen op dit gebied problemen bestaan, die op het eerste gezicht niet zo lastig zijn, maar zich in werkelijkheid hardnekkig tegen een oplossing schijnen te verzetten. Een der bekendste van dergelijke vraagstukken is het probleem van het lezen van getypt of gedrukt schrift met behulp van een machine, om nog maar niet te spreken over het machinaal lezen van handschrift. Wanneer hiervoor een bevredigende oplossing gevonden kon worden, dan zou bijvoorbeeld het automatisch verwerken en sorteren van een zeer tastbare vorm van informatie, nl. de briefpost, een belangrijk grotere kans op verwerkelijking krijgen dan thans het geval is. Zelfs het betrouwbaar aflezen door een machine van een met cijfers geschreven getal is nog een moeilijk vraagstuk; eigenlijk is dit alleen mogelijk als het getal met gestileerde en genormaliseerde cijfers wordt opgezet. Bij het automatiseren van de girodienst

en vele andere massa-administraties is dit een centraal probleem. In de huidige situatie is het nog zo, dat gegevens op formulieren e.d., die in een administratie-machine moeten worden verwerkt, daartoe eerst door een typiste met de hand in een gecodeerde vorm in deze machine moeten worden ingebracht.

Bij de voorbeelden van informatieverwerking die ik tot nu toe noemde, was het verkrijgen van de informatie niet de grootste moeilijkheid. Integendeel, een groot gedeelte van de moeilijkheden ligt veelal daarin, dat de informatie in overstelpende hoeveelheden wordt aangeboden. Het al dan niet juist zijn van deze informatie komt daarbij dikwijls niet aan de orde. Wanneer de heer A aan de heer B per giro f 100,- wenst over te boeken of wanneer mevrouw C bij het invullen van een voetbaltoto-formulier als haar verwachting uitsprekt dat Feyenoord tegen P.S.V. zal gelijk spelen, moet dit eenvoudig als feit geaccepteerd worden. In veel gevallen moet echter wel degelijk de eis gesteld worden, dat de informatie in overeenstemming is met de werkelijkheid, met name ten aanzien van die informatie, die men zich door meting moet verwerven. Hiermede ben ik aan een onderwerp gekomen, het meten en de meettechniek, waaraan ik gaarne enige bijzondere aandacht wil wijden. In dit betoog komt dit onderwerp thans ter sprake in verband met informatietransporterende en informatieverwerkende systemen; voor vele moderne toepassingen is deze relatie – zoals wij later nog zullen zien – inderdaad van het grootste belang. Het meten en de meettechniek vervullen echter in de elektrotechniek een algemener en veelzijdiger taak. Daar is allereerst de functie die het elektrisch en elektrotechnisch meten met alle meten in de gehele natuurwetenschap gemeen heeft, nl. de basis te vormen voor onze kennis en inzichten op natuurwetenschappelijk gebied. Ook de elektriciteitsleer is gebouwd op een basis van meetresultaten, geleverd door klassieke metingen van COULOMB, FARADAY, OHM en zovele anderen, die dikwijls met primitieve hulpmiddelen de wetmatigheden ontdekten die de weg baanden tot de latere uitbloei. Op een wat bescheidener wetenschappelijk niveau maakt iedere elektrotechnicus bij het onderhoud, het onderzoek of de reparatie van welk elektrisch apparaat ook een zeer intensief gebruik van meetinstrumenten. Nog om tal van andere redenen kan men ertoe gebracht worden meetapparaten te hulp te roepen. Zo is een zeer voor de hand liggende aanleiding de wens om geleverde diensten of goederen op

