

WATER, IETS BIJZONDERS

REDE

uitgesproken ter gelegenheid van
de 56ste Dies Natalis
op 8 maart 1974

door

Prof.dr.J.Lyklema

Landbouwhogeschool - Wageningen

WATER, IETS BIJZONDERS

Misschien is het goed de onderwerpskeuze en wijze van presentatie van de nu volgende voordracht vooraf kort bij u te motiveren.

In vroegere jaren was het gebruikelijk dat de secretaris der Senaat ter gelegenheid van de dies der Landbouwhogeschool een rede uitsprak over zijn vakgebied. De Senaat is ondertussen weggedemocratiseerd, inclusief zijn secretaris.

De diesviering is thans een zaak van het College van Dekanen, waarvan ik deel uitmaak. Toen mij gevraagd werd deze keer de diesvoordracht te verzorgen gingen de gedachten uit naar een onderwerp dat voldoende in de algemene belangstelling zou staan om een gemengd feestelijk publiek te interesseren, doch dat anderzijds de gelegenheid zou bieden iets door te geven over de werk- en denkmethoden van de chemicus, en van de fundamentele natuuronderzoeker in het algemeen. Vandaar de titel: "Water, iets bijzonders". Een der meest voorkomende stoffen blijkt, fysisch-chemisch gezien, in bijna alle opzichten iets aparts te zijn. Een intrigerende paradox, waarover ik in het komende halve uur een en ander wil zeggen.

Overigens wil ik u er wel op wijzen dat het iets zeer bijzonders is een hoogleraar in toga een voordracht te

zien houden. Dit verschijnsel is dermate uitgestorven dat u er alleen nog maar afbeeldingen van kan vinden in publikaties van progressieve studenten.

Water is inderdaad de facto de meest voorkomende chemische verbinding. Voorbeelden om dit te illustreren zijn niet moeilijk te vinden. Van dat deel der aarde dat bekend staat onder de naam hydrosfeer neemt het 83,5% voor zijn rekening (oceanen, rivieren, grondwater). In de lithosfeer (de "vaste" aardkorst) bevindt zich nog eens 15% gebonden water. Het in de levende natuur voorkomende water is van het totaal maar een uiterst bescheiden fractie, ondanks het feit dat alle levende wezens, de mens inclusief, voor de grootste helft uit water bestaan, sommigen zeer tegen hun zin. Die grootste helft is dan zo'n 65% in volwassenen, tot meer dan 90% in een één maand oud embryo. Volwassenen zijn dus droger dan babies. Ze kunnen dan ook minder uit hun duim zuigen. Water is een dermate vertrouwde vloeistof dat, ook als het woord "water" wordt weggelaten het toch aan iedereen duidelijk is dat het daarover gaat. Denkt u maar eens aan "het loopt de spuigaten uit". Niemand denkt bij bevloeiing van Belmonte aan bevloeiing door alcohol; evenmin wordt de drooglegging der Wieringermeer geassocieerd met Lucas Bols. En als we zeggen dat een vis of een zwemmer zich in zijn element bevindt dan bedoelen we weer water. Ook al is water, chemisch gezien, geen element, maar een verbinding, H_2O . Dit dan in tegenstelling tot hetgeen de

Grieken dachten. Overigens attendeer ik u er nog op dat de drankjes die u straks op de receptie krijgt aangeboden eveneens overwegend uit water bestaan.

(zie ook Fig.1)

Ik heb u beloofd, water als object te kiezen en vooral ook de methode van werken van de fysisch-chemicus te belichten.

De eerste fase van deze methodiek is altijd een behoorlijke probleemstelling. In verband met de sterk biologisch gerichte belangstelling van de Landbouwhogeschool zou ik aan willen knopen bij de rol die water en waterige oplossingen spelen in de levende natuur. Die rol is aanzienlijk, zelfs gebiedend in die zin dat zonder water geen leven mogelijk schijnt. Iets dooranalyserend constateren wij dat in levende organismen water een rol speelt bij

het transport van stoffen

het bepalen van de ruimtelijke structuur van grote molekulen (eiwitten, nucleinezuren), en daardoor van hun eigenschappen

de biochemische reacties die zich in cellen en weefsels afspelen

processen als vochtabSORPTIE en transpiratie en daardoor in de warmteregulatie.

