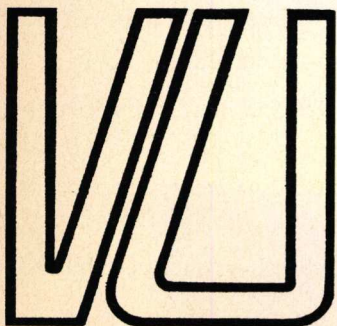


Dr. ir. J. H. van Bommel

leren, kennen en herkennen

REDE uitgesproken bij de aanvaarding van het ambt van buitengewoon hoogleraar in de medische informatica aan de faculteit der geneeskunde van de Vrije Universiteit te Amsterdam op 9 november 1973.



Omslagontwerp:

Mijlpalen in leren, kennen en herkennen

DESCARTES (1664): Beeldvorming op een punt-tot-punt basis

ROSENBLATT (1958): Schematische weergave van het perceptron

ECCLES (1973): De hersenschors met verschillende zenuwcellen

La machine d'arithmétique fait des effets qui approchent plus de la pensée que tout ce que font les animaux; mais elle ne fait rien qui puisse dire qu'elle a de la volonté, comme les animaux.

Blaise Pascal, Pensées

1. INLEIDING

Het wordt zo langzamerhand een heel gedrang om het bed van de patiënt. Het voelen van de pols van de zieke is een multidisciplinaire bezigheid geworden. De ziekenkamer is gevuld met deskundigen die elk het hunne bijdragen tot de beoefening van de geneeskunde. Alle belendende vertrekken zijn in beslag genomen door laboratoria, meet- en onderzoekkamers en behandelruimten. Verbindingen lopen vanaf de patiënt naar een uitgebreid park van apparatuur.

Met recht verwachten velen juist daar een doorbraak in wetenschappelijk kennen en kunnen waar de verschillende disciplines elkaar ontmoeten. In de geneeskunde treft men vele gebieden aan waarop multidisciplinaire samenwerking intens is. Ook de medische informatica is zo'n terrein. Het is niet verwonderlijk dat in dit cybernetische tijdperk, ongeveer dertig jaar geleden begonnen, de analogie tussen denkprocessen en informatieverwerking, tussen hersenen en computers, velen heeft geïntregerd.

Gaarne zal ik de komende minuten benutten om mij rondom het thema *leren, kennen en herkennen* met deze analogie bezig te houden. Wij zullen ons daarbij afvragen wat dit onderwerp inhoudt voor het beoefenen van informatica in de geneeskunde. Het zal blijken dat computers ons in de geneeskunde van grote dienst kunnen zijn en dat ze de mens, in casu de arts, weliswaar niet kunnen evenaren in zijn meest unieke functies, maar hem toch in een inter-actieve samenwerking vermogen te assisteren bij het verzamelen van gegevens, en bij het verwerken van informatie, in zijn beslissen en in zijn handelen.

2. VERANTWOORDELIJKHEID

Reeds lang is men in de preventieve en curatieve zorg vertrouwd met het gebruik van min of meer gecompliceerde apparatuur: een stethoscoop of een

röntgentoestel voor onderzoek, een defibrillator of een lineaire versneller voor therapeutische doeleinden; apparatuur die een verlengstuk betekent van zintuigen en handen van de arts. Apparaten en computers kunnen wel vele taken, maar geen verantwoordelijkheid overnemen. De hedendaagse arts kan daarentegen evenmin verantwoordelijkheid dragen indien hij zich niet geruggesteund weet door specialisten uit eigen en ander vakgebied en niet beschikt over moderne methoden en hulpmiddelen, waaronder rekenapparatuur.

Het computertijdperk luidt vooral een verandering in voor ons denken. In een eeuwenlange technische ontwikkeling kan men zien dat na onze handen en zintuigen nu de menselijke hersenen van hulpmiddelen worden voorzien. Maar net zo min als een microscoop het menselijk oog vervangt, vervangen computers het menselijk denkvermogen.¹ Hoewel computers bepaald denkwerk van ons kunnen overnemen of ons er bij kunnen assisteren, zal men uiteraard nimmer mogen verwachten dat zulke complexe apparatuur aansprakelijk kan worden gesteld voor fout gestelde diagnoses of onjuiste therapeutische suggesties. Maar ook degene die de computerprogramma's schreef is slechts in zeer beperkte mate aansprakelijk. Evenmin als een wiskundige kan overzien wat de consequenties zijn van een door hem opgesteld axioma, of een natuurkundige kan bevroeden wat de gevolgen zullen zijn van een door hem gevonden en geformuleerde natuurwet, zo min kan een programmeur overzien welk „leven” de computer gaat leiden in „symbiose” met zijn programma. Toch houdt dit nog niet in dat de computer ook maar enige vrijheid heeft iets te doen wat de mens niet wil. Wel kan bij onzorgvuldigheid het gevaar van het automatisme dreigen. Het stopcontact is dan nog altijd een simpel laatste redmiddel.

Het spreekt daarom vanzelf dat bij de inzet van computers in de gezondheids- en ziekenzorg een uitgebreide evaluatie aan het klinisch gebruik dient vooraf

1) *D. M. Mackay*, On comparing the brain with machines. *American Scientist*, vol. 42 (1954) 261—268.

te gaan. Cox² merkte onlangs op dat dit nog bijna nimmer het geval is. Een evaluatie klemt des te meer als een arts eigenlijk niet de mogelijkheden en grenzen van zijn nieuwe denkslaaf overziet. Zoutendijk³ schrijft terecht dat het voor een gezonde ontwikkeling van computers, gericht op vergroting van welvaart en welzijn, noodzakelijk is dat middelbaar, hoger beroeps- en wetenschappelijk onderwijs grote aandacht besteden aan computers en algoritmie. Training van toekomstige artsen inzake medische informatica is dus geen luxe, maar noodzaak.

Het duurt nog maar goed 10 jaar en dan is het 1984.⁴ Laat het onze voortdurende zorg zijn Orwell's dreiging te voorkomen. Het lijkt mij daarom toe te juichen als arts en patiënt kunnen profiteren van de vele mogelijkheden van de hedendaagse wetenschap en techniek, informatica en computertechnologie, maar wel dienen we er voor te waken meester over de macht te blijven, opdat niet mogelijkwerijs de macht meester over ons wordt.^{5, 6}

3. *INFORMATIEVERWERKING BIJ MENS EN MACHINE*

In deze tijd van openheid omspoelt de informatie ons. Onze zintuigen en geest zijn niet bij machte dit alles te verwerken. De informatiestroom rondom ons en ook in de geneeskunde is tot dusdanige proporties aangegroeid dat het niet langer mogelijk is de stroom met conventionele middelen in te dammen.

Een groot deel van de activiteiten in de geneeskunde wordt in beslag genomen door het nemen van beslissingen, door diagnostiek. In het diagnostisch bezig zijn onderkent en herkent de getrainde arts situaties

²) J. R. Cox, Digital analysis of the EEG, the blood pressure wave and the ECG. Proceedings IEEE, vol. 60, no. 10 (1972) 1137—1164.

³) G. Zoutendijk, Computers en macht. Wetenschap en Samenleving, 23, no. 1 (1969) 1—8.

⁴) George Orwell, „1984”. New York (1949).

⁵) Romano Guardini, Das Ende der Neuzeit. Hess Verlag, Basel (1950) (als vertaling: De gestalte der Toekomst, Het Spectrum).

⁶) H. van Riessen, Mondigheid en de machten. Buyten en Schipperheyn, Amsterdam (1967).

en ziektebeelden. Een jarenlange medische studie en praktijk vormt de basis voor deze kennis en ervaring. Hij *kent* het ziekteproces en *herkent* de ermee gepaard gaande beelden. Is dit herkennen en beslissen nu zo uniek en specifiek voor een arts? Of zijn de perceptieve vermogens en het intellect van de mens te imiteren op een computer, zodat in laatste instantie ook belangrijke beslissingen aan de machine overdraagbaar zijn? Laten wij van dit vraagstuk eens een aantal aspecten kritisch bezien. Ik stel mij voor na te gaan of er qua bouw en werking een mogelijke overeenkomst bestaat tussen hersenen en computers, voorzover dit de verwerking en opslag van informatie betreft en daarnaast tevens te zien of wij computers kunnen gebruiken voor hulp bij het menselijk herkennen en beslissen.

