

Prof.dr. Ernst J. R. Sudhölter

Verbindingen



Verbindingen

Uitgesproken op vrijdag 4 september 2020
ter gelegenheid van de afscheidsrede voor het ambt van
hoogleraar Organische Materialen & Interfaces
bij de faculteit Technische Natuurwetenschappen

door

Prof.dr. Ernst J. R. Sudhölter

Mijnheer de Rector Magnificus, leden van het College van Bestuur,
Collegae hoogleraren en andere leden van de universitaire gemeenschap,
familie, vrienden en kennissen, zeer gewaardeerde toehoorders,
Dames en Heren,

Fijn dat u allemaal gekomen bent op deze bijzondere dag, waarop ik afscheid neem van de TU Delft als hoogleraar Organische Materialen & Grensvlakken.

Sinds 1 januari 2007 ben ik verbonden aan deze universiteit, aanvankelijk met een dubbele functie, n.l. als afdelingsvoorzitter van Chemical Engineering en als hoogleraar van de nieuw opgerichte sectie Nano-Organische Chemie, welke sectie nu de naam Organische Materialen & Grensvlakken draagt.

Ruim 7 jaren heb ik beide functies gelijktijdig vervuld en daarna heb ik mij weer helemaal op het onderwijs en onderzoek kunnen richten.

Deze laatste periode heb ik als zeer rijk ervaren.

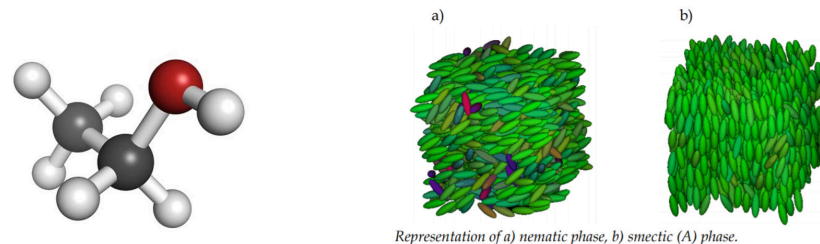
Leuk en goed onderzoek, prettige en gemotiveerde studenten, promovendi, post-docs en medewerkers om mij heen en daarnaast een aantal bijzondere activiteiten in het land. Ik zal daar later nog op terugkomen.

Maar eerst even terug in de tijd. Hoe is het allemaal zo gekomen?

Het begin

Organische verbindingen: moleculen en materialen

- Moleculen zijn verbindingen tussen atomen
- Moleculen vormen vervolgens de bouwstenen voor organische materialen



In mijn intrede als hoogleraar Fysisch-Organische Chemie aan de toenmalige Landbouw Universiteit Wageningen in 1991 heb ik mijn motivatie als volgt verwoord [1]:

'Mijn interesse voor natuurwetenschappelijk onderzoek komt vermoedelijk voort uit een neiging om orde te willen scheppen in de veelheid aan verschijningsvormen en gebeurtenissen die wij allen dagelijks kunnen waarnemen in de wereld die ons omringt. Om enige greep op deze veelheid te krijgen is het noodzakelijk de natuur vanuit een beperkter – abstracter – gezichtspunt te bezien. Het gevolg van deze opgelegde beperking is weliswaar dat de natuur in zijn totaliteit nooit bevat kan worden en hetgeen geleerd wordt vanuit het abstracte gezichtspunt alleen iets zegt over een bepaald aspect van de werkelijkheid. Tijdens een van mijn eerste scheikundelessen op de middelbare school leerde ik het periodiek systeem van de elementen kennen. In dit systeem worden alle ons bekende elementen systematisch gerangschikt naar opklimmende massa en naar overeenkomstige chemische eigenschappen. Deze elementen zijn de bouwstenen van de verbindingen (=moleculen), die op hun beurt weer de bouwstenen zijn voor de materie, waaruit de natuur is opgebouwd. Deze materie is de basis voor de veelheid van verschijningsvormen en gebeurtenissen. Het bewust zijn van deze eenvoudige relatie fascineert mij nog steeds'

Tot zover mijn woorden van toen, woorden die voor mij ook vandaag nog steeds geldig zijn.

Was het aantal bekende organische verbindingen (moleculen) aan het begin van de vorige eeuw ca 150.000, tijdens mij start in Wageningen was dat aantal gegroeid tot 5 miljoen, en nu 30 jaar later zijn dat er volgens de Chemical Abstract Service 60 miljoen [2]. En dit enorme aantal is zeker niet de grens.

Dat er zoveel verbindingen mogelijk zijn is eenvoudig in te zien.

Organische moleculen zijn verbindingen tussen verschillende atomen. Veel voorkomende atomen in organische moleculen zijn koolstof, waterstof, stikstof, zuurstof, zwavel en fosfor. Door deze atomen op te vatten als letters van het chemisch alfabet, is het voorstelbaar dat je zoveel verschillende organische woorden oftewel verbindingen van atomen, de moleculen dus, kunt vormen.