Al deze factoren zijn essentiëel voor de levensverrichtingen. Het leven is waarschijnlijk ook in de oceanen

Water in vele talen

Nederlands, Engels	water	Latijn	aqua
Fries	wetter	Italiaans	acqua
Duits	Wasser	Frans	eau
Deens	vand	Spaans,	agua
Noors	vann	Portugees	
Zweeds	vatten	Esperanto	akvo
Fins	vettä	Russisch, Pools,	woda
Hongaars	viz	Tsjechisch	
Turks	su	Indonesisch	air
Arabisch	mayah	Chinees	shuǐ
Hebreeuws	māyīm	Japans	mizu 'K

Water in de taal van de moleculaire thermodynamika
(HAGLER - SCHERAGA - NEMETHY, (1972))

$$Z(N_0, V, T; \{N_i\}) = \sum_{\{N_j\}} Q_{\text{ext}}(N_0, V, T; \{N_i\}) Q_{\text{int}}(N_0, T, V, \{N_i\})$$

$$Q_{\text{int}}(N_0, V, T; \{N_i\}) = \prod_{j=1}^{N_0} \left[\underbrace{\left(\prod_{l=1}^6 \frac{e^{-h\nu_l/2kT}}{1 - e^{-h\nu_l/kT}} \right)^{j-1}}_{Q_{\text{vibr.}}} \cdot \underbrace{e^{-E_H N_{Bj}/kT}}_{Q_{\text{HB}}} \cdot \underbrace{(j\omega)!}_{Q_{\text{entr.}}} \right]^{N_j}$$

$$Q_{\text{ext}}(N_0, V, T; \{N_i\}) = \frac{1}{h^{3N_0} \prod_j N_j!} \underbrace{\int \dots \int_{\{q\} \{p\}} e^{-\frac{T}{T} \sum_j \frac{p_{ij}^2}{2m_j kT} - \frac{V(q)}{kT}} d\{p\} d\{q\}}_{Q_{\text{transl}}} \cdot \underbrace{\prod_j \left[\frac{\pi^{1/2}}{\sigma_j \sigma'} \left(\frac{8\pi^2 kT}{h^2} \right)^{3/2} (I_A I_B I_C)^{1/2} \right]^{N_j}}_{Q_{\text{rot}}}$$

Fig.1

ontstaan. De vraag kan dan ook zó gesteld worden:

"Wat zijn dan die unieke eigenschappen van water en kunnen we deze op basis van een moleculaire interpretatie begrijpen"?

Laten we eens beginnen met een aantal belangrijke eigenschappen van water op een rijtje te zetten. Het inventariseren van feiten is voor alle empirische wetenschappen de eerste stap; voor sommige wetenschappen is het zelfs de enige stap.

Ten aanzien van deze lijst (zie Fig.2) teken ik in de eerste plaats aan dat het geven van getallen, het kwantitatieve element dus, altijd een kenmerk is geweest van de natuurwetenschappen.

Nemen we dan de lijst eens door dan kan ik mij indenken dat er voor u bekende en onbekende zaken in voorkomen.

"Bekend" betekent dan, dat u er ervaring mee hebt, dat het in uw referentiekader past. Als ik u zeg dat de Florida-bananen meestal niet langer worden dan 12 à 15cm is dat een uitspraak waar u iets aan hebt want bananen en centimeters behoren thuis in ieders referentiekader.

Maar als ik u vraag of meneer X in Kandahar met 100.000 puls in de maand een goed inkomen heeft dan zullen de meesten van u dat niet weten te plaatsen, tenzij u toevallig specialist bent in de economie van Afghanistan.

Zelfs als ik u op weg help en het maandsalaris van meneer X in Nederlandse courant omreken, ca f80,- per maand, komt u niet veel verder. Want wat verdient de gemiddelde

Kleine enquête van water

Chemische samenstelling: H_2O . molekuulgewicht 18

Kleurloze, reukloze vloeistof (bij kamertemp. en atmosferische druk)

Vriespunt $0^{\circ}C$ (bij atmosferische druk)

Kookpunt $100^{\circ}C$ (")

Zet uit bij bevriezing

Heeft bij $4^{\circ}C$ grootste dichtheid

Soortelijke warmte 1 cal /graad. gram = 75.25 Joule /graad. mol.

Verdampingswarmte ($100^{\circ}C$) 40.6 kJoule / mol.

Oplosbaarheid voor keukenzout 360 gram / liter

" gewone alcohol: in alle verhoudingen mengbaar

" n-butylalcohol 80 gram / liter

" vetten zeer gering

Viscositeit ($20^{\circ}C$) 1 centipoise (gram / cm. sec.)