Het is eigenlijk merkwaardig dat wij ons pas in dit tijdperk van computers en communicatie vol verwondering zijn gaan afvragen tot welke complexe informatieproductie, -opname en -verwerking de mens zelf, meest onbewust, in staat is en hoe weinig wij van dit proces, de psychologie en de neurologie ten spijt, nog maar begrijpen. Het simuleren van denkprocessen door een computer bij het oplossen van problemen doet soms stuntelig aan en berust meestal op veronderstellingen die nog nauwelijks zijn onderzocht. Hoe de werkelijke gedachtengang is bij het stellen van een diagnose is in de meeste gevallen niet of nauwelijks na te gaan. Mandler⁷ toonde aan dat met het terugzoeken van informatie in ons geheugen bij het oplossen van problemen, één of andere hiërarchische werkwijze wordt gevolgd, waarbij de gegevens in groepen lijken te zijn ondergebracht. Wortman⁸ liet zien dat een dergelijke strategie ook wordt gevolgd bij diagnostiek.

Maar pas wanneer men, op welke wijze dan ook, tracht menselijke herkennings- en beslissingsprocessen met een computer te imiteren bemerkt men dat de

⁷) G. Mandler, Organization and memory, in: The psychology of learning and motivation. (K. W. Spence and J. T. Spence, eds) Academic Press N.Y. (1967) 307—372.

⁸) P. M. Wortman, Medical diagnosis: An information-processing approach. Comp. and Biomed. Res., vol. 5, no. 4 (1972) 315—328.

perceptieve mogelijkheden en het denkvermogen van de mens die van de rekenmachine verre te boven gaan. De term „artificial intelligence” — waarmee men een gebied wil aanduiden waarop de computer een van de meest specifieke menselijke eigenschappen, zijn intellect, imiteert — pretendeert dan ook veel meer dan kan worden waargemaakt, ondanks de adjectieve restrictie.

3.1 *Hersenen en computers*

Het nabootsen van perceptieve vaardigheden, laat staan — wat nog belangrijker is — denkprocessen, heeft vooral sedert de komst van computers velen beziggehouden. Hoewel sommigen aanvankelijk hoopen zelfstandig denkende machines te kunnen ontwikkelen, zij het met twee-standen geheugenelementen in plaats van zenuwcellen, werd toch van lieverlede duidelijk dat dit een vermetele droom was. De Amerikaan Von Neumann concludeert dan ook ⁹ dat „the operation of the brain is radically different from the logical circuitry of digital computers”. Tien jaar vóór die uitspraak, in 1949, beweerde McCulloch,¹⁰ iemand die grote invloed heeft gehad op het denken over de computer als intelligentie machine, echter nog: „if it costs a million dollars to beget a man, a nerve cell would not cost a mill.¹¹ Only until grid, cathode and plate can be printed on plastic with molecular films between them, engineers cannot hope to compete with nature”. Die hoop is niet bewaarheid, ondanks het feit dat heden ten dage op een oppervlak kleiner dan de nagel van de pink van een pasgeborene, monomoleculaire laagjes kunnen worden opgedampt, die complexe elektronische computercircuits vormen. Ook een groot denker als Wiener ¹² veronderstelde aanvankelijk een grote overeenkomst tussen hersenen en computers. De grond daarvan was, dat hij meende dat de gehele werkelijkheid te redu-

⁹) *J. von Neumann*, *The computer and the brain*. Yale University Press, New Haven, Conn. (1958).

¹⁰) *W. S. McCulloch*, *The brain as a computing machine*. *Electrical Engineering* (1949) 492—497.

¹¹) Monetaire eenheid (\$ 0.001).

¹²) *N. Wiener*, *Cybernetics or Control and Communications in the animal and the machine*. J. Wiley, N.Y. (1948).

ceren zou zijn tot louter informatie.¹³ Schuurman¹⁴ heeft in zijn recente bespreking van denkers als Wiener gewezen op het feit dat een mens zich juist door zijn vrijheid en verantwoordelijkheid fundamenteel van de machine onderscheidt en daartoe niet valt terug te voeren. Evenmin zullen om dezelfde reden computers tot het niveau van de mens kunnen opklimmen. Door de jaren heen is men, in de confrontatie met de grote problemen die er mee gepaard bleken te gaan, met heel wat minder stelligheid gaan geloven in simulatie van de mens door een machine, laat staan in een overeenkomst tussen hersenen en computers.

Na de aanvankelijke golf van enthousiasme over perceptrons,¹⁵ robots en zichzelf voortplantende machines¹⁶ is men een aanzienlijk bescheidener positie gaan innemen.¹⁷ Minsky¹⁸ sprak dan ook de verwachting uit dat de computer als *aanvulling* van de mens — in een inter-actieve „man-machine” communicatie — voorlopig een grotere kans maakt dan zijn zelfstandige vervanger te worden. De recente ontwikkelingen volgend¹⁹ is dit zeker het geval. Door inter-actieve systemen in plaats van mensen-vervangende computers te gaan gebruiken bij denken en handelen is tenminste de mogelijkheid geschapen dat de verantwoordelijkheid van de mens tot haar recht blijft komen. Tot mijn vreugde zien we dan ook in de laatste jaren meer en meer „computer-assisted” systemen

¹³) N. Wiener, *The human use of human beings*. The Riverside Press, Cambridge, Mass. (1950).

¹⁴) E. Schuurman, *Techniek en Toekomst*. Van Gorcum, Assen (1972).

¹⁵) F. Rosenblatt, *Principles of neurodynamics: Perceptrons and the theory of brain mechanisms*. Spartan Books, Washington DC (1961).

¹⁶) N. Wiener, *God en Golem, Inc.* MIT Press, Cambridge, Mass. (1964).

¹⁷) M. Minsky, *Perceptrons, an introduction to computational geometry*. MIT Press, Cambridge, Mass. (1969).

¹⁸) M. Minsky, *Steps toward artificial intelligence*. Proceedings IRE, vol. 49 (1961) 8—30.

¹⁹) L. N. Kanal, *Interactive pattern analysis and classification systems: a survey and commentary*. Proceedings IEEE, vol. 60, no. 10 (1972) 1200—1215.

voor de interpretatie van medische gegevens ontwikkeld worden, in plaats van volledig geautomatiseerde informatieverwerking waar de mens niet meer aan te pas behoeft te komen. Het is opmerkelijk hier te constateren, dat het de consequentie van het dialectisch materialisme is, juist wel verregaande automatisering van denkprocessen na te streven.¹⁴

3.2 *Informatica*

Het nabootsen van onze hersenen in een computer is blijkbaar geen project met succesvolle afloop, niet in het minst omdat ons de macroscopische hersenwerking grotendeels onbekend is. Is het evenwel met onze computers al niet hetzelfde probleem?

Het is immers zover gekomen, dat wij, zelfs als ontwerpers van computers, ons eigen maaksel niet meer kunnen overzien vanwege zijn enorme complexiteit. Niet in het minst wordt dit veroorzaakt door het feit dat achter deze moderne technologie hele legers van specialisten schuilgaan die in organisatorisch teamverband elk slechts een klein deel van de ontwikkeling voor hun rekening nemen, maar niet bij machte zijn het geheel te omvatten. Hier hebben wij te maken met een kenmerk van de moderne techniek.²⁰

Vanwege de genoemde complexiteit zijn computers en verwerkingsprocessen, programmeertalen en algoritmen²¹ onderwerp geworden van diepgaande wetenschappelijke studie. Het overzicht ontbreekt nagenoeg. Een moderne grote computer is een complex geheel — men zou bijna zeggen: organisme — samengesteld uit allerlei verschillende computers met onderling uiteenlopende taken. Bovendien blijken, bij alle technologische en wetenschappelijke vorderingen op het gebied van de informatica, vele computerprogramma's tamelijk heuristisch van aard te zijn, vol compromissen tussen wat men wil en wat kan. Zij dragen vaak het karakter van een ingewikkeld kookboek-recept. Het is allesbehalve zo, dat wij in staat zijn programma's te schrijven met een dermate grote

²⁰) *H. van Riessen*, De maatschappij der toekomst. Wever, Franeker (1952).