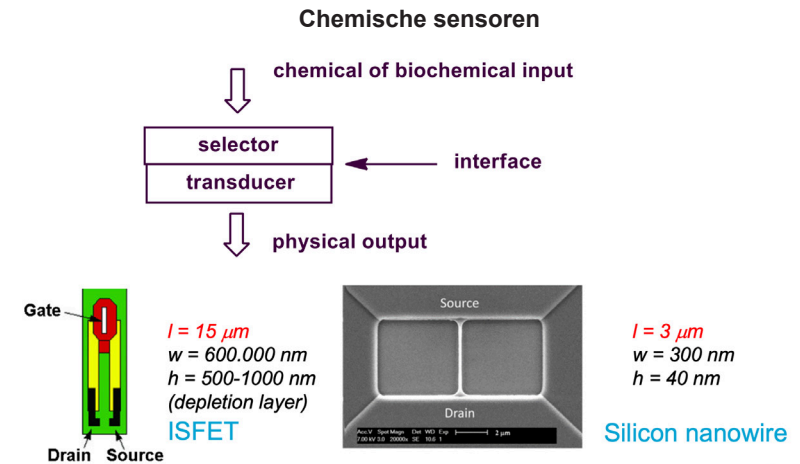
In mijn eigen onderzoek heb ik mij vooral bezig gehouden, niet met deze moleculen 'an sich', maar meer met de interacties, de verbindingen tussen verschillende moleculen. Zijn de atomen de bouwstenen van de moleculen, zo zijn de moleculen de bouwstenen voor de materie, en dan in het bijzonder de organische en polymere materialen. Vandaar de naam Organische Materialen in de naam van mijn onderzoeksgroep.

Verschiedende 'materialen' hebben we onderzocht, allemaal met een specifiek doel. Vaak ging het om het begrijpen van de materiaaleigenschappen als functie van de preciese structuur van de moleculaire bouwstenen, de organische verbindingen. Zo is er ondermeer onderzoek verricht aan oppervlakte-actieve verbindingen, zepen en lipiden, aan vloeibaar-kristallijne organische moleculen en ook aan vloeibaar-kristallijne polymeren, aan het modificeren van oppervlakken en grensvlakken met organische moleculen en polyelectrolyten.

Door het begrijpen van de materiaaleigenschappen, kun je vervolgens veel doelgerichter komen tot het ontwerpen en maken, het synthetiseren van gewenste materialen.

Ik zal daar een paar voorbeelden van geven uit recent onderzoek uitgevoerd aan de TU Delft.

Een paar voorbeelden



Zo heb ik al lange tijd interesse in chemische sensoren. Met een chemische sensor kun je de aanwezigheid van een bepaalde verbinding, zeg van een bepaald molecuul, in de gasfase of in de vloeistoffase (vaak is dat water) aantonen.

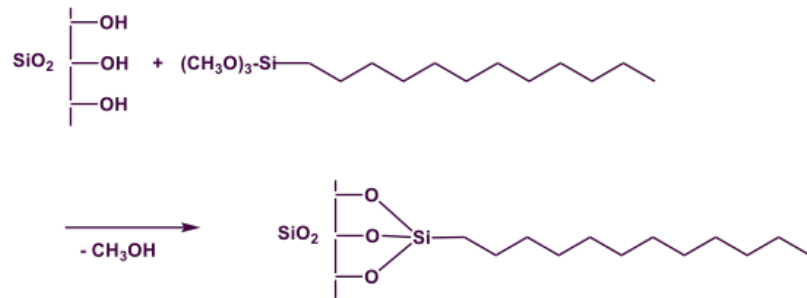
Zo'n sensor is opgebouwd uit twee laagjes: een selectorlaag en een transductorlaag. De selectorlaag zorgt voor de selectie, het selectief kunnen herkennen van de specifiek verbinding die je wilt kunnen detecteren, en de transductorlaag zorgt ervoor dat de verandering van fysische eigenschappen van deze selectorlaag, als gevolg van deze herkenning, kan worden uitgelezen, vaak in een elektrisch, soms in een optisch signaal.

Deze interesse is destijds bij mij gewekt in Twente, waar ik vanuit de groep van David Reinhoudt samenwerkte met de groep van Piet Bergveld. Piet is de uitvinder van de ISFET, de Ion Sensitive Field Effect Transistor. De ISFET maakt het mogelijk om veranderingen in het chemische domein om te zetten in veranderingen in het elektrische domein. Komt je selectorlaag in contact met een verbinding waarvoor deze selectief is gemaakt, dan veranderen daardoor de fysische eigenschappen van deze selectorlaag, welke vervolgens meetbaar wordt via de onderliggende transducer.

Keuze van de materialen voor de selectorlaag en stabiele hechting van deze laag aan de onderliggende transducer, zijn dan de belangrijke uitdagingen voor de chemicus.