Viscositeit neemt (iets) af met toenemende druk (tot ca. $1000 kg/cm^2$)

Elektrisch geleidingsvermogen ($20^{\circ}C$) $4 \times 10^{-8} \text{ Ohm}^{-1} \text{ cm}^{-1}$

Dielektrische constante ($25^{\circ}C$) 78.5 (relatief t.o.v. vacuum)

Dipoolmoment 1.84 Debye

Relaxatietijd watermolekuul $10^{-12} - 10^{-11} \text{ sec.}$

Fig.2

Afghaan en wat kun je met f80,- doen? U moet dan nog weten dat het gemiddelde inkomen per hoofd in Afghanistan ongeveer f15,- per maand is. Meneer X heeft dus een vor-

stelijk inkomen dat hoognodig genivelleerd moet worden. Nu over water. Koken bij 100°C en bevriezen bij 0°C is iets waaraan we gewend zijn. We vinden het gewoon, vanzelfsprekend. Maar we spreken niet in het dagelijks leven over viscositeiten van één centipoise of over relaxatietijden van een miljoenste van een miljoenste seconde, en vinden zo'n getal daarom ongewoon. Het gevaar van een onwetenschappelijke gedachtensprong ligt op de loer. We zijn namelijk geneigd om het vertrouwde ook als wetenschappelijk vanzelfsprekend te aanvaarden. En dat gaat nu net niet op. Er is namelijk vrijwel geen andere vloeistof te bedenken met een even klein molekuul als water dat zo'n hoog kookpunt heeft, terwijl viscositeiten van 1 centipoise niet ongebruikelijk zijn. Om dus de positie van water te midden van andere vloeistoffen enigszins te objectiveren is het gewenst naar andere referentiekaders te zoeken. Wij zullen het kookpunt moeten vergelijken met kookpunten van andere vloeistoffen en elke associatie met theezetten laten varen.

In Fig.3 (zie blz.8) is zo een vergelijking getrokken. Men dient nog te weten dat in grote lijnen het kookpunt toeneemt met toenemend molekuulgewicht. Het beste referentiekader is dus een stel andere stoffen met een vergelijkbaar molekuulgewicht. Uit de tabel blijkt de uitzonderlijke positie van water.

Het heeft zin hier op "door te vragen". Waarom is water zo uitzonderlijk, en, gesteld dat we dat leren begrijpen, kunnen we dan misschien andere stoffen maken die die uit-

zonderingspositie ook hebben? In elk geval kunnen we er het volgende van zeggen. Bij verdamping van een vloeistof moeten we de molekulen van elkaar loskoppelen. Hoe hoger het kookpunt, des te beter kunnen de molekulen weerstand bieden aan de "warmtebeweging". We krijgen de indruk dat er tussen de watermolekulen sterke krachten bestaan, die in veel mindere mate voorkomen bij de andere stoffen uit de tabel.

Kookpunten van vloeistoffen

in °C (1atm.)

Stof	Molekuulgewicht	Kookpunt
water	18	100
alcohol	46	78,5
ether	74	34,6
propaan	44	-44,5
kooldioxide	44	-78,5
methaan	16	-161

Fig.3

Betrekkelijk willekeurig kies ik nog enkele gegevens uit

de kleine enquête en maak de vergelijking met andere vakgroepen.

Soortelijke warmten van vloeistoffen in Joule /graad. gram (25 °C)

water	4,8
alcohol	2,49
tetra	0,98
chloroform	0,90
ether	2,31
kwik	0,14

Fig.4

Tabel 4 (zie Fig.4) geeft enkele soortelijke warmten en weer steekt water met kop en schouders boven de rest uit. En weer is alcohol goede tweede. Dat is niet helemaal toevallig maar heeft niets te maken met water in de wijn doen en andere afleidende chemische bezigheden. Wat betekent dat dan wel? De soortelijke warmte van een stof vertelt ons hoeveel warmte (vroeger in calorieën, tegen-

woordig in Joules) hij kan opnemen voordat de temperatuur met één graad is gestegen. Men spreekt daarom ook wel van "warmtecapaciteit". Dat die bij water zo hoog ligt betekent dus dat de temperatuur van water relatief minder dan die van andere vloeistoffen gevoelig is voor toevallige toevoer of afvoer van warmte. Men ervaart dit aan de matigende invloed van oceanen op het klimaat. De betrekkelijk constante temperatuur der oceanen heeft mogelijk mede een rol gespeeld in het ontstaan van het leven aldaar, ofschoon vermoedelijk niet de allergrootste. De hoge soortelijke warmte van water speelt een rol bij het warmteregulatie-mechanisme van hogere organismen. Het is denkbaar dat grieppatiënten op chloroformbasis veel hogere koorts hebben dan gewone, dus waterige patiënten. Fysisch-chemisch gezien betekent de hoge soortelijke warmte dat water, ondanks het feit dat het een vloeistof is, toch in sterke mate gestructureerd moet zijn, georganiseerd, zo men wil. Er is veel warmte nodig om die structuur af te breken en de molekulen beweeglijker te maken, dat wil zeggen de temperatuur te verhogen.