rechtvaardige wijze te verrekenen. Deze, in de ogen van sommigen van u misschien wat nuchtere aanleiding is er de oorzaak van, dat het meten van lengten, oppervlakten en inhoud, het wegen en het meten van tijden al zeer oude technieken zijn. Dit gebied is nog steeds belangrijk. Toen in het begin van de vorige eeuw de lichtgasdistributie in Londen werd ingevoerd, werd de exploitatie hiervan aanvankelijk ernstig belemmerd door het ontbreken van een verbruiksmeter. Het spreekt dan ook vanzelf dat prompt een dergelijke meter werd geconstrueerd; hij werd de voorloper van vele andere verbruiksmeters van de kWh-meter tot de ingenieuze constructies van interlokale telefoonautomaten met bijbehorende kostentellers en wisselgeldautomaten. Een categorie van meetinstrumenten waarvan de functie hierbij aansluit, is die der doseringsmeters, welke worden toegepast bij het gebruik van radioactieve of röntgenstraling. Hiermede zijn wij in onze opsomming tevens genaderd tot de meters ter beveiliging van mensen, dieren en goederen. Maar verreweg de belangrijkste categorie van meetinstrumenten wordt tegenwoordig gevormd door die, welke bedoeld zijn om de uitvoering van allerlei constructies, fabricatiemethoden en processen mogelijk te maken of zodanig te doen verlopen, dat het rendement van het proces of de kwaliteit van het geleverde produkt zo goed mogelijk is. Het aantal toepassingen hiervan in vrijwel alle geledingen der techniek is onafzienbaar. De meting levert in deze toepassingen de informatie die nodig is om het proces op de juiste wijze te besturen. De informatie wordt hier evenals bij de administratie-machines verwerkt, maar nu met het doel het resultaat dezer verwerking te gebruiken om in een energetisch proces in te grijpen op zodanige wijze, dat dit op de gewenste wijze verloopt. Deze verwerking kan zeer simpel zijn, zoals in het geval van de automobilist die de rolhoes van zijn radiator opent, nadat hij geconstateerd heeft, dat de temperatuur van het koelwater van de motor te hoog is opgelopen. De verwerking kan echter ook buitengewoon gecompliceerd zijn, zoals bij de vuurleidingstoestellen van de lucht-doelartillerie, waar de gemeten coördinaten van de positie van het doel als functie van de tijd in het toestel worden ingebracht, waarna deze als parameters in een stelsel simultane differentiaal-vergelijkingen fungeren, waarvan de oplossing de gegevens levert voor de hoeken waaronder de kanonnen het doel moeten bevuren.

De hier bedoelde verwerking van meetresultaten vormt de basis van de regeltechniek of, zo u wilt, stuurtechniek en in een geper-

fectioneerde vorm van de automatiseringstechniek. Dit onderwerp staat, zoals u weet, in het middelpunt van de belangstelling en kan van talloze zijden belicht worden. Ik zal mij hier wederom beperken tot het bespreken van enige typische bijdragen van de elektrotechniek tot dit vakgebied, in het bijzonder tot de meet- en regeltechniek. Dit is mede daarom interessant, omdat juist op dit terrein koppeling van elektrische elementen met mechanische, pneumatische en hydraulische elementen mogelijk en dikwijls zelfs nuttig en noodzakelijk is. Gaat men na welk gebied der elektrotechniek hier vertegenwoordigd is – het energetische of het informatorische – dan vindt men, dat beide ruimschoots voorkomen. Dit mag men ook verwachten, daar de regeltechniek per definitie beide elementen bevat, nl. een energetisch systeem, door een informatorisch systeem bestuurd. In deze koppeling vinden wij een merkwaardige overeenkomst met de menselijke activiteit. De cyclus waarnemen, denken, handelen vinden wij op karakteristieke wijze in de regeltechniek terug. Het is daarom dat dit vakgebied grote belangstelling heeft gewekt bij fysiologen en andere onderzoekers van de levensverrichtingen, waar nog steeds de koppeling van denken en doen, van geestelijke en lichamelijke activiteit vele raadselachtige problemen aan de orde stelt.

Het is in dit verband zeker vermeldenswaard, dat de door onze zintuigen verkregen informatie langs elektrische weg naar de hersenen getransporteerd wordt, zoals bijvoorbeeld door VON BÉKESY uitvoerig experimenteel is onderzocht voor het gehoorsorgaan.

De elektriciteit vervult in de gehele meettechniek om verschillende redenen een belangrijke rol. Ik noemde u de specifieke voordelen van de elektriciteit, wanneer het erom gaat informatie te transporteren of te verwerken. Deze voordelen gelden evenzeer voor de door meting verkregen informatie. Een heel duidelijk voorbeeld hiervan vinden wij bij alle metingen die worden uitgevoerd met behulp van instrumenten in raketten en kunstmanen, waar de meetresultaten alleen langs elektrische weg naar de aarde kunnen worden geseind. Voorwaarde daartoe is dat de meetgegevens in elektrische vorm aanwezig zijn. Nu is het inderdaad mogelijk vrijwel alle niet-elektrische grootheden, zoals druk en kracht, temperatuur, stralingsintensiteit enz., in een elektrische grootheid te vertalen en aldus te meten. Er bestaat een overvloed van fysische effecten, waarbij onder invloed van niet-elektrische werkingen elektrische stromen en spanningen ontstaan. Dikwijls heeft men voor