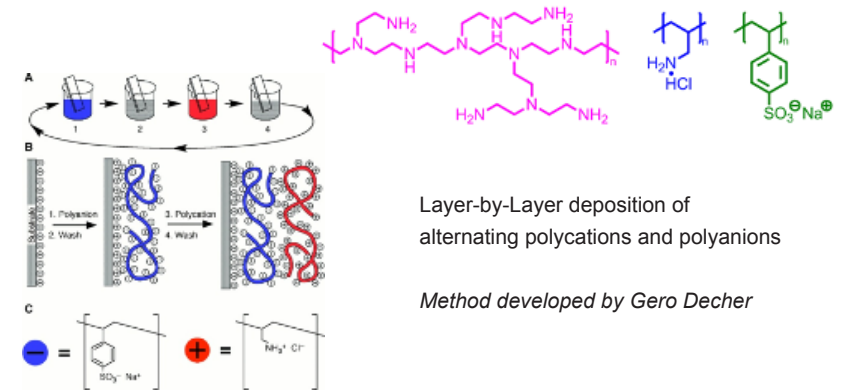
Waren in deze periode (tweede helft tachtiger jaren) de dimensies van de ISFET al klein (lengte afmeting ca 15 micrometer en breedte 600 micrometer), door de voortgaande miniaturisering in de microelectronica zijn de transductorstructuren ook steeds kleiner geworden. In Delft is onderzoek verricht aan het voorzien van selectorlaagjes aan silicium nanodraadjes, met een lengte afmeting van 3 micrometer en een breedte van slechts 300 nm (!). De hoogte van het geleidende kanaal bij de ISFET was bepaald door de depletielaag, bij de nanodraad is deze slechts 40 nm. Op deze wijze zijn in Delft chemische nanosensoren (omdat ze zo klein zijn) gemaakt voor het selectief detecteren van ionen (natrium en kalium), van sporen van explosieven, en van methanoldampen.

Oppervlaktemodificatie: Silyleren



Een andere interesse van mij is die in het chemisch modificeren van anorganische oppervlakken. Hiermee kwam ik voor het eerst in contact tijdens mijn Shell tijd, dat was direct na mijn promotie in Groningen. Dus voorafgaande aan Twente. Anorganische oppervlakken, zoals bijvoorbeeld silica (zeg maar zand), kunnen goed gemodificeerd worden met organische silaanverbindingen. Het silaandeel hecht uitstekend aan het silica via een covalente chemische binding. Op deze wijze wordt de buitenzijde van het silica gedecoreerd met een organische eenheid. Deze organische eenheid bepaalt nu de eigenschappen van het silica. Denk hierbij bijvoorbeeld aan het schilderen van een tafelblad. Door de verflaag wordt de tafel afgedekt en zie je niet meer het materiaal waaruit de tafel is opgebouwd, maar je ziet de gekleurde verflaag.

Oppervlaktemodificatie: Polyelectrolyten

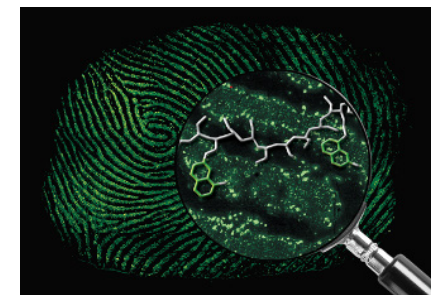


Layer-by-Layer deposition of alternating polycations and polyanions

Method developed by Gero Decher

Een andere manier van chemisch modificeren is door gebruik te maken van polyelectrolyten in plaats van silaanverbindingen. Polyelectrolyten zijn polymeren die zijn opgebouwd uit eenheden, die een elektrische lading dragen. Deze lading kan zowel positief als negatief zijn. Om bij het voorbeeld van silica te blijven het volgende. Silica is van nature negatief geladen. Je kunt hierop uitstekend een positief geladen polymeer hechten. Eenmaal gedaan is het gedecoreerde oppervlak niet meer negatief geladen, maar nu positief geladen en kun je dit spel herhalen met een negatief geladen polymeer. Dit kan vele malen herhaald worden en op deze wijze bouw je in feite nanometer voor nanometer een dunne polymere laag op.

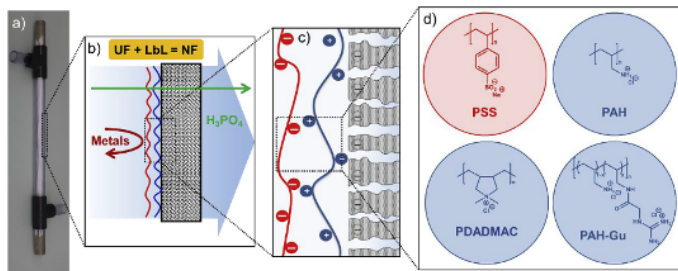
Vingerafdruk visualisatie



Fluorescent polyelectrolyte for the visualization of fingerprints
Analytical Methods 7, 10121 - 10124 (2015)

Het op deze wijze modifieren van oppervlakken is in mijn onderzoeksgroep op diverse wijzen toegepast. Je kunt transductoroppervlakken ermee voorzien van een polyelectrolyte selectorlaag, je kunt het gebruiken voor het zichtbaar maken van vingerafdrukken (dit is uitgevoerd in een samenwerking met het NFI, het Nederlands Forensisch Instituut), je kunt er ook polymere membranen mee coaten.