Het volgende tabelletje (zie Fig.5), vergelijkt de viscositeit van water met die van enkele andere vloeistoffen. Maakt u zich geen zorgen om de misschien wat ongewone eenheid waarin hij wordt uitgedrukt. Het gaat immers om een vergelijkend onderzoek. De viscositeit geeft aan hoe gemakkelijk een vloeistof stroomt. Hoe hoger de vis-

kositeit des te moeilijker vloeit de stof. Van een vaste stof zouden we kunnen stellen dat de viskositeit oneindig hoog is. Van een gas is hij erg laag en vloeistoffen nemen een tussenpositie in. We zien uit de tabel dat water geen bijzondere plaats inneemt. In verband met de eerder gedane conclusie dat er tussen de watermolekulen sterke aantrekkingskrachten zijn is dat toch wel onverwacht. Immers, als de molekulen zo stevig aaneenklitten

Viskositeiten van vloeistoffen

in centipoise (20°C)

water	1,00
alcohol	1,20
chloroform	0,58
tetra	0,97
ether	0,23
olijfolie	84,0

zou men verwachten dat ze ook moeilijk ten opzichte van elkaar te bewegen zijn zoals bij stroming nu eenmaal nodig is. Het bijzondere van water is hier dus dat het niet opvalt. Grote samenhang dus zonder verlies aan mobiliteit. In het levend organisme zijn daarom geen bijzondere energiebronnen nodig om het vloeistoftransport in stand te houden.

De viskositeit hangt af van temperatuur en druk. In griepperioden vragen veel mensen zich af waarom ze koorts krijgen. Ik ook. Maar een voordeel is in elk geval dat voor elke graad koorts de viskositeit zo'n $2\frac{1}{2}\%$ daalt en dat het hart dus navenant minder arbeid hoeft te verrichten om het bloed rond te pompen. Let wel, ik zie niet voorbij aan de nadelen en eventuele andere voordelen. Bij vrijwel alle vloeistoffen neemt de viskositeit toe met toenemende druk. Niet zo bij water. Daar neemt de viskositeit af met toenemende druk, als tenminste die druk niet al te groot wordt. Misschien hebt u er nooit bij stilgestaan, maar als de viskositeit flink zou toenemen met de druk zoudt u hoogstens druppelsgewijs water kunnen tappen uit uw keukenkraan. En voor diepzeevissen zou van het zwemmen alle aardigheid er gauw af zijn.

Ook het oplossend vermogen van water is interessant. We weten dat keukenzout, suiker, alcohol en aspirine vlot in water oplossen, maar oliën en vetten niet. Daar zijn hulpmiddelen voor nodig, afwasmiddelen of detergents geheten, waarvan de een volgens de Sterreclame beter is dan

de andere. Ook het dierlijk organisme gebruikt een soort detergent om de vetten uit ons voedsel "op te lossen" in de overmaat water van het lichaam. In dit verband wijs ik er op dat vele biologisch belangrijke kolloïden zoals eiwitten en nucleinezuren grote molekulen hebben, waarvan sommige delen goed in water oplossen en andere delen minder of niet; als gevolg hiervan hebben deze molekulen vaak een zeer karakteristieke ruimtelijke bouw.

Tabel 6 (zie Fig.6) vergelijkt enkele diëlektrische constanten. Vergeleken met andere "gewone" vloeistoffen zien we weer de al eerder geconstateerde trend terugkomen: water steekt duidelijk boven de rest uit met alcohol als goede tweede. Er zijn wel enkele hoge uitzonderingen zoals blauwzuur en dimethylformamide, beide boven

Dielektrische constanten van enkele vloeistoffen relatief t.o.v. vacuum (25°C)

water	78,5
alcohol	24,3
chloroform	4,8
tetra	2,2
ether	4,3
blauwzuur	114

de 100, maar dat zijn echt wel excepties. Wat betekent die hoge diëlektrische constante van water? Kort gezegd geeft de diëlektrische constante het vermogen weer om ladingen af te schermen. Het is bekend dat een positieve en een negatieve lading elkaar aantrekken; dat gaat volgens de wet van Coulomb. Die aantrekking is in een vloeistof kleiner dan in vacuüm en wel des te kleiner naarmate de diëlektrische constante van die vloeistof hoger is. Omdat water zo een hoge diëlektrische constante heeft kunnen de positieve en negatieve ionen er in blijven bestaan als losse, geïsoleerde eenheden. In tetra of olie is dat onmogelijk. Voor plant en dier en bodem is dit van belang, men denke aan transport van voor de voeding benodigde ionen; in het menselijk lichaam kan men aan de prikkelgeleiding in zenuwen denken en aan electrocutie.