een bepaalde meting zelfs de keuze uit een aantal verschillende mogelijkheden. Nemen wij ter illustratie hiervan de meting van temperaturen. In de internationale temperatuurschaal wordt de temperatuur in een zeker gebied van lage waarden vastgelegd met behulp van de temperatuurafhankelijkheid van de elektrische weerstand van zuiver platina en in een bepaald gebied van hoge waarden aan de hand van de grootte van de thermo-elektrische spanning van de combinatie platina contra platina-rhodium. Wij mogen hierin een aanwijzing zien, dat de elektrische methode bovendien zeer nauwkeurig kan zijn. Voor het meten van krachten en drukken langs elektrische weg staan eveneens een respectabel aantal effecten ter beschikking, zoals de piëzo-elektriciteit, de magnetostrictie, de verandering van de elektrische weerstand of de capaciteit onder invloed van druk e. d. Het moderne halfgeleideronderzoek heeft het repertoire nog uitgebreid, niet zozeer door de ontdekking van nieuwe effecten als wel door de omstandigheid, dat reeds bekende effecten bij deze materialen zoveel groter kunnen zijn en zich daarvoor goed lenen voor meettechnische doeleinden.

Dames en heren,

Ik heb in het voorgaande enige beschouwingen mogen geven over een thema, dat ik noemde 'Mogelijkheden en beperkingen der elektriciteit'. Ik heb daartoe met u een snelle excursie door de elektrotechniek gemaakt en daarbij speciale aandacht geschonken aan dat gedeelte ervan, waarin mij een onderwijsopdracht werd gegeven, de meet- en regeltechniek, en enige opmerkingen gemaakt over een onderwerp daaruit dat mijn speciale belangstelling heeft, nl. de elektrificatie van de meettechniek. Het kan zijn, dat ik de mogelijkheden der elektriciteit wat duidelijker belicht heb dan haar beperkingen. Mocht dit zo zijn, beschouwt u dit dan als een gematigd vakchauvinisme. Dit komt meer voor. Degenen onder u, die wel eens discussies onder technici over belangrijke technische beslissingen hebben bijgewoond, weten hoe daarbij, bewust of onbewust, soms niet-technische overwegingen een belangrijke rol spelen; overwegingen die samenhangen met persoonlijke smaak of ervaring, opleiding van de betrokkenen enz. In zoverre de mens wil blijven verschillen van zijn rekenmachines, zal dit wel onvermijdelijk zijn en ook allerminst een reden om te treuren. Wij moeten ons daarbij bovendien realiseren, dat in veel gevallen parallel-oplossingen bestaan die tamelijk gelijkwaardig zijn, en waarvan het

succes dikwijls nog afhankelijk is van de toewijding en de vakkennis, waarmede de gebruikte apparatuur wordt bediend en onderhouden. Een concurrerende oplossing van een technisch probleem op verschillende vakgebieden kan daarenboven voor beide sterk stimulerend zijn. U zult intussen begrepen hebben, dat ik behoor tot diegenen, die geneigd zijn in het algemeen de oplossing langs elektrische weg te zoeken. Ik heb u uiteengezet waarom en ik hoop u daardoor iets te hebben overgedragen van mijn bewondering voor het fascinerende medium der elektriciteit, voor deze onzichtbare, mysterieuze dienstmaagd, die zoveel wonderlijks vermag, maar zich in het resultaat van haar diensten steeds weer bescheiden elimineert en wegcijfert. Om aan die bewondering uiting te geven, heb ik geen verheven taal gebruikt, doch de taal, die de beoefenaar der techniek en natuurwetenschappen het beste verstaat, die der nuchtere feiten en waargenomen verschijnselen. Maar ook voor deze taal geldt hetgeen verhaald wordt in het Pinksterverhaal uit de Handelingen der Apostelen: dat zij allen in hun eigen taal hoorden verkondigen de wonderwerken Gods.

Bij de aanvaarding van mijn ambt moge ik in de eerste plaats mijn eerbiedige dank betuigen aan *Hare Majesteit Koningin Juliana*, die mij tot hoogleraar aan deze Technische Hogeschool heeft willen benoemen.

Mijne heren Curatoren,

Tegenover U spreek ik mijn erkentelijkheid uit voor het vertrouwen, dat U in mij hebt gesteld door mij voor deze benoeming voor te dragen. Ik beschouw het als een groot voorrecht en een unieke ervaring mede te mogen werken aan de opbouw en de groei van deze jonge Hogeschool, waarvan de vestiging in deze stad en in deze provincie met zoveel vreugde werd begroet en waarvan de succesvolle voltooiing met zoveel verwachting wordt tegemoet gezien.