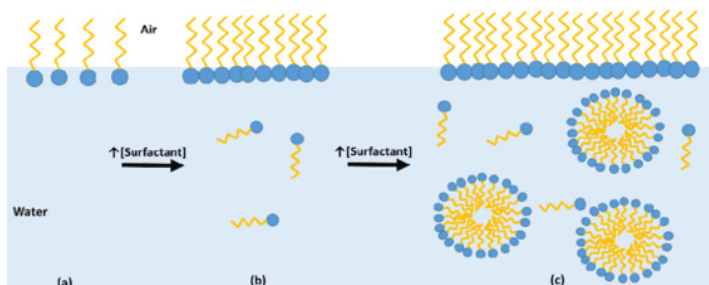
Terugwinning van fosforzuur



Improved phosphoric acid recovery from sewage sludge ash using layer-by-layer modified membranes. *J. Membr. Sci.* 587, 117162 (2019)

We hebben dat toegepast op membranen in de vorm van een holle vezel, denk aan een rietje. De wand van de holle vezel is poreus, doorlaatbaar. Door nu de binnenzijde van deze vezel te bedekken met een polyelectrolytlaag voorzien van fosfaatbindende groepen, kun je filters maken die selectief fosfaat kunnen opnemen.

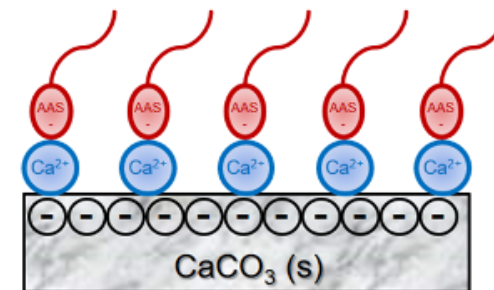
Micellen



Een derde interesse welke ik hier vandaag nog wil noemen is die van de oppervlakte-actieve verbindingen. Tijdens mijn hoofdvakonderzoek en later mijn promotieonderzoek bij Jan Engberts kwam ik voor het eerst in contact met het onderzoeksgebied van de surfactants, de surface active agents, oftewel oppervlakte-actieve verbindingen. Deze klasse van verbindingen omvatten ook de zeepmoleculen, zoals we die uit huishoudelijk gebruik kennen. Deze verbindingen bestaan uit een water minnend deel en uit een water vrezend deel. Nu weet u dat water en olie (water vrezend) niet met elkaar mengen. Door nu twee van dergelijke componenten aan elkaar vast te zetten, te verbinden, als in deze oppervlakte actieve verbindingen het geval is, krijg je in feite een schizofreen molecuul.

In water gebracht zullen de water vrezende delen zich afkeren van water, en het water minnende deel zal juist het contact met water opzoeken. Dit resulteert dan in een fasescheiding, een onmengbaarheid, op nanometer niveau (net als water en olie dat doen op macroscopisch niveau). Ze vormen als het ware hele kleine oliedruppeltjes met aan de buitenzijde de water minnende groepen. Zo zie je dus dat een dergelijke combinatie van water minnende en water vrezende delen in één verbinding, resulteert in het vormen van bijzondere en complexere structuren. Een verbinding tussen meerdere surfactantmoleculen. Vaak bestaan dergelijke structuren, die micellen worden genoemd, uit wel 80 of meer individuele moleculen. Voor ons huishouden maken ze het mogelijk dat vettigheid uit kleding of uit de vaatwas, door deze water vrezende delen wordt opgenomen, en op deze wijze kan reinigen en vervolgens de vettigheid afvoeren.

Verlies van surfactants door binding aan gesteente via cation brugvorming



AAS = Alkoxy Alkyl Sulfate surfactant
Energy Fuels 33, 12319 (2019)