²¹) Afgeleid van al-Khowarazmi, lett.: inwoner van Khwarazm (Arabië). Wiskundige uit de 9e eeuw.

perfectie en een zo hoge graad van „intelligentie”, dat deze in staat zouden zijn na een aanvankelijke leerfase zichzelf te verbeteren en aan te passen aan het probleem. Dit komt vooral omdat onvoldoende bekend is hoe wij mensen zelf onze problemen oplossen,²² iets waarop men ook steeds weer stuit bij de verwerking van medische informatie. Het indiceert dat aan de wetenschappelijke beheersing van computers, programmering en informatieverwerking nog veel dient te gebeuren.

3.3 *Informatie-opslag en communicatie*

Wij spraken reeds kort over een vergelijking tussen hersenen en computers, wat betreft hun werking. Hoe staat het met de overeenkomst tussen levende organismen en computers inzake de opslag en de in- en uitvoer van informatie? Communicatie en informatie-uitwisseling is van groot belang voor het voortbestaan van alle levensprocessen. Leven en informatie horen bijeen. Ook een computer vertoont geen activiteit zonder in- en uitvoerorganen, zonder een of ander geheugen en zonder in communicatie te staan met de mens. Laten wij eens een aantal voorbeelden nagaan van de nauwe relatie die er bestaat tussen informatie en leven.

Het is wel zeker dat de via chromosomen overgebrachte boodschappen, bij de samensmelting van celkernen, de meest omvangrijke informatie is, die een levend wezen in zijn verdere bestaan krijgt ingeprent. Door deze uitwisseling ontstaat immers het nieuwe leven zelf. In zijn verdere bestaan kan geen enkel levend organisme met enige differentiatie, buiten het communicatienetwerk dat ten behoeve van de overdracht van vele boodschappen en signalen wordt gevormd door zenuwstelsel en hormonen. Biotische informatie-opslag is veel compacter dan waartoe wij technisch in staat zijn. De hoeveelheid informatie in een DNA-molecuul is gigantisch — in de orde van enkele honderdduizenden bits, wat betekent dat een dubbele helix ongeveer $10^{60.000}$ verschillende boodschappen kan bevatten, gecodeerd in de vorm van een

²²) *M. Minsky*, Artificial intelligence. *Scientific American*, vol. 215 (1966) 246—260.

viertal basen.²³ Ook onze hersenen hebben de capaciteit voor een zeer dichte informatie-pakking. Voor een wellicht deels moleculaire, deels electro-fysiologische opslag beschikken wij over ongeveer $3 \cdot 10^{10}$ neuronen met 10^{13} onderlinge verbindingen.²⁴ Stark vergelijkt de informatie-opslag in onze hersenen zeer origineel met die in een hologram,²⁵ waarbij elk deel van het interferentiepatroon bijdraagt tot opslag en reconstructie van het beeld. Bij dit alles valt te bedenken dat we een kerngeheugen groot noemen als het 10^7 bits bevat, waarbij elke kern slechts door enkele lees- of schrijfdraden wordt omwonden en er geen kris-kras verbindingen van kern tot kern aanwezig zijn. Inderdaad wordt men stil van verwondering als men het leven zelf vergelijkt met zelfs de meest geavanceerde technische voortbrengselen van ons mensen.

Het is wel duidelijk dat naast opslag ook invoer en uitvoer van informatie een grote rol speelt bij alle levensprocessen. Afwezigheid van informatie kan duiden op bedreiging van het levensproces, zoals verdwijnende EEG-activiteit een indicator kan zijn voor verminderde hersenfunctie, die aan de hand daarvan dan ook diagnostisch kan worden vastgesteld.²⁶ De veelzijdigheid van de menselijke vermogens tot expressie of tot opname van informatie zijn dermate indrukwekkend dat niet te verwachten valt dat met computer in- en uitvoerapparatuur dit niveau te bereiken is. Op onze retina alleen al bevinden zich wel 10^8 receptoren, elk in staat tot de perceptie van 100 fotonen per seconde.²⁷ Een invoersnelheid van 10^{10} bits/sec

²³) *F. H. C. Crick*, The genetic code, I and III. Scientific American, vol. 207, no. 4 (1962) 66—74 and vol. 215, no. 4 (1966) 55—62.

M. W. Nirenberg, The genetic code, II. Scientific American, vol. 208, no. 3 (1963) 80—94.

²⁴) *J. C. Eccles*, The cerebellum as a computer: patterns in space and time. J. Physiology, vol. 229 (1973) 1—32.

²⁵) *L. Stark* en *G. C. Theodoridis*, Information theory in physiology in: Engineering principles in Physiology (*J. H. Brown* en *D. S. Gann*, eds). Academic Press, N.Y. (1973).

²⁶) *M. S. Sadove*, *S. Hatano* en *T. Redlin*, Electroencephalographic monitoring and the anaesthesiologist. Clin. Electroencephalography, vol. 2, no. 3 (1971) 130—135.

²⁷) *H. Zemanek*, Wesen und Grenzen des Automaten. Z. Mod. Rechentechnik und Automation, 6 (1959) 9—16.

zou daarom tot de mogelijkheden behoren, ware het niet dat de informatie op weg naar de visuele cortex, reeds vanaf de retina een enorme reductie en voorbewerking ondergaat.

4. INFORMATIE-ENTROPIE

Uit het voorgaande is wel gebleken dat de mens niet bij machte is zijn intellect te doen vervangen door een machine; voor ons allen een geruststellende gedachte. Toch lijkt het geen twijfel of computers zijn in staat althans delen van ons denken over te nemen. Hoe staat het bijvoorbeeld met het herkenningproces dat in de geneeskunde zo'n belangrijke rol speelt? Kan een computer ons helpen bij diagnostiek en therapie of daarbij de taken van ons overnemen? Alvorens hierover uit te wijden zou ik eerst iets willen opmerken over het *verzamelen* van de informatie die nodig is om diagnostiek te bedrijven.

Het zal duidelijk zijn dat in de keten van meten, diagnostiek en therapie het verzamelen van gegevens met zo groot mogelijke informatie-inhoud van belang is als men toch al veel moeite aan de dag moet leggen om tot zinvolle conclusies te komen. Ter toelichting mag ik in dit verband wijzen op een grondwet uit de informatietheorie, door Shannon 25 jaar geleden geformuleerd²⁸ die wegens haar waarschijnlijkheidskarakter zoveel overeenkomst vertoont met de door Boltzmann geformuleerde tweede hoofdwet van de thermodynamica. Deze wet luidt, in een bepaalde vorm, dat in een gesloten informatiesysteem de entropie slechts kan toenemen. Men kan dit ook vertalen door te zeggen dat de verstaanbaarheid van een boodschap, op zijn weg van zender naar ontvanger slechts kan afnemen en dat er nooit méér informatie aan kan worden onttrokken dan de zender er in vervat heeft. Ook voor de verwerking van medische gegevens heeft dit grote consequenties. Het wil namelijk zeggen dat mens noch computer een tittel of bit meer informatie kan toevoegen aan de gegevens dan daar in principe in vervat is. Het betekent ook dat informatieverwerking niet pas aanvangt zodra de gegevens de computer

²⁸) C. E. Shannon en W. Weaver, *The mathematical theory of communication*. University of Illinois Press (1949).

ingaan, maar dat deze zich uitstrekt tot bij de bron. Want juist daar zullen wij alles in het werk dienen te stellen om een zo laag mogelijke entropie te behalen. Dit kan op twee manieren: door enerzijds boodschappen te verzamelen met grote informatie-inhoud en anderzijds door te zorgen dat de verstoring van de informatie bij verwerving en transport tot het uiterste minimum beperkt blijft.