Mijne heren leden van de Senaat,

Het voorrecht mij een der Uwen te mogen noemen, beschouw ik als een grote eer. In U is een groot reservoir van kennis en ervaring vertegenwoordigd. Ik hoop dat U mij in de gelegenheid zult stellen uit dit reservoir te putten en mij daardoor de steun wilt verlenen, die ik voor de vervulling van mijn nieuwe taak zo nodig heb.

Mijne heren Voorzitter, secretaris en leden van de afdeling der elektrotechniek,

De omstandigheden hebben ertoe geleid dat ik deze rede houd op een tijdstip, dat ik reeds enige tijd in Uw midden heb mogen verkeren. Hierdoor kan ik verder gaan dan het uitspreken van de hoop op goede samenwerking. Het is mij een genoegen hier te mogen getuigen, dat het goed is in Uw midden te vertoeven.

Een woord van dank richt ik tot mijn leermeesters aan de Leidse Universiteit, die in mij de liefde tot het natuurwetenschappelijk onderzoek hebben weten te wekken. Mijn contact met de Technische Hogeschool te Delft heeft ertoe geleid, dat ik onder Uw leiding, hooggeleerde *Kronig* en hooggeleerde *C. W. Kosten*, mijn proefschrift heb mogen bewerken. Aan de tijd dat ik hierover met U van gedachten mocht wisselen, denk ik met het grootste genoegen terug.

Hooggeleerde van Soest,

Onder Uw hoede heb ik mijn intrede in wat U noemde de 'kille maatschappij' gemaakt, die echter in Uw omgeving door Uw menselijke belangstelling en hartelijkheid werd verwarmd. Mijn leeropdracht voert mij dicht bij het gebied dat Uw grote wetenschappelijke belangstelling heeft, en ik verheug mij erop in de toekomst hernieuwd contact met U te kunnen opnemen.

Hooggeleerde Bast,

In een zeer moeilijke tijd ben ik op Uw laboratorium in dienst getreden van het Staatsbedrijf der P.T.T., waarover U thans als Directeur-Generaal de hoogste leiding is toevertrouwd. Staat U mij toe tegenover U mijn grote waardering uit te spreken voor dit interessante, vitale bedrijf waaraan ik een vijftiental jaren heb mogen medewerken. Zeer geachte *Dr. van Duuren*, Directeur van het Dr. Neher Laboratorium der P.T.T., oud collegae, medewerkers en vrienden in dit bedrijf: Gij allen hebt gemaakt, dat ik op deze periode met grote dankbaarheid en tevredenheid kan terugzien.

Dames en heren studenten,

Men legt tegenwoordig sterk de nadruk, en mijns inziens terecht, op de wenselijkheid van een researchtaak voor een instituut van wetenschappelijk onderwijs, in het belang van dat onderwijs. Maar

ook kan men het omgekeerde stellen. Er zijn vele voorbeelden die aantonen, dat een onderwijstaak gestimuleerd heeft tot ontdekkingen van grote wetenschappelijke betekenis. Het geven van wetenschappelijk onderwijs is immers een worsteling om in te dringen tot de geheimen van een dikwijls weerbarstige waarheid en deze in een helder licht te plaatsen. Mogelijk schuilt hier een der oorzaken van het feit, dat universiteiten en hogescholen, dikwijls met beperkte hulpmiddelen, zoveel tot de ontwikkeling der wetenschap hebben bijgedragen. En dan is er het volgende: de sfeer in een universiteit of hogeschool wordt bepaald door jonge mensen, wie het – dikwijls tot ergernis van een voorgaande generatie – meestal niet aan lust tot kritiek ontbreekt. Anderzijds is de jeugd de levensperiode, waarin men nog sterk getroffen wordt door indrukken van buiten en men zich juist daardoor nog heftig kan verwonderen en intens kan bewonderen. Deze combinatie van mentale eigenschappen vormt eigenlijk de juiste voedingsbodem voor vruchtbaar wetenschappelijk en technisch onderzoek. Misschien is het mede door de infiltratie met deze jeugdige mentaliteit, dat de universiteiten en hogescholen, ondanks de geweldige ontwikkeling der industriële en andere bedrijfslaboratoria, toch nog een rol aan het front der wetenschap en der techniek vervullen.

Ik beschouw het als een schone taak, deze gelukkige omstandigheid in U te benutten in Uw en ons aller belang. Onderwijs betekent een gezamenlijke inspanning van leerling en leermeester. Ik ben bereid mijn aandeel in deze taak te leveren. Uw belangstelling en ijver mogen mij daarbij steunen.

Ik heb gezegd.