Dergelijke zeepen worden ook volop toegepast in de 'enhanced oil recovery', de versterkte oliewinning. De zeep zorgt er dan voor dat de olie, aanwezig in het poreuze gesteente, opgenomen kan worden en met de vloeistofstroom mee omhoog gepompt kan worden. De relatief kostbare zeepmoleculen worden hieruit teruggewonnen voor hergebruik. Het blijkt nu dat onder bepaalde omstandigheden er veel zeep achterblijft in de boorput. In een door Shell gefinancierd onderzoek doe ik momenteel nog onderzoek naar het mechanisme van dit kostbare zeepverlies. We gebruiken daarvoor een heel gevoelige balans, een weegschaal, die massaverschillen van ca 1 nanogram kan meten. Een nanogram is heel weinig, het is een miljoenste deel van een milligram. Een dergelijke balans heet een Quartz Crystal Microbalance en de werking ervan is gebaseerd op de afname van de kwarts kristal vibratiefrequentie als er materiaal hecht aan dat kristaloppervlak. We kiezen dan kristaloppervlakken die model staan voor het gesteente aanwezig in de boorput. Dat kan zijn silica (als ook in de ISFETS zoals eerder besproken), alumina, klei en ook calciet (kalk, calcium carbonaat). In feite zijn deze materialen dan de selectorlaag en het quartz crystal de transducer, de omzetter van het chemische domein naar het elektronische domein. In dit onderzoek hebben we eenduidig kunnen vaststellen dat het verlies van zeepmoleculen het gevolg is van binding aan het gesteente, waarbij de negatief geladen zeepmoleculen binden aan het gesteente.

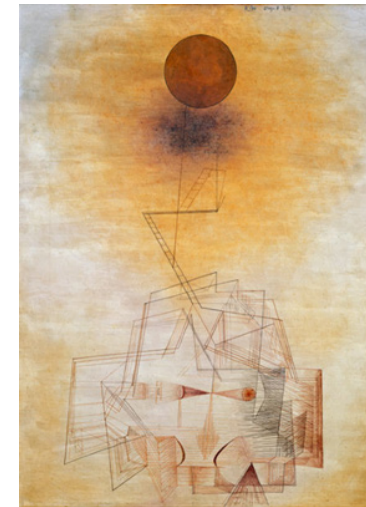
In het geval van zandsteen, dat voornamelijk silica is, is echter het oppervlak ook negatief. Hoe kan het dan zijn dat een negatief geladen zeepmolecuul bindt aan een negatief oppervlak?

Immers gelijk geladen deeltjes stoten elkaar juist af.

Het blijkt dat aanwezige calcium of magnesium ionen hier een cruciale rol spelen. Deze ionen hebben een tweevoudige positieve lading en blijken te functioneren als een brug, als een verbinding, tussen het negatief geladen oppervlak en de negatieve lading van het zeepmolecuul. Nu dit duidelijk in kaart is gebracht en ook goed wordt begrepen, kan er gericht worden ingegrepen. De door ons gekozen ingreep, waarbij we gebruik maken van polyelectrolyten, blijkt op laboratoriumschaal veelbelovend werkzaam te zijn, waarbij het verlies aan zeepmoleculen door adsorptie in belangrijke mate is teruggebracht. Dit is denk ik een mooi recent voorbeeld uit eigen werk van fundamenteel onderzoek met een mogelijke directe toepassing.

Tot zover dan een aantal voorbeelden van onderzoek waaraan ik met mijn onderzoeksgroep recentelijk heb gewerkt. Er zijn veel meer voorbeelden te geven. In totaal heeft mijn onderzoek geleid tot (binnenkort) een 43-tal academische

promoties en is het resultaat van het onderzoek neergelegd in ruim 300 wetenschappelijke publikaties. Ik heb in mijn onderzoek vaak meer de breedte gezocht dan de diepte, meer naar het verbindende tussen de diverse expertisegebieden, dan het heel diep gaan binnen een sterk afgebakend onderwerp. Ik meen dat Jan Engberts al tijdens mijn promotie in 1981 heeft gezegd dat er zowel grazers zijn als gravers. En hij vond mij duidelijk meer een grazer.



Wat is werkelijkheid?

Dat brengt mij op het volgende, en ik citeer hierbij uit mijn intreerede die ik in Delft heb gehouden in 2008 [3]:

'Filosofie en wetenschapsfilosofie hadden mijn interesse ook al gewekt in mijn Groninger tijd. Onder de stimulerende leiding van Jan Engberts was een filosofieclubje gevormd. Het eerste boek dat we lazen en bediscussieerden was Fritjof Capra's "The tao of physics" [4]. Een bijzonder boek. Het bracht voor mij voor het eerst natuurwetenschap en levensbeschouwing met elkaar in verband. Zeg maar de terreinen van de waarom en waartoe vragen. Later kwamen daar vele andere interessante boeken bij. Het meest geïnspireerd ben ik wel door de wiskundige en filosoof Alfred North Whitehead, die leefde van 1861-1947. Door Jan Engberts ben ik op zijn spoor gezet. Het bijzondere van Whitehead is dat hij een nieuw wereldbeeld heeft ontwikkeld voor onze ervaringen, als een reactie op het mechanistische beeld. Dit omdat hij in die visies noties miste als

vrijheid, doelgerichtheid, waardoor je niet tot onderwerpen als geest en gevoel kunt komen. Gehanteerde begrippen in het mechanistische beeld zoals ruimte, tijd, atoom, energie quantum en veld worden ten onrechte als concreet opgevat. Voor Whitehead is onderlinge gerelateerdheid, coherentie, essentieel voor de werkelijkheid. Het betekent dat de fundamentele ideeën elkaar voorveronderstellen en in afzondering betekenisloos zijn. Zijn belangrijkste boek 'Process and Reality' [5] is een bijzonder lastig te lezen boek. Veel hulp heb ik gehad van het boek 'Doet God ertoe? Een interpretatie van Whitehead als bijdrage aan een theologie van God's handelen' [6] van de hand van Palmyre M.F. Oomen.