Tenslotte die relaxatietijd. Wat moeten we ons daarbij voorstellen? Onze huidige maatschappij gebruikt het woord "relaxen" nogal vaak. Je zou het ongeveer kunnen vertalen met "in elkaar zakken" als relaxen tenminste nog geen Nederlands woord is. In de natuurwetenschappen wordt relaxeren in een vergelijkbare betekenis, maar wel iets scherper omschreven, gebruikt. Het komt er op neer dat de relaxatietijd aangeeft hoe lang een systeem nodig heeft om een zekere vervorming die we hem opgelegd hebben weer prijs te geven. Hoe langer dit duurt, des te langer de relaxatietijd. In het algemeen hebben vaste

stoffen een zeer hoge relaxatietijd. Zeer hoog, maar niet oneindig. Geologen weten heel goed dat bergen kunnen ontstaan of verdwijnen als je maar lang genoeg wacht. Men zegt wel: "het geloof kan bergen verzetten"; ik maak ervan: "geloof en geduld kunnen bergen verzetten". Vloeistoffen kunnen een aangebrachte vervorming helemaal niet vasthouden. Ze stromen meteen weg. Daarom hebben ze een zeer korte relaxatietijd. Maar h oe kort 10^{-13} - 10^{-11} seconde is, onttrekt zich aan onze verbeelding. Het is zeker sneller dan de totstandkoming van de bouw van de Leeuwenborch, ook sneller dan een handomdraai. Veel sneller zelfs dan met de allersnelste film zou zijn te zien. De getallen zijn echter z o kort dat het ons niet eens meer aanspreekt of er veel verschil is tussen 10^{-13} en 10^{-11} , hoewel we w el verschil zien tussen 8 en $8\frac{1}{2}$ procent inflatie. Het verschil tussen 10^{-11} en 10^{-13} is een faktor honderd, dus enorm groot. Toch is het voor veel processen van belang dit nauwkeurig te weten en men kan er dank zij moderne technieken (onder andere kernspinsresonantie) wel iets over zeggen. Verder wil ik hier niet op in gaan, en evenmin aan de orde stellen dat er verschillende relaxatieprocessen te onderscheiden zijn, elk met een eigen relaxatietijd. Aangetekend zij dat water niet opvallend verschilt van andere "gewone" vloeistoffen en dat dit samenhangt met de omstandigheid dat ook zijn viskositeit niet uitzonderlijk is.

De inventarisatie die wij gemaakt hebben heeft al verschillende interessante eigenschappen van water naar voren gebracht. Onder andere constateerden wij dat in water de molekulen sterk samenhangen, dat er blijkbaar sprake is van een grote mate van ordening, wat dat ook moge zijn in een vloeistof, en dat de molekulen in staat zijn elektrische ladingen af te schermen.

Gaan we thans nog één stapje verder en stellen wij ons de vraag of we dat ook molekulaair kunnen verklaren. Als ik dat enigszins adequaat zou willen proberen zou ik u mee moeten nemen in de wereld der kwantummechanika, de röntgen- en neutronendiffractie, de infra-rood en Raman spectroscopie, de moleculaire dynamica en andere wetenschapsgebieden. Laat ik dit niet allemaal doen, en evenmin ingaan op wat heden open discussiepunten zijn, maar volstaan met enkele der meest saillante feiten.

Het geïsoleerde watermolekuul kan men bij goede benadering visualiseren als in figuur 7 (zie blz.17). Het molekuul bestaat uit een groot zuurstofatoom en twee kleine waterstofatomen, die nauwelijks tot het volume bijdragen.

Het molekuul is ten naast bij rond met een straal van $0,14 \times 10^{-9}$ m. Je moet er vier miljoen van mannetje aan mannetje leggen en dan heb je nog slechts één millimeter water. Belangrijk is dat in het molekuul de lading niet gelijkmatig is verdeeld. Ter plaatse van de twee waterstofatomen bevindt zich een overschot aan positieve la-

ding. Aan de andere kant zijn twee gebieden aan te wijzen met een overschot aan negatieve lading. We zeggen dat het watermolekuul polair is. Het heeft een dipoolmoment, en wel is de waarde van 1,84 Debye uit tabel 2 een voor zo een klein molekuul zeer hoge waarde. De

