

“Wetenschappelijk Onderzoek en Algemeen Belang”

De Chemie van H.R. Kruyt (1882-1959)



G.J. Somsen

JBB

198

703381

“Wetenschappelijk Onderzoek en Algemeen Belang”

Bibliotheek TU Delft



C 3002735

**“Wetenschappelijk Onderzoek en Algemeen Belang”
De Chemie van H.R. Kruyt (1882-1959)**

Geert Jan Somsen



Delft University Press / 1998

omslagfoto:

Kruyt en zijn onderzoeksgroep, poserend op het dak van het Van 't Hoff-laboratorium, aan het eind van de jaren 30. In het midden, met sigaar, Kruyt zelf; rechts van hem en iets naar achteren, zijn assistent en toekomstig opvolger Theo Overbeek; rechts naast Overbeek, met alleen voorhoofd en ogen zichtbaar, mede-assistent Sep Troelstra (later Philips); eveneens verscholen, tussen Kruyt en Overbeek in, promovendus Dirk Vermaas (later AKU); aan Kruyts rechterzij (voor ons links) promovendus en toekomstig assistent Friedrich Klaarenbeek (later Leerdamse Glasfabrieken); en geheel rechts, met pijp, promovendus Pieter Tattje (later Ministerie voor Marine). De andere afgebeelde mensen zijn studenten, gastonderzoekers en technisch personeel van Kruyt. Op de achtergrond van het omslag is één van de zalen in het Van 't Hoff-laboratorium afgebeeld.

(Vakgroep Fysische en Colloïdchemie, Utrecht, J. Suurmond)

Published and distributed by:

Delft University Press

Mekelweg 4

2628 CD Delft

The Netherlands

Telephone: +31 15 2783254

fax: +31 15 2781661

E-mail: DUP@DUP.TUDeft.NL

ISBN 90-407-1643-9 / CIP

Copyright © 1998 by G.J. Somsen

All rights reserved. No part of the material protected by this copyright notice may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying, recording or by any information storage and retrieval system, without permission from the publisher: Delft University Press.

Printed in the Netherlands

Inhoud

Voorwoord	vii
Inleiding	1
Hoofdstuk 1: De Leerschool van Bakhuis Roozeboom	9
1. Bèta in Amsterdam	9
2. Roozebooms School	10
3. Fysische Chemie	13
4. Fasenleer	15
5. Roozebooms Bouwplan	19
6. De Bouwlieden der Fasenleer	22
7. Beperkingen	27
8. De Erfenis van Roozeboom	30
Hoofdstuk 2: Bussum - Amsterdam - Utrecht	37
1. Van Bussum naar Amsterdam	37
2. De Affaire Smits	41
3. Cohen en het Van 't Hoff-lab	47
4. Een Loopbaan in Utrecht	50
Hoofdstuk 3: Een Veelbelovend Vakgebied	57
1. Voorgeschiedenis	58
2. Colloïdchemie als Discipline	64
3. Historiografie	69
4. De 'Klassiek-Chemici' in de Colloïdchemie	74
5. De Leipziger School	77
6. De Fysisch-Chemici in de Colloïdchemie	78
7. Colloïdchemie in Nederland	84

Hoofdstuk 4: Kruyts Colloïdchemisch Onderzoeksprogramma	93
1. Kruyts Richting binnen de Colloïdchemie	94
2. Eerste Onderzoekingen	97
3. Twee Getalenteerde Promovendi	106
4. De Weg naar Eenheid	117
5. Fundamentele Problemen	126
6. De AgJ-oplossing	134
7. Kruyt als Onderzoeksleider	149
8. Conclusie	164
Hoofdstuk 5: De Maatschappelijke Betekenis van Wetenschappelijk Onderzoek	167
1. Samenhang in Streven	169
2. Geëngageerd Academicus	172
3. 'Samenwerking van Wetenschap en Industrie in Nederland'	177
4. Kruyt als Industrieel Adviseur	183
5. Toegepast Onderzoek in het Van 't Hoff-laboratorium?	186
6. <i>Hooge School en Maatschappij</i>	191
7. TNO en ZWO	197
8. Succes	207
Slotbeschouwing	211
Summary	217
Bronnen en Literatuur	225
Register	233