Zij zegt ondermeer het volgende: 'De nadruk ligt bij Whitehead op de interpretatie, het met elkaar in verbinding brengen van esthetische, morele en religieuze ervaringen en die welke hun oorsprong vinden in de natuurwetenschappen. Whitehead stelt echter niets vast. Hij formuleert een denkkader waarbinnen onze ervaringen geïnterpreteerd kunnen worden. De ultieme bouwstenen van de werkelijkheid zijn gebeurtenissen, waarin het vreemde eigen wordt. Dit is een zichzelf scheppende gebeurtenis. Zo'n gebeurtenis is een proces en geen toestand. Het werkelijk zijnde bij Whitehead is een worden'

Einde van het citaat.

Vragen over de werkelijkheid hebben mij al van kind af aan bezig gehouden. Wat is werkelijk en wat is droom? Waaruit is materie opgebouwd en wat is eigenlijk leven? Door de weg van de natuurwetenschappen in te slaan en in het bijzonder die van de fysisch-organische chemie is mijn inzicht in moleculen en materie enorm vergroot. Gelijktijdig werd ik me ook steeds meer bewust dat het in de natuurwetenschappen om een geabstraheerde, vereenvoudigde werkelijkheid gaat. Dat er dus iets ontbreekt, dat je iets mist.

Daarnaast werd ik mij later steeds meer bewust van de belangrijke rol die taal speelt in ons denken.

Zonder taal geen denken.

Dus ons denken is door taal bepaald.

Ons begrijpen van de werkelijkheid drukken we in taal uit. Dat kan de gewone spreektaal zijn, het vakjargon, de wiskunde (die je als taal van de natuurkunde kunt zien), de moleculaire beeldtaal van de organisch chemicus.

Ik wil daar het volgende over zeggen, waarbij ik sterk geïnspireerd ben door het

dialogisch denken van Ferdinand Ebner, dat zo mooi beschreven wordt in een recent verschenen boek van Michael Daishiro Nakajima: 'Sein – Wort – Liebe' [7] Alles wat is kan uiteindelijk als woord worden begrepen [8]. Omdat we woorden hebben, klanken hebben, taal hebben, kunnen we denken (en dus niet andersom), denken over de wereld om ons heen.

Denken is niets anders dan in jezelf spreken.

Door de taal kunnen we met andere mensen in contact komen, kunnen we ons met de ander verbinden. En het is in deze dialoog, het gesprek met de ander, dat de werkelijkheid voor ons ont-sluiert wordt, wordt ont-dekt.

Maar waar komt nu de taal vandaan?

Onze taal komt voort uit de geest.

Een geest, om met de woorden van Martin Buber te spreken [9], die aanwezig is in de dialoog, dus in de verbintenis met de andere.

Je komt daarmee tot de conclusie dat de werkelijkheid, zoals wij die begrijpen (zoals wij daar grip op hebben), uit de geest voorkomt, de geest die aanwezig is in de verbintenis met de andere.

'Geest is woord'.

Tja, dat is allemaal best ingewikkeld en ik heb het ook allemaal wel heel erg beknopt verwoord.

Toch nog iets aanvullends over de werkelijkheid.

Volgens Walter Kasper [10] kent de werkelijkheid drie dimensies.

Dat is de dimensie van de natuurwetenschappen, welke werkelijkheid gebaseerd is op herhaalbaarheid. Herhaalbaarheid van experimenten. Dat is de basis voor onze natuurwetten, die een *ant-woord* geven op onze waarom vragen.

Op zich is dat wel opmerkelijk, dit vertrouwen hebben op herhaalbaarheid, en wel omdat we allemaal wel weten dat geen dag hetzelfde is.

We kunnen het heden goed begrijpen vanuit haar antecedenten, maar we kunnen de toekomst niet precies voorspellen uit dat wat gegeven is.

Daar zit een stukje ongewisheid in, een stukje vrijheid in, zo te zeggen, waarover we kunnen beschikken.

De tweede, dieperliggende dimensie van de werkelijkheid is die van de geesteswetenschappen. Zij houdt zich bezig met het vinden van **ant-woorden** op onze waartoe vragen, onze zingevingsvragen. Belangrijk is hier ook weer de dialoog. Alleen kunnen we helemaal niets; we staan niet alleen op de schouders van onze voorgangers, maar we hebben ook steeds de andere nodig.