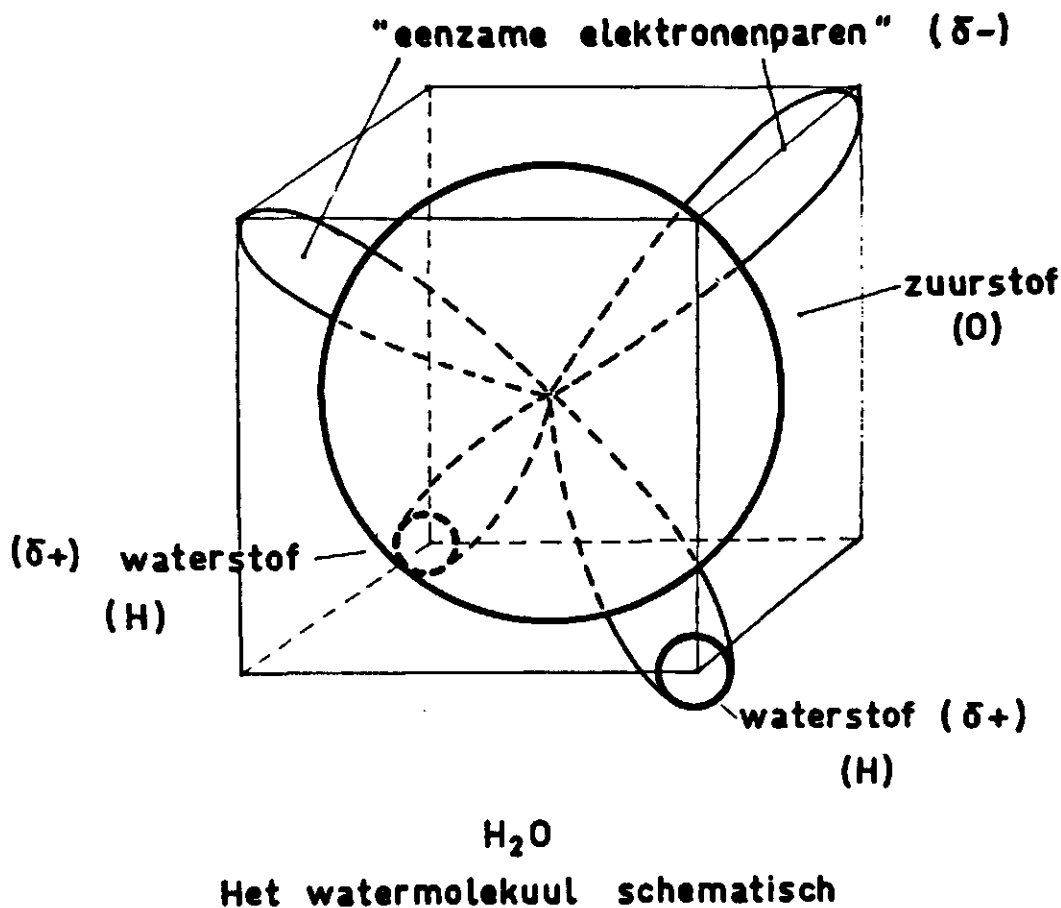


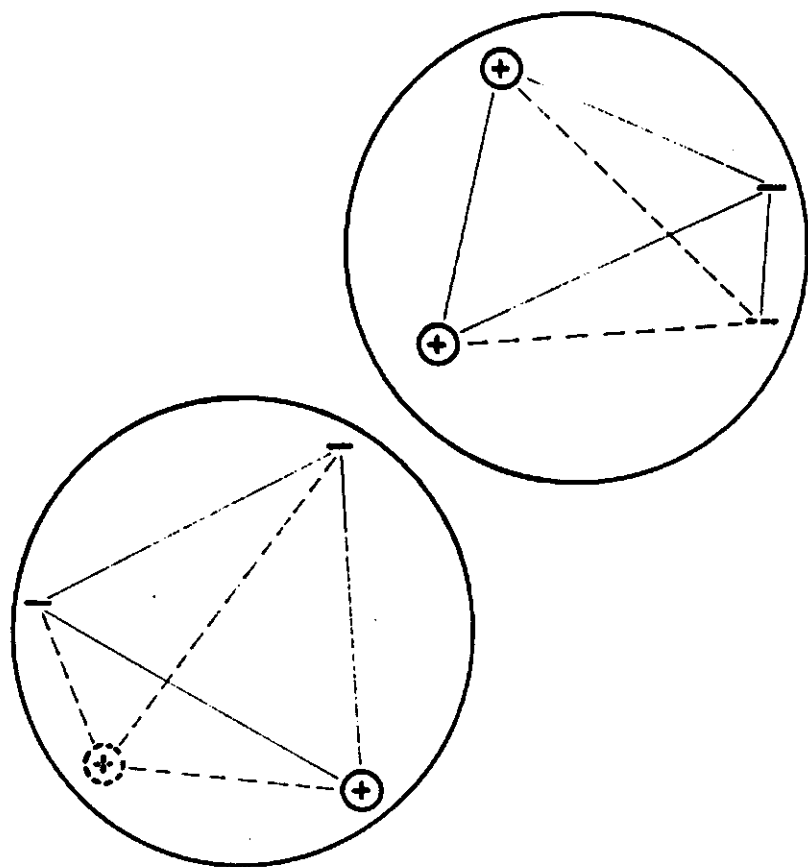
Fig.7

polariteit van water is een der eerste oorzaken van de sterke samenhang in vloeibaar water. Men kan zich voorstellen dat associatie tot stand komt doordat de negatieve elektronenparen van het ene molekuul aangetrokken worden door de positieve waterstofatomen van het andere. Figuur 8 brengt dit in beeld (zie blz.19).

Er komt nog een tweede faktor bij. Verbindt men namelijk de "uiteinden" van de eenzame elektronenparen en de waterstofatomen dan ontstaat een stereometrische figuur die bijna exact een regelmatig viervlak is, een z.g. tetraeder. De hoek H-zwaartepunt-H is $105^{\circ}3'$, in een tetraeder zou dat $109^{\circ}5'$ moeten zijn, dus het scheelt maar een paar procent. Een eigenschap van tetraeders is dat ze zich betrekkelijk gemakkelijk tot een driedimensionale ruimtelijke structuur laten opbouwen.

Samengevat zijn er dus twee basisfactoren voor de uitzonderlijke eigenschappen van water als vloeistof verantwoordelijk: het feit dat de lading in het molekuul niet gelijkmatig is verdeeld en het feit dat de lading tetraedrisch is verdeeld. Er zijn nauwelijks andere molekulen te bedenken die deze beide bijzondere eigenschappen eveneens tegelijk bezitten. Het unieke van water zit in zijn molekuulbouw opgesloten.

Er zijn naast de beide genoemde hoofd-trends nog wel enkele andere te bedenken. Sommige verschijnselen zijn namelijk coöperatief (laten we zeggen: zichzelf en elkaar versterkend). Ook dynamische factoren spelen een belangrijke rol mee. Toch komen wij met hetgeen wij thans