Een prachtig voorbeeld hiervan levert de observatie van het hart van het ongeboren kind.²⁹ Met behulp van externe, abdominaal geplaatste transducers bevinden wij ons fysisch gesproken ver van het foetale hart. De kans op stoorcomponenten in het signaal — of dit nu acoustisch, elektrisch of ultrasonoor is, doet niet ter zake — is groot, maar vooral ook: het signaal waarom het ons is begonnen is relatief klein. Zodra het tijdens de geboorte evenwel mogelijk is een electrode op het kind zelf te bevestigen, binnen de amnionholte, is althans voor de observator veel leed geleden. Er bevindt zich nu een veel idealer communicatiekanaal tussen het hart van de ongeborene en de waarnemer. Een identieke situatie doet zich voor als wij ten behoeve van de hartritmebewaking van de ernstig zieke de beschikking willen hebben over de P-golf in het electrocardiogram. Een borstafleiding levert in zo'n situatie zelden dermate grote P-toppen op dat deze continu detecteerbaar zijn zonder te veel detectiefouten. Een intra-auriculaire electrode — mits op medische gronden toelaatbaar — aan het uiteinde van een catheter bevestigd is in staat ons te voorzien van atriumcomplexen van hoge amplitude en met geringe storingscomponenten, een methode, verwant aan de registratie van electrogrammen van de bundel van His.³⁰

Bij het gegevens verzamelen is het dus heel belangrijk terug te gaan tot bij de bron van de informatie. Hierdoor is het mogelijk stoorcomponenten te reduceren en de relatie tussen informatie en proces te verbeteren. Overigens geldt ook hier dat men slechts dat-

²⁹⁾ *J. H. van Bommel*, Detection and processing of foetal electrocardiograms. Proefschrift, Nijmegen (1969).

³⁰⁾ *B. J. Scherlag, P. Samet en R. H. Helfant*, His bundle electrogram. A critical appraisal of its uses and limitations. *Circulation*, vol. 46 (1972) 601—613.

gene meet waartoe de instrumenten zijn uitgerust en dat men, in gesprek met de patiënt zelf, slechts een antwoord ontvangt op de vraag die men stelt. Niet alleen een beslissing is subjectief, maar ook de meting is dit altijd in zekere mate.

5. KENNEN EN HERKENNEN

Het zover mogelijk teruggaan naar het proces is niet alleen van belang bij de opname of registratie van de gegevens, het moet ook ons streven zijn bij het ontwikkelen van de verwerkingsmethoden zelf, alle a-priori kennis over het proces daarin te betrekken.

Met name valt daaronder voorkennis omtrent de *werking* van het biotische proces en *empirische* kennis met betrekking tot soortgelijke processen.

Voorbeelden van het gebruik van deze twee soorten kennis zijn er in overvloed. Met name de cardiologie is een van de gebieden waarop vele geavanceerde methoden van informatieverwerking en voorbeelden van beide soorten basiskennis zijn aan te treffen. Zo zien we in de electrocardiologie een historische ontwikkeling van een steeds toenemend gebruik van kennis over het proces en diens gevolg verschillende niveaus van informatieverwerking en toenemende objectivering van de oplossing van de problemen.

Eindhoven begon met een tot op heden nog gebruikelijke wijze van afleiden³¹ die op intuïtie was gebaseerd. De afleid-methodes zijn daarna steeds meer theoretisch uitgediept door benaderingen van Wilson, Burger, Frank, McFee³² en vele anderen. Heden ten dage gebruiken we computers om verbeterde afleidsystemen te definiëren voor diverse ziektecategorieën.³³ Fysische torsomodellen werden vervangen door com-

³¹) *W. Einthoven, G. Fahr en A. de Waart*, On the direction and manifest size of the variations on potential in the human heart and on the influence of the position of the heart on the form of the electrocardiogram. *American Heart Journal*, vol. 40 (1970) 163 (vertaling van *Pflügers Archiv Physiol.*, 150 (1903) 275).

³²) *R. McFee en G. M. Baule*, Research in electrocardiography and magnetocardiography. *Proceedings IEEE*, vol. 60, no. 3 (1972) 290—321.

³³) *R. C. Barr et al.*, Selection of the number and positions of measuring locations in electrocardiography. *IEEE Trans. Biomed. Engineering*, BME-18 (1971) 125—138.

putermodellen.³⁴ Ook de interpretatie van electrocardiogrammen was aanvankelijk op louter empirische leest geschoeid; van het verloop van het elektrisch veld tijdens de hartcyclus werd pas geleidelijk aan iets bekend.³⁵ Eigenlijk bestaat in de neurologie wat betreft het EEG nog dezelfde situatie als een halve eeuw geleden in de electrocardiologie. Intussen zijn daar dankzij fundamenteel onderzoek omtrent het hart, als generator van elektrische dipoollagen, de interpretatiemogelijkheden aanzienlijk groter geworden. De interpretatie van electrocardiogrammen met een computer kan dan ook in principe langs twee verschillende wegen verlopen. De ene weg leidt voornamelijk langs empirische kennis en volgt hierin de gebruikelijke klinische werkwijze op de voet, de andere weg voert langs kennis van het proces van de depolarisatie, gerepresenteerd in een model. Nog anders gezegd zou men kunnen stellen dat men op de eerste weg de mens als *her-kenner* van patronen en op de tweede de mens als *kenner* van fysische en biotische processen ontmoet, al voeren beide routes naar hetzelfde doel.

Laat mij dit verder verduidelijken. Allereerst zullen wij ons begeven op de weg van het herkennen, en daarna die van het kennen volgen.

5.1 *Beelden en patronen*

De mens heeft het vermogen in zich patronen en beelden te ordenen en te rangschikken. Hij herkent gemeenschappelijke trekken, weet te generaliseren, doorziet de orde achter de dingen en vangt vervolgens aan te benoemen en te classificeren. Soms verloopt dit proces logisch deductief zoals bij het determineren van een bloem of het analyseren van vingerafdrukken, dan weer wordt het beeld in één oogopslag herkend zoals bij handgeschreven schrift, een gezicht of een symfonie. De menselijke herkenner is door leren of training in staat achter dit alles soms zelfs de

³⁴) B. M. Horaček, The effect on electrocardiographic lead vectors of conductivity in homogenetics in the human torso. Thesis, Halifax, N.S. (1971).

³⁵) D. Durrer et al., Total excitation of the isolated human heart. *Circulation*, vol. 41 (1970) 899—912.

auteur of de componist te herkennen. Er zijn artsen die een patiënt herkennen aan zijn vectorcardiogram of röntgenfoto. Dit herkenningproces speelt juist in de geneeskunde bij het interpreteren van klinische informatie een grote rol.

Diagnostiek heeft, om deze reden, heel wat, zo niet alles, te maken met het herkennen en interpreteren van beelden, meestal ziektebeelden. Het is daarom, dat de bestudering van diagnostische processen in de geneeskunde zoveel te maken heeft met onderzoek naar de herkenning van patronen en het onderkennen van situaties. Op het gebied van herkennen zijn de meeste mensen meesters en machines dom. Toch is het mogelijk dat computers iets van dat herkenningproces overnemen als wij ze de noodzakelijke voorkennis en criteria bijbrengen in een leerfase. Hoe maken wij mensen zelf van die voorkennis gebruik? Om tot een diagnose te kunnen komen en om de gegevens te kunnen duiden dient men immers voldoende leerstof verwerkt te hebben in de vorm van empirische, fysiologische of pathologische kennis. Bij het nemen van een evenwichtig besluit zal men daarna rekening moeten houden met risico- en kostenfactoren en met de kans op het vóórkomen, de incidentie van de ziekte bij de onderzochte patiënt. Het gebruik van informatie zal bijvoorbeeld verschillend zijn bij een epidemiologisch onderzoek, voor klinisch gebruik of in geval van wetenschappelijk onderzoek.

Welnu, hoe kunnen wij computers inschakelen bij dit herkenningproces?