Deze verbondenheid met de andere is essentieel. In deze verbondenheid, in deze relatie, ziet de joodse filosoof Levinas daarbovenop nog een asymmetrie. We worden door de andere verstoord. En wel omdat de ander telkens een beroep op ons doet. In ons **ant-woord** op dat beroep moeten we dan ook geven, moeten we dienstbaar zijn aan de ander [11].

De derde dimensie van de werkelijkheid, die nog dieper ligt dan de voorgaande twee dimensies, is die van het mysterie. Deze dimensie is zo belangrijk omdat zij ons ervan bewust maakt dat we niet alles kunnen begrijpen, waardoor we ontvankelijk blijven voor de magie van de werkelijkheid.



Waar heeft u naar kunnen kijken tijdens dit laatste deel van mijn rede?

Het is een schilderij gemaakt door Paul Klee in 1927 en het heet Grenzen van het verstand.

De wiskundige verhoudingen van de lijnen onderaan het schilderij duiden op denkkraft en ratio.

Via een zwankende ladder, die intuïtie aanduidt, kunnen we hogerop komen om zo het volkomene te benaderen [12].

Toekomst chemie?

Terug nu naar de chemie. Hoe zal het verder gaan met de chemie?

We staan voor grote veranderingen, waarin we naar verwachting geleidelijk zullen gaan overschakelen van fossiele brandstoffen naar alternatieve energiebronnen, zoals wind-energie en zonne-energie. Met deze bronnen kan elektriciteit opgewekt worden. Omdat deze opgewekte electriciteit doorgaans direct moet worden gebruikt of anderszins moet worden opgeslagen, heb je een groot, complex en internationaal opererend elektriciteitsnetwerk nodig. De dan niet direct te gebruiken elektriciteit zal dan moeten worden opgeslagen, waarvoor batterijen een belangrijke optie zullen zijn. De industrie zal ook de overgang gaan maken van fossiel gedreven naar elektriciteit gedreven processen. Een begin wordt daar al mee gemaakt, zoals het programma over de e-Refinery laat zien, als ook diverse internationale activiteiten van batterijenonderzoek. Ook electro-conversie processen en electro-scheidingsprocessen zullen in het vizier komen, zodra het economisch haalbaar wordt.

Zelf heb ik onlangs een initiatief kunnen nemen, samen met Dr. Sissi de Beer van de Universiteit Twente, om een consortium op te richten op het onderwerp van de e-Membranen, dus elektrisch gedreven membraanscheidingsprocessen. Het consortium omvat alle op dit terrein in Nederland aanwezige expertisegroepen. Door het Institute for Sustainable Process Technology (ISPT) wordt onderzoek gefinancierd naar met elektriciteit geschakelde affiniteitsmaterialen voor de selectieve scheiding van bijvoorbeeld koolmonoxide en etheen uit mengsels. Ook zijn dergelijke elektrisch gedreven scheidingsmethoden hoogst interessant voor het scheiden van eiwitten uit waterige stromen. In Wageningen wordt daar op dit moment onderzoek naar verricht.

Daarnaast kan het momenteel bij Wetsus lopende onderzoek aan natrium-selectieve membranen, niet alleen interessant zijn voor toepassing in de tuinbouw, maar biedt mogelijk ook kennis en kunde voor de ontwikkeling van toekomstige natrium-ion batterijen. Veel initiatieven zijn al genomen en meer zullen er komen. Dat betekent ook dat een onderwerp als Electrochemie weer een plek zal moeten krijgen in het curriculum van de chemische opleidingen.

Dankwoord

Tot slot een woord van dank aan al degenen die een stimulerende rol in mijn leven hebben gespeeld en nog spelen. Dat zijn mijn scheikundeleraar van de HBS in Zwolle, Dr. Rosebeek, mijn promotor en goede vriend sinds vele jaren Jan Engberts, op het Shell Laboratorium Amsterdam Menno de Groot, Tiong Sie en vele collega's, aan de Universiteit Twente David Reinhoudt, Piet Bergveld, en vele collega's, aan Wageningen Universiteit Aede de Groot, Ton Marcelis, Han Zuilhof, Maurice Franssen, Teris van Beek, Geb Visser, Erik van Rozendaal, Bart Geurtsen. In het bijzonder wil ik hier Ton Marcelis noemen. In Wageningen was hij zondermeer mijn rechterhand. We begrepen elkaar goed en hebben samen leuk onderzoek gedaan aan surfactants en heel veel onderzoek aan de bijzondere vloeibaar-kristallijne materialen. De gouden handen van Arie Koudijs, voor de organische synthese van deze materialen, waren daarbij onmisbaar. Heel veel dank Ton, voor deze fijne periode van nauwe samenwerking.