De elektrostatische aantrekking tussen twee
watermolekulen (schematisch)

- ⊕ H-atoom ($\delta+$)
 — eenzaam elektronenpaar ($\delta-$)

Fig.8

hebben al heel ver in het begrijpen waarom water bij systematische doorlichting telkens weer uitzonderlijk blijkt te zijn. Gaan we het rijtje nog eens langs:

1. Figuur 9 (zie blz.21) geeft de kristalstructuur van ijs. Ook hier herkent men de tetraeders weer als bouwstenen. In een vaste stof kan zo een grondpatroon zich eindeloos herhalen. IJs heeft een open structuur, neemt relatief veel ruimte in. Dit verklaart dat water uitzet bij bevriezing.
2. De sterke samenhang en de sterke structuratie verklaren de hoge soortelijke warmte en het hoge kookpunt.
3. De sterke samenhang verklaart ook waarom niet-polaire molekulen, (bijv. oliën en vetten) zo slecht in water oplossen. Immers, om op te lossen moeten de olie- of vet-molekulen zich tussen de watermolekulen dringen en dat is energetisch ongunstig omdat de krachtige elektrostatische aantrekking verbroken moet worden. Het is dit subtiële samenspel van groepen in biologisch belangrijke molekulen, die deels wel en deels geen affiniteit voor watermolekulen hebben dat de oorzaak is voor de zeer specifieke eigenschappen van biologische molekulen.
4. De hoge diëlektrische constante interpreteren wij als het vermogen van de waterdipooltjes zich in een elektrisch veld te richten. Bijvoorbeeld zal een negatief ion in water rondom zich watermolekulen verzamelen die met hun positieve kant naar dat ion gericht zijn. Op