5.2 *Leren*

Om er achter te komen of bepaalde informatie relevant is voor het vaststellen van de ziekte heeft ook een computer onafhankelijke voorkennis nodig. Wij zouden dit het referentiekader kunnen noemen. Het blijkt nu mogelijk om met een computer aan de hand van deze referentie de gegevens zodanig te sorteren dat ze groepen of categorieën vormen. Wij zorgen daarbij dat de grootheden zo worden getransformeerd, dat informatieverdichtingen of clusters gaan optreden, waarbij dan de wens bestaat dat b.v. afstanden tussen elementen van dezelfde verzameling of groep, gemeten in een of andere Hilbert- of toestandsruimte, klein zijn terwijl de inter-cluster afstand zo

groot mogelijk wordt.³⁶ Op deze wijze helpt de computer ons criteria te vinden voor het onderscheiden van de clusters, de verschillende patronen of ziektebeelden. Men zou dit *leren* door een computer kunnen noemen, al gebeurt dit onder geleide van de mens. Het kan gebeuren dat de parameters voor de verschillende groepen dermate significant verschillen dat we zonder een onafhankelijke standaard als referentie te gebruiken de clusters reeds kunnen vormen. Dit is b.v. het geval als we chromosomen in klassen willen indelen naar karyotype³⁷ of ventrikelcomplexen in een electrocardiogram naar vorm.³⁸ Bij veel ziekteklassen overlappen de verdelingen elkaar echter zover, dat men om enig onderscheid te kunnen maken tussen de verschillende beelden, andere, onafhankelijke informatie en voorkennis over het proces waarvan de gegevens afkomstig zijn, erbij moet halen. Het vinden van zo'n referentiekader is, in tegenstelling tot de situatie bij vele technische processen, in de menswetenschappen en vooral in de geneeskunde lang niet gemakkelijk. Men kan de relevante gegevens vaak niet bereiken en moet volstaan met indirecte informatie over het proces. Dit is een van de redenen, dat de relatie tussen gegevens en ziekte soms bedroevend slecht is. Het is daarentegen vaak de redundantie in de klinische informatie en de mogelijkheid meervoudige onafhankelijke observaties van het ziekteproces te verrichten, dat een diagnose meestal met redelijk grote zekerheid kan worden gesteld.

Een bijzonder vruchtbaar concept blijkt het idee de patiënt op te vatten als zijn eigen referentiestandaard. Wij speuren dan niet alleen naar afwijkingen van een algemeen patroon, maar gaan verschillen na in de informatie, die in de loop van de tijd van dezelfde patiënt wordt verkregen. Het is genoegzaam aange-toond dat zo'n individuele referentiestandaard met name van belang is bij follow-up bevolkingsonder-

³⁶) G. S. Sebesteyn, Decision-making processes in pattern recognition. The MacMillan Comp., N.Y. (1962).

³⁷) R. S. Ledley, H. A. Lubs en F. H. Ruddle, Introduction to chromosome analysis. Comput. Biol. Med., vol. 2, no. 2 (1972) 107—128.

³⁸) J. H. van Bommel en S. J. Hengeveld, Clustering algorithm for QRS and ST-T waveform typing. Comp. and Biomed. Res., vol. 6, no. 5 (1973).

zoek,³⁹ bij herhaalde ziekenhuisopname⁴⁰ en voor trenddetectie bij intensieve patiëntenbewaking.⁴¹ Het voornaamste probleem is hoe zulke individuele referentiestandaards te bewaren. Zo zou de opslag van *alle* electrocardiografische informatie gedurende iemand's leven via het 12-afleidingen systeem opgenomen, ongeveer $5 \cdot 10^{14}$ bits vergen — een datareductie procedure als AZTEC⁴² vermindert dit slechts met een factor 5 à 10 —; bij 8 simultane EEG-afleidingen zou dit neerkomen op nog eens driemaal zoveel. Het is duidelijk dat voor de afhandeling van deze bandjir een enorme informatiereductie noodzakelijk is en dat van permanente opslag geen sprake is. We kunnen slechts hier en daar een greep doen uit de informatiestroom en dienen deze snel te verwerken. Gelukkig worden wij bij deze reductie geholpen door het quasi-repetitieve karakter van de informatie en de redundantie in de gegevens zelf.

Om de diverse patronen of ziektebeelden met een computer van elkaar te kunnen onderscheiden, staan ons diverse soorten wiskundig gereedschap ten dienste. Voor statistische scheidingsmodellen wordt gebruik gemaakt van de regel van Bayes, discriminant analyse, niet lineaire methoden en dergelijke.⁴³ Ook worden wel waarheidstabellen of logische beslissingsbomen gebruikt voor classificatiedoeleinden.

Het *aantal* modelparameters — men zou ook kunnen zeggen: vrijheidsgraden — mag niet al te groot wor-

³⁹) E. Simonson en A. Keys, Repeat variation of electrocardiogram, blood pressure and bloodcholesterol within one hour and six months. Brit. Heart Journal, vol. 32 (1970) 660—664.

⁴⁰) E. E. van Brunt, The Kaiser-Permanente medical information system. Comp. and Biomed. Res., vol. 3 (1970) 477—487.

⁴¹) C. A. Swenne, J. H. van Bommel en M. Hermans, Pattern recognition for ECG monitoring: An interactive method for the classification of ventricular complexes. Comp. and Biomed. Res., vol. 5 (1973) 150—160.

⁴²) J. R. Cox, F. M. Nolle, H. A. Fozzard en G. C. Oliver, AZTEC, a preprocessing program for real-time ECG rhythm analysis. IEEE Trans. Biomed. Engineering, BME-15, no. 2 (1968) 128—129.

⁴³) G. Nagy, The state of the art in pattern recognition. Proceedings IEEE, vol. 56, no. 5 (1968) 836—862.

den en het is vooral het *soort* ingangskennmerken voor het model dat belangrijk is. Helaas is het juist de vloeiende overgang tussen en de combinatie van verschillende beelden, die patroonherkenning en diagnostiek vaak zo moeilijk doen zijn. Verder is het de biotische variabiliteit en het gebrek aan definities in de geneeskunde die het lastig maken in grensgevallen tot een juiste interpretatie te geraken.

5.3 *Herkennen*

Nadat de criteria gedurende de leerfase zijn bepaald, is het zaak het classificatiemodel aan een test te onderwerpen. Laten wij eens zien hoe de resultaten zijn van een aantal classificatieproblemen.

Ledley zegt terecht over automatische chromosoomherkenning,⁴⁴ dat een fout van 1% in alle bepalingen — gering, nietwaar? — volkomen onacceptabel is, omdat dan bij 46 menselijke chromosomen gemiddeld in bijna de helft van de bepalingen een fout zal optreden. Het blijkt in de regel meer moeite te kosten om van 1% naar 1‰ fouten te komen, dan van 50% naar 1%. Zulke problemen op het gebied van patroonherkenning zijn uiteraard niet specifiek voor de geneeskunde. Bij het herkennen van handgeschreven cijfers⁴⁵ ontmoet men b.v. dezelfde moeilijkheden. Men kan automatisch nog niet veel meer dan ongeveer 91% van zulke cijfers correct herkennen bij 3% absolute fouten, wat bij gironummers van 6 of 7 cijfers 20% totaal fouten geeft. Voor de overige 6% geldt dan tenminste nog de uitspraak „onbekend”, waarvoor men de mens te hulp kan roepen. Bij automatische ECG-analyse ligt het best haalbare cijfer van correct positieve plus correct negatieve interpretaties in de buurt van 70%.⁴⁶ Zelf vonden wij⁴⁷ dat het in

⁴⁴) R. S. Ledley, Editorial. *Comput. Biol. Med.*, vol. 2, no. 2 (1972) 97—98.

⁴⁵) M. Beun, Een flexibele methode voor het machinaal lezen van geschreven cijfers. *Philips Technisch Tijdschrift*, 33, no. 4 (1973) 93—105.

⁴⁶) J. J. Bailey *et al.*, Unreliability of computer programs in interpreting electrocardiograms. *Circulation*, vol. 46, suppl. II (1972) 8.