Ook een woord van dank aan de vele collega's bij de TU Delft Louis de Smet, Wolter Jager, Marcel de Puit, Duco Bosma en vele collega's. In het bijzonder wil ik hier Louis de Smet noemen. Louis ken ik al vanaf zijn tijd als student en later als promovendus bij mij in de groep in Wageningen. Na zijn post-doc periode in Australië besloot hij bij mij in de nieuw op te zetten groep in Delft te komen werken. In feite heeft Louis deze groep vorm gegeven en hebben we samen tot op de dag van vandaag bijzonder leuk en nieuw onderzoek verricht. Louis heel hartelijk dank voor deze vele jaren van stimulerend en inspirerend onderzoek.

Ook een woord van dank voor de secretariële ondersteuning die ik heb genoten, Elly Geurtsen in Wageningen en Gytha Coleman, Astrid Barrow, Marian de Bruijn, Karin Wilhelm, Caroline Monna, Veby Agus en Els Arkesteijn in Delft.

Geheel niet onbelangrijk, een bijzonder woord van dank aan alle promovendi die ik heb mogen begeleiden, in Wageningen heel vaak samen met Ton Marcelis, en in Delft heel vaak samen met Louis de Smet, de vele post-docs, de bachelor en de master studenten. De ontmoeting met steeds weer nieuwe, jonge, enthousiaste

en nieuwsgierige mensen, houdt jezelf ook jong en lenig van geest.

Ook mijn dank aan onze lieve kinderen Judith, Ruth en Marten en aan mijn geliefde Marjolijn. Naast alle drukke werkzaamheden op het lab, is het altijd heel goed thuis te komen, vader en echtgenoot te zijn. Het relativeert de belangrijkheid van je werk. Het beroep dat op je wordt gedaan vervult mij met grote dankbaarheid. En deze dankbaarheid maakt mij gelukkig (vrij naar Steindl-Rast). Marjolijn is duidelijk mijn andere, zoals ik de andere voor haar ben. Ze spiegelt wie ik ben, dat verandert mij en maakt mij rijker. Heel hartelijk dank lieve Marjolijn voor de vele jaren dat we samen zijn. Lief en leed met jou te delen is de grootste van alle gaven.

Ik wil eindigen met de woorden van Heschel [13]:

'De diepste wijsheid die de mens kan bereiken is te beseffen dat het zijn bestemming is om anderen bij te staan, om dienstbaar te zijn. Wij moeten veroveren om te kunnen overgeven; wij moeten verwerven om weg te kunnen geven; wij moeten triomferen om overweldigd te kunnen worden. De mens moet begrijpen om te kunnen geloven, en kennen om te kunnen aanvaarden'

Ik kom hiermee bijna aan het slot van mijn rede en tevens ook aan het einde van mijn functie als hoogleraar aan deze mooie universiteit.

Ik heb gezegd.

Referenties

1. E.J.R. Sudhölter, Geordende moleculen in perspectief, Intreerede Landbouwniversiteit Wageningen, 16 mei 1991.
2. Lars Ruddigkeit, Ruud van Deursen, Lorenz C. Blum, and Jean-Louis Reymond, Enumeration of 166 billion organic small molecules in the chemical universe database GDB-17, *J. Chem. Inf. Model.* 52, 2864–2875, 2012.
3. E.J.R. Sudhölter, Ervaren chemie. Chemie ervaren, Intreerede TU Delft, 25 januari 2008.
4. Fritjof Capra, *The tao of physics*, Fontana/Collins, 2nd impression, 1977.
5. Alfred N. Whitehead, *Process and Reality*, Corrected edition, D.R. Griffin and D.W. Sherburne, Eds., The Free Press, New York, 1978.
6. Palmyre M.F. Oomen, *Doet God ertoe? Een interpretatie van Whitehead als bijdrage aan een theologie van Gods handelen*, Kok, Kampen, 1998.
7. Michael Daishiro Nakajima: *Sein – Wort – Liebe*, Herder, *Theologie im Dialog*, Band 25, Freiburg, 2019.
8. Fritjof Capra en David Steindl Rast, *Wendezeit im Christentum, Perspektiven fuer eine aufgeklärte Theologie*, Fischer, 2015.
9. M. Buber, *Ich und Du*, 8.Aufl. Heidelberg: Schneider, 49, 1974.
10. Walter Kasper, *Glaube und Geschichte*, Mainz: Matthias-Gruenewald Verlag, 1970.
11. Corinne Pelluchon, *Die Zeit* 33/2019, 8-8-2019.
<https://epaper.zeit.de/webreader-v3/index.html#/908395/36> .
12. Peter B. Steiner, *Grenzen des Verstandes, Christ in der Gegenwart* 22/2018.
13. Abraham Joshua Heschel, *God zoekt de mens*, Uitgeverij Abraxas, 2005; <http://www.protestantsekerkbrussel.be/achtergronden/artikelen/abraham-joshua-heschel/>.

TU Delft
Faculteit Technische Natuurwetenschappen
Afdeling Chemical Engineering

Van de Maasweg 9
2629 HZ Delft

www.tudelft.nl/cheme