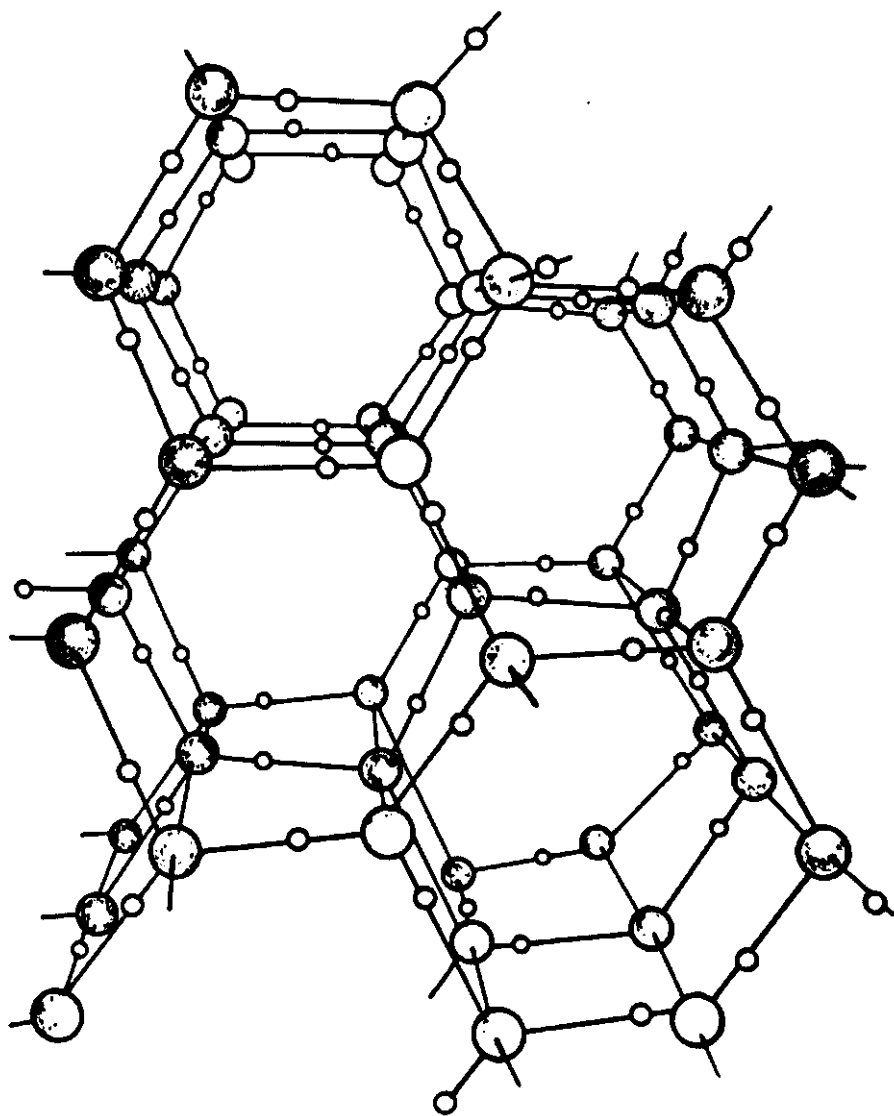


fig.9.

Naar: Pauling and Hayward "Architecture of molecules"
(Freeman, San Francisco, 1964)

hun beurt verklaart deze orientatie weer de hoge oplosbaarheid van zouten en polaire molekulen.

5. Dat water ondanks de sterke samenhang toch vlot stroomt, getuige zijn normale viskositeit en relaxatietijd, hangt waarschijnlijk hier mee samen dat de bindingen in water zich uiterst snel kunnen verbreken en opnieuw vormen. Ook zijn groepjes molekulen vaak erg beweeglijk.
6. Tenslotte teken ik aan dat alle hier genoemde - en vele andere - verworven inzichten omtrent water weer toegepast kunnen worden bij het begrijpen en ontwikkelen van processen op het gebied van de bodemkunde, het transport door membranen, de hydratatie van levensmiddelen, bij water ontzilting om van de zee een "mer à boire" te maken, kortom in de vele biologische en technologische schakels in en rondom ons die ons zijn en welzijn beheersen.

U merkt aan de mooie volzin dat het einde in zicht is. De discussie afrondend wil ik de hoop uitspreken u een indruk gegeven te hebben van de werkmethode van de fundamentele natuuronderzoeker, die van de moleculaire wetenschapper in het bijzonder.

Ook hoop ik u enigszins ingewijd te hebben in de positie van de natuurwetenschappen aan de Landbouwhogeschool. Ik zie hun benaderingswijze, kort gezegd, bestaan uit

drie stappen:

1. het herkennen en formuleren van bestaande problemen
 2. het herleiden en interpreteren er van op basis van fysische basisprincipes
 3. het operationeel maken van het aldus verworven inzicht.
- Slechts bij een open uitwisseling tussen de basiswetenschappen en de verwante landbouwkundige vakgebieden kunnen de taakbeoefening en de wederzijdse contacten optimaal zijn. Ik hoop dan ook dat wij ons in Wageningen niet zullen verliezen in het uitdenken van structuren waarin voor dit soort wisselwerking geen ruime plaats is.

Tot slot wil ik mijn dank uitspreken aan diegenen die mij er toe hebben bewogen deze rede te houden en aan hen die aan de afwerking ervan hebben bijgedragen.