Voorwoord

Wanneer een antropoloog zijn kamp zou opslaan in het Instituut voor Geschiedenis der Natuurwetenschappen om er de cultuur van de plaatselijke stam te bestuderen, dan zou zijn blik onherroepelijk gefixeerd raken op de koffiekamer. Want van alle ruimtes in het pand aan de Nieuwegracht te Utrecht is dit het vertrek dat de meest centrale rol speelt in het leven der Instituutsleden. Dit is de plaats waar ze dagelijks samenkomen, hier worden de verhoudingen, zowel onderling als met de buitenwereld bepaald, dit is het brandpunt van hun rituelen, zeden en gewoonten, en hier vindt de initiatie en socialisatie van nieuwkomers plaats.¹ Het is vooral het laatste aspect dat ik zelf aan den lijve heb mogen ervaren en dat is in alle opzichten een prettig en waardevol proces geweest. In een periode waarin aio's het nog zonder aio-onderwijs moesten stellen en in een vakgebied waarvoor geen directe vooropleiding bestaat, moest ik me als een afgestudeerd scheikundige in vier jaar tot historicus zien om te scholen, en dat had ik nooit op eigen houtje gekund. Aan de koffietafel kreeg ik echter een intensieve informele opleiding door middel van de onuitputtelijke gedachtewisselingen waaraan ik dagelijks kon deelnemen. Alle instituutsleden hebben zo hun aandeel gehad in mijn vorming en dientengevolge ook in de totstandkoming van dit proefschrift. En omdat die bijdragen vermoedelijk groter zijn dan zij zelf beseffen wil ik mijn informele leermeesters op deze plaats stuk voor stuk bedanken.

Allereerst het 'stamhoofd' van het Instituut voor Geschiedenis der Natuurwetenschappen, mijn promotor en begeleider prof. dr. H.A.M. Snelders. Hij is het, die me voor het eerst in het vak inwijdde en die ook daarna het meest direct bij mijn onderzoek betrokken is gebleven. Meer nog dan zijn ontzagwekkende kennis van de geschiedenis van de scheikunde is zijn stilzwijgende vertrouwen mij tot grote steun geweest. Ten tweede Rob Visser, onderkoning en co-promotor, hoewel volgens sommigen "de echte baas" van het Instituut. Ook zijn betrokkenheid heb ik van vroeg af aan mogen ervaren en zijn enigszins vaderlijke toezicht alsmede subtiele sturing hebben veel voor mij betekend. Het is niet moeilijk uit te maken welke twee stamleden de cultuur van de koffiekamer het sterkste domineren en van hun onnavolgbare betogen

1. Een interessante antropologische studie van een gemeenschap van onderzoekers, in dit geval de groep deeltjesfysici rond de Stanford Linear Accelerator Facility, is: Sharon Traweek, *Beamtimes and Lifetimes. The World of High Energy Physicists* (Cambridge, Massachusetts, 1988).

en razende redeneringen heb ik veel geleerd. Bert Theunissen, begeleider buiten dienstverband en borrelende bron van ideeën, coachte mij voortdurend en heeft een onmiskenbaar stempel op mijn werk gedrukt. Frans van Lunteren, spraakwaterval en docent in studentenvermomming, nam mij mee op uitgebreide literatuurverkenningen waarbij niet zelden de twee pauzes aan elkaar werden geknoopt. Daarnaast waren er ook nog kalmere kameraden wier vormende kracht meer op de achtergrond opereerde maar niettemin nauwelijks zwakker was. Lodewijk Palm vertegenwoordigde de menselijke factor en hield mij ook in praktisch opzicht op de been. Kees de Pater gaf op zijn eigen wijze meer steun dan wie dan ook besefte en zijn steeds betoonde respect is volkomen wederzijds.

Van groot belang waren ook de lotgenoten die mij voorgingen in de initiatie of die later zouden volgen in het proces. Rienk Vermij, René Röell, Han Heijmans en Wim van der Schoor lieten mij delen in hun ervaringen; Barbara Allart en Mark Tummers zetten de cyclus voort. Naburige stammen hadden hun eigen novieten en met Eisso Atzema, Fred Muller, Dirk van Delft, Anne van Helden, Pieter Vermaas en Fokko-Jan Dijksterhuis vergeleken we regelmatig onze voortgang in het ondergrondse GESNAT-verbond, en eenmaal zelfs samen met de Amsterdamse clan der wetenschapsdynamici. Ver weg, in San Diego, vond ik een andere kring stadiumgenoten met wie de gedachteswisselingen al even stimulerend waren. Ik ben blij dat mijn Utrechtse stamvaders mij (met enige moeite) hebben toegestaan het nest tijdelijk te verlaten om aan de University of California nieuwe indrukken op te doen. In het *Science Studies Program* daar heb ik onnoemelijk veel geleerd en met docenten als Steven Shapin, Bob Westman en Robert Kohler (en al in Utrecht Martin Rudwick) had dat ook nauwelijks anders gekund. Maar ook dichterbij huis waren er wetenschapshistorici buiten de Utrechtse familie, die mijn onderzoek in hoge mate hebben gestimuleerd. Met name Ernst Homburg, Lissa Roberts en Harmke Kamminga hebben door hun