⁴⁷) J. L. Talmon en J. H. van Bommel, The estimation of the „state” of the heart by means of electrical surface information. *Proceedings 3rd IFAC Symposium, North Holland Publishing Comp., P. Eykhoff, ed. (1973) 243—246.*

zulke gevallen niet zozeer het *classificatiemodel* is, dat zulks veroorzaakt, maar dat het vooral de *informatie-inhoud* van de ingangsgegevens is — d.w.z. de koppeling tussen gegevens en proces enerzijds en hun verhouding tot de verstoringen anderzijds — die de opbrengst van de herkenning en interpretatie beïnvloedt, een waarneming die door Croft⁴⁸ bevestigd werd in het geval van diagnostiek van twintig verschillende types leverziekten. Uit dit onderzoek blijkt dat het percentage correct gediagnostiseerde gevallen varieert van 51 tot 64 procent, ongeacht of de gebruikte computermodellen veel of weinig rekentijd vergen. Bij een totaal van 50 symptomen bleek toepassing van de beste methode op een materiaal van 2000 patiënten toch nog 26 minuten rekentijd te vragen op een gigant als de CDC 6400. Of artsen tot betere diagnostiek in staat zijn is geen vraag. Helaas is dit niet altijd het geval. Onderzoek van Simonson⁴⁹ wees uit dat door tien beoordelaars slechts 49% van een materiaal van vectorcardiogrammen juist was gediagnostiseerd. Lusted vermeldt⁵⁰ dat bij het beoordelen van borstfoto's op tuberculose door 50 verschillende waarnemers, de uitkomsten in 39% van de gevallen fout negatief waren.

Het is juist in het *inter-actieve* samenspel tussen moderne informatieverwerkende apparatuur, die objectief, snel en consistent werkt, complexe berekeningen kan uitvoeren en over een groot kris-kras toegankelijk geheugen beschikt en de mens, die het vermogen heeft situaties te doorzien, begaafd is met intuïtie en creativiteit, het unieke van het algemene kan onderscheiden en verantwoordelijkheid weet te dragen voor beslissingen, dat het mogelijk wordt de herkenning van patronen en beelden alsmede het diagnostisch proces in vergaande staat te objectiveren en te optimaliseren. Door de computer te benutten waar de mens in zijn vermogens tekortschiet, zijn we in staat om de geneeskunde vooruit te helpen.

⁴⁸) D. J. Croft, Is computerized diagnosis possible? *Comp. and Biomed. Res.*, vol. 5 (1972) 351—367.

⁴⁹) E. Simonson *et al.*, Diagnostic accuracy of the vectorcardiogram and electrocardiogram. *American Journal of Cardiology*, vol. 17 (1966) 829—878.

⁵⁰) L. B. Lusted, *Introduction to medical decision-making*. Thomas, Springfield (1968).

5.4 *Kennen*

Op de andere weg die ik reeds noemde, is het vooral de theoretische voorkennis over de proceswerking die ten grondslag ligt aan de informatieverwerking. Fraaie voorbeelden daarvan vinden wij waar de biotische processen in fysische, chemische of mathematische termen en vooral daar waar zij als regelsystemen kunnen worden beschreven. Die proceskennis wordt dan veelal vastgelegd in de vorm van formules, algoritmen, stroomschema's of, algemeen gesproken, mathematische modellen en analogons. In de radiotherapie,⁵¹ in de longmechanica,⁵² bij de bestudering van hart en circulatie,⁵³ bij biologische transportverschijnselen zoals in de nucleaire geneeskunde,⁵⁴ of bij biochemische⁵⁵ en farmacologische⁵⁶ processen wordt overvloedig gebruik gemaakt van dergelijke modellen, al dan niet geprogrammeerd op digitale, analoge of hybride computers. Het is vooral ook in de medische research dat de modelbenadering zijn vruchten afwerpt, omdat het daar soms mogelijk is reeds bestaande kennis via een model compact te beschrijven, de onderlinge samenhang vast te leggen en de processen te bestuderen zonder dat hier steeds dierexperimenten mee gemoeid behoeven te zijn. Door de parameters van zulke modellen te variëren kunnen wij, evenals bij de besproken classificatiemethoden, de invloed nagaan op uitgangsvaariabelen, systeem-

⁵¹) *J. van de Geyn*, Computational methods in beam therapy planning. *Comp. Programs in Biomedicine*, vol. 2 (1972) 153—168.

⁵²) *A. C. Jackson* en *H. T. Milhorn*. Digital computer simulation of respiratory mechanics. *Comp. and Biomed. Res.*, vol. 6 (1973) 27—56.

⁵³) *J. E. W. Beneken*, A mathematical approach to cardiovascular function. Proefschrift, Utrecht (1965).

⁵⁴) *D. W. Hill*, *M. E. Valentinuzzi*, *T. Pate* en *F. D. Thompson*, The use of a compartmental hypothesis for the estimation of cardiac output from dye-dilution curves and the analysis of radiocardiograms. *Med. and Biol. Engineering*, vol. 11 (1973) 43—53.

⁵⁵) *H. C. Hemker* en *B. Hess* (eds), Analysis and simulation of biochemical systems. *Symp. of the Fed. of Europ. Bioch. Soc.*, vol. 25. North Holland Publishing Comp., (1972).

⁵⁶) *L. B. Sheiner*, *B. Rosenberg* en *K. L. Melmon*, Modelling of individual pharmacokinetics for computer-aided drug dosage. *Comp. and Biomed. Res.*, vol. 5 (1972) 441—459.

toestand en beslissingsmethoden. Ook hier is het mogelijk in interactie met computers modellen te ontwikkelen, te testen en toe te passen.⁵⁷

Laten wij op onze tweede weg wederom een voorbeeld kiezen uit de electrocardiologie. Voor het ontstaan van het electrocardiogram is het mogelijk een computermodel te ontwikkelen, gebaseerd op fysiologische experimenten. Eigenlijk bestaan er op zijn minst twee verschillende groepen modelvormen voor dit probleem.⁵⁸ Het zogenaamde voorwaartse en het inverse model, waarbij het tweede zich weer laat onderscheiden in een meer anatomisch gefundeerd model⁵⁹ en een mathematisch-fysische benadering.⁶⁰ Met het voorwaartse model^{61, 62} wordt beoogd het proces van de depolarisatie te simuleren en beter te leren kennen. Het is gebaseerd op anatomische, fysische en electrofysiologische kennis van hart en thorax en het houdt rekening met de diverse compartimenten in de thorax als volumegeleider. Het doel is oppervlaktepotentiaalveranderingen, gegenereerd door elektrisch geëxciteerde hartspiervezels, te simuleren. Door het inverse model⁵⁹ tracht men juist het omgekeerde te bewerkstelligen. Men gaat daarbij vanaf de oppervlaktepotentiaalverschillen terugrekenen tot het veld in de hartspier zelf. In feite is de oplossing van dit probleem — zoals door Green algemeen aan-

⁵⁷⁾ *G. F. Groner, R. L. Clark, R. A. Berman en E. C. Deland*, BIOMOD: an interactive computer graphics system for modelling. The Rand Corporation, R-617-NIH, (1971).

⁵⁸⁾ *D. A. Brody en T. Sato*, Volume conductors and the electrocardiographic generator. Proceedings XIth Int. Vectorcardiography Symposium, N.Y. North Holland Publishing Company, (1970).

⁵⁹⁾ *M. S. Lynn, A. C. L. Barnard, J. H. Holt en L. T. Sheffield*, A proposed method for the inverse problem in electrocardiology. *Biophys. J.*, vol. 7 (1967) 925—945.

⁶⁰⁾ *D. B. Geselowitz*, Multipole representation for an equivalent cardiac generator. *Proceedings IRE*, vol. 48 (1960) 75—79.

⁶¹⁾ *R. H. Selvester, J. C. Solomon en T. L. Gillespie*, Digital computer model of a total body electrocardiographic surface map. *Circulation*, vol. 38 (1968) 684—690.

⁶²⁾ *H. J. Ritsema van Eck*, Digital computer simulation of cardiac excitation and repolarisation in man. Thesis, Dalhousie University, Halifax, N.S. (1972).

getoond ⁶³ — ongedefinieerd tenzij van te voren voldoende voorkennis in het model wordt ingebouwd. Het blijft echter — zoals bij alle gegeneraliseerde modellen — moeilijk dit toe te passen voor de individuele patiënt. Dat komt niet zozeer doordat dit probleem principieel onoplosbaar zou zijn, maar het is met name de grote inter-individuele variabiliteit, de verschillen van patiënt tot patiënt, die er oorzaak van is dat klinische toepassingen van dit soort modellen niet spoedig te verwachten valt, tenzij wij via een achterdeur toch weer andere informatie en kennis toevoeren, waardoor eigenlijk het model overbodig wordt.

Een probleem als dit is er een duidelijk voorbeeld van dat wij met computers weliswaar informatie kunnen transformeren, maar geen nieuwe informatie kunnen genereren. Door de transformatie op de oorspronkelijke gegevens, via een statistisch model of een analogon, maken wij het mogelijk op een andere wijze tegen deze informatie aan te kijken, waardoor we soms in staat zijn nieuwe relaties te vinden of ons inzicht te verscherpen. Alvorens tot die transformatie over te gaan of informatie te gaan verwerken dienen we tenminste enige a-priori kennis in de vorm van een redelijke hypothese te bezitten.

Een laatste voorbeeld van het gebruik van a-priori kennis moge dit verder verduidelijken. De interpretatie van informatie, afkomstig van een proces wordt meestal vergemakkelijkt, wanneer wij beschikken over een natuurlijk of een kunstmatig opgedrukt ingangssignaal voor het betrokken systeem. Dit helpt ons om zoiets als een overdrachtsfunctie te bepalen of om het probleem van de storing te verminderen. Voorbeelden van *natuurlijke* ingangssignalen zijn de R-toppen in het ECG, b.v. te gebruiken voor storingsvermindering bij foetale electrocardiografie,⁶⁴ arbeidsvectorcardiografie⁶⁵ of patiëntenbewaking.⁴¹ Voorbeelden van

⁶³) *D. E. Rutherford*, Vector methods. Oliver and Boyd, London (1957).

⁶⁴) *J. H. van Bommel* en *H. van der Weide*, Detection procedure to represent the foetal heart rate and electrocardiogram. IEEE Trans. on Biomed. Engineering, BME-13, no. 4 (1966) 175—182.

⁶⁵) *L. T. Sheffield*, On-line analysis of the exercise electrocardiogram. Circulation, vol. 40 (1969) 935—944.

kunstmatige ingangssignalen zijn gemoduleerd licht bij het EEG⁶⁶ onderzoek of een atrium gangmaker bij hartcatherisatie.⁶⁷

De weg van het kennen volgend, werd opnieuw duidelijk dat computers de mens assisteren in zijn denken. Zij vervangen hem niet in zijn wetenschappelijke of klinische bezigheid.

6. ZIEKENHUISINFORMATIESYSTEMEN

Uit het hiervóór beweerde zou het mogelijk zijn te concluderen dat medische informatieverwerking altijd en alleen maar gericht is op het nemen van beslissingen. Welnu, dat is juist gedacht. Er kunnen afhankelijk van de consequenties van deze beslissingen echter wel verschillende *niveaus* van beslissen en daaraan gerelateerde verantwoordelijkheden worden onderscheiden. Niet alle beslissingen in de geneeskunde en de gezondheidszorg liggen immers op het gebied van leven of dood. Naarmate een beslissing evenwel meer de directe patiëntenzorg betreft, weegt de verantwoordelijkheid zwaarder.

De ogenblikkelijke verantwoordelijkheid voor beslissingen speelt immers een grotere rol bij intensieve bewaking dan bij administratieve verwerking van patiëntengegevens. Er zijn dus diverse niveaus van verantwoordelijkheid en mede daarom zou men mogen spreken van niveaus van informatieverwerking. Het is goed op dit onderscheid nog even in te gaan.

Sprekend over informatieverwerking in de geneeskunde is het mogelijk om tenminste twee verschillende informatiestromen, elk met een zeer brede bedding, te onderscheiden: de ene betreft de patiënt — waarover wij reeds spraken — en de andere het ziekenhuis als bedrijf. Deze twee stromen raken elkaar op velerlei punten. Zodra immers de patiënt wordt opgenomen worden reeds gegevens verzameld, van belang voor beide gebieden. Zijn leeftijd en geslacht zijn b.v. van belang zowel voor de administratie als voor latere

⁶⁶) *F. H. Lopes da Silva*, Dynamic characteristics of visual evoked potentials. Proefschrift, Utrecht (1970).

⁶⁷) *G. E. Sowton, R. Balcon, D. Cross en M. G. Frick*, Measurement of the angina threshold using atrial pacing: a new technique for the study of angina pectoris. *Cardiovascular Res.* vol. 1 (1967) 301—307.

diagnostiek; bij het maken van een röntgenfoto wordt de verrichting in rekening gebracht, maar de foto gaat naar de verantwoordelijke arts.

Men zou mogen zeggen dat het ziekenhuis als bedrijf een economisch-administratief doel heeft, zonder winstbejag, en dat bij de directe patiëntenzorg onder meer bewogenheid met de medemens en ethische motieven een rol spelen. Waar de laatste zaken in zicht komen lopen ook computers warm, maar dan om reden dat ze met kwantificering van deze begrippen geen raad weten. Informatieverwerking met een boekhoudkundige doelstelling is dan ook beter te realiseren, dan wanneer de mens zelf in het geding is, als arts dan wel als patiënt. Dit blijkt met name uit het feit dat de administratieve automatisering van het ziekenhuis steeds meer veld wint, terwijl toepassingen in de klinische sfeer met zeer veel moeite kunnen worden gerealiseerd. In het kort wil ik op het eerste terrein nog ingaan, daar wij reeds uitvoerig spraken over het klinisch beslissen en handelen.

Er is reeds jaren een aantal ontwikkelingen gaande gericht op de beheersing van de informatiestromen in het ziekenhuis. Het is met name om economische motieven dat dergelijke ontwikkelingen werden ingezet, daar er schattingen zijn dat 25 tot 30 procent van de kosten in de ziekenzorg gerelateerd zijn aan de verwerking van informatie over patiënt en ziekenhuis.⁶⁸

Aangezien in een ziekenhuis in het klein vrijwel alle aspecten te vinden zijn van de moderne maatschappij, is het niet verwonderlijk dat de integrale afhandeling van ziekenhuisinformatiestromen een probleem van grote omvang is.

Technisch en organisatorisch gezien vallen onder zo'n totaal ziekenhuisinformatiesysteem b.v. in- en uitvoer van patiëntengegevens; opslag daarvan in een databank; sorteren en terugzoeken; de gecodeerde patiëntengeschiedenis; het communicatiesysteem in het ziekenhuis; koppeling met perifere, kleinere verwerkings-

⁶⁸) *M. F. Collen*, General requirements for a medical information system. *Comp. and Biomed. Res.*, vol. 3 (1970) 393—406.

systemen die op een meer specifiek doel zijn gericht; bedrijfsroutines voor het functioneren van het ziekenhuis en vele andere aspecten. Het doel van zulke systemen is, dat arts en patiënt elkaar op het juiste ogenblik en op de afgesproken plaats ontmoeten, zonder tijdverlies voor beiden, waarbij een zo efficiënt mogelijke informatie-uitwisseling dient plaats te vinden. Alle gewenste gegevens over de patiënt dienen dus op alle plaatsen waar dit nodig is, snel opvraagbaar te zijn voor diagnostische doeleinden en nieuwe gegevens moeten steeds toegevoegd kunnen worden. Het is de ervaring van groepen die reeds vroeg aan de ontwikkeling van totaalsystemen zijn begonnen, dat men weliswaar delen van een integraal systeem operationeel heeft kunnen maken⁶⁹ maar dat van een compleet ziekenhuisinformatiesysteem vooralsnog geen sprake is. In het ziekenhuis met intens intermenselijk verkeer is het naar mijn mening vooral de menselijke vrijheid en helaas ook willekeur en de daaraan inherente dynamische organisatievorm die de ontwerpers van ziekenhuisinformatiesystemen parten speelt. Het valt niettemin te verwachten dat geleidelijk aan systemen van bescheiden omvang gemeengoed zullen worden binnen het ziekenhuis en voor de gezondheidszorg. Zulke systemen zullen de efficiëntie van het ziekenhuis vergroten, de taak van de arts verlichten en vooral de patiënt ten goede komen.

7. SLOTOPMERKINGEN

Het is aanlokkelijk om nog enige tijd voort te gaan met het belichten van de sterke en zwakke kanten van medische informatieverwerking. Het is echter reeds al te lang een alleenspraak, al heb ik in het voorgaande getracht een pleidooi te voeren voor interactief bezig zijn. Voor zulke inter-actie hoop ik evenwel in de toekomst nog voldoende tijd in te ruimen. U hebt begrepen dat informatieverwerking in de geneeskunde nuttig en nodig is. Het is tevens boeiend en interessant, niet in het minst door de typisch menselijke aspecten en het feit dat het om informatie gaat afkomstig van levende organen, waarvan de toestand

⁶⁹) R. G. Browe en W. Brewer, *Hospital activity analysis*. Butterworth, London (1973).

met behulp van die informatie kan worden bepaald en gevolgd en op grond waarvan handelend kan worden opgetreden.

Wij hebben gesproken over denken en computers, en over de consequenties van informatieverwerking voor interpretatie, diagnostiek en handelen in de geneeskunde. Het bracht ons tot tal van opmerkingen die uitgingen boven programmeren en rekenen, signalen en patronen. De conclusie dat mensen en niet machines verantwoordelijk zijn, de gedachte dat ons denken niet door computers wordt geëvenaard en de gevolgtrekking dat informatieverwerking ook voor de geneeskunde veel kan betekenen mits we bij al ons generaliseren de unieke patiënt niet uit het oog verliezen — dit alles is uiteraard niet „waardenvrij”.

Wetenschap en techniek zijn immers geen neutrale aangelegenheden: ze worden bedreven door ons, mensen, die de vrijheid hebben ze ten goede, zinvol, of ten kwade aan te wenden. Vooral ook het besef, dat wij hierdoor bezig zijn in Gods wonderlijke schepping moet ons beheersen. De ontwikkeling van wetenschap en techniek heeft in de laatste decennia velen intens aangezet tot het nadenken over de werkelijkheid rondom ons, over de cultuur waarin wij leven, over het milieu waarin wij ademen en vooral: over de mens zelf, zijn denken en doen. De Vrije Universiteit mag zich gelukkig prijzen dat uit haar midden een wijsbegeerte is opgebloeid ⁷⁰ die vanuit het christelijk geloof een wijs perspectief biedt op de problemen van de hedendaagse mens, de cultuur en de wetenschap. Het is van het grootste belang de vruchten van deze wijsbegeerte te benutten bij onze wetenschapsbeoefening en bij de toepassing van modern denkgereedschap, zeker als dit plaatsvindt ten behoeve van de geneeskunde.

⁷⁰) *H. Dooyeweerd, A new critique of theoretical thought.* H. J. Paris, Amsterdam (1958).

Geachte leden van het Bestuur van de Vereniging voor Wetenschappelijk Onderwijs op Gereformeerde Grondslag,

Ons contact begon schriftelijk. Daarbij is het ook gebleven. U schonk mij Uw vertrouwen door mij te benoemen tot buitengewoon hoogleraar in de Medische Informatica. Ik hoop met Gods hulp dit vertrouwen niet te beschamen.

Dames en Heren, leden van het College van Bestuur en de Universiteitsraad,

U hebt het gehoord: beslissen is menselijk. Voor de Universiteit bent U dus niet vervangbaar, staande aan de top van de, weliswaar gedemocratiseerde, beslissingspyramide. Moge het U daarbij aan wijsheid niet ontbreken. Al zal ik geen misbruik maken van Uw tijd, mag ik, naar ik hoop, voor een jonge afdeling in voorkomende gevallen een beroep op U doen.

Dames en Heren van Bestuur en Raad van de Faculteit der Geneeskunde,

Juist vóór U in nieuwe samenstelling bijeenkwam, had het Bestuur-Oude-Stijl het voorstel voor mijn benoeming gedaan. Dat U mij niettemin zo positief hebt begroet, getuigt van Uw voorkeur voor continuïteit in het beleid. Dat U daadwerkelijk meedenkt en meehelpt bij het opzetten van de afdeling Medische Informatica, waardeer ik zeer.

Hooggeleerde Janssens, hooggeleerde Stolte,

Ik ken bijna geen specialisme binnen de geneeskunde, dat zo veelzijdig is als de verloskunde. Binnen het tijdsbestek van een jaar maken wij de wording en komst mee van een volledige mens. Veel binnen dit wordingsgebeuren is nog onbekend. Vandaar dat de hechte samenwerking met de medewerkers van de Afdeling Verloskunde zo boeiend is. Uit mijn rede is voldoende mijn eerbied voor en verwondering over

het leven naar voren gekomen. Ik kan niet verhelen met grote zorg te zijn vervuld over de mateloze minachting die onze maatschappij aan de dag meent te moeten leggen voor wordend jong leven, dat wij in geen van zijn unieke functies met onze beste technische verworvenheden vermogen te evenaren. Het stemt mij tot dankbaarheid in de contacten met U deze eerbied en verwondering steeds weer te mogen opmerken.

Zeer geachte collegae van de Faculteit der Geneeskunde,

Met velen Uwer had ik reeds lange tijd een min of meer intensief contact. Wat mij betreft wordt onze inter-actie in de toekomst nog intenser. Ik hoop echter wel dat U mij daarbij ook nog gelegenheid schenkt enig opbouwwerk te verrichten.

Zeer geachte Bekkering,

Dat ik U van deze plaats mag toespreken doet mij bijzonder veel genoegen. Als Directeur van het Medisch-Fysisch Instituut TNO hebt U kans gezien om een laboratorium op te bouwen, dat uniek genoemd mag worden en dat binnenkort zijn 25-jarig bestaan mag vieren. Wat mij steeds weer treft is Uw open oog voor nieuwe ontwikkelingen en vraagstellingen in de geneeskunde en de gezondheidszorg en de wijze waarop U Uw medewerkers weet te motiveren daarop te reageren. Ik prijs mij gelukkig medewerker van dit laboratorium te zijn — zij het voor een verminderd deel van mijn tijd. Ik ben U en het Bestuur van de Gezondheidsorganisatie TNO dankbaar dat U mij toestaat het andere deel van mijn tijd ter beschikking te stellen van de Vrije Universiteit.

Hooggeleerde Van Riessen, hooggeleerde Schuurman,

Van U heb ik geleerd wat filosoferen inhoudt voor ons cultureel en wetenschappelijk bezig zijn; vooral ook, dat het erom gaat dóór te vragen naar de Bron

van de wijsheid. Ook bij het beoefenen van medische informatica kan men niet om de zin-vraag heen. Ik verheug mij erop, mij samen met U hierin verder te verdiepen.

Hooggeleerde Van de Riet,

Voor de geneeskunde is informatica geen doel in zichzelf, maar hulpwetenschap. Ik ben blij dat ik U heb leren kennen als iemand die grote belangstelling heeft voor toepassing van de informatica op velerlei terreinen. Het staat vast dat de wiskundige fundering van de informatica van groot belang is voor een vruchtbare toepassing. Ik ben er zeker van dat onze regelmatige contacten hiertoe positief bijdragen.

Zeer gewaardeerde medewerkers van de Groep Fysiologische Signaalverwerking van het Medisch-Fysisch Instituut TNO,

De band die wij met elkaar hebben in ons werk en persoonlijk contact betekent voor mij enorm veel. Ik hoop dat het tot de mogelijkheden behoort iets van de geest en het enthousiasme van onze Groep over te dragen op de jonge loot van deze Faculteit. U mag zich verzekerd weten van mijn voortdurende steun aan onze gezamenlijke onderzoeken.

Lieve Vader en Moeder, dierbare An en Christine,

Dat jullie hier vandaag bij bent, vervult mij met grote dankbaarheid. Zodra er apparatuur op de markt komt die mensen kan vervangen, beloof ik altijd thuis te zullen zijn. De kans hierop is helaas en gelukkig niet groot. Ik hoop dat jullie begrip dat wel is.

Dames en Heren studenten,

Onze inter-actie moet nog grotendeels komen. Ik heb getuigd van meer belangstelling dan alleen voor mijn vakgebied. Ik weet dat voor U hetzelfde geldt, en hoop daarom op Uw positief-kritische bijdrage.

Zeer geachte Toehoorders,

Ik dank U zeer voor Uw aanwezigheid. U hebt groot geduld betoond door U dit uur passief op te stellen. Graag nodig ik U nu uit tot inter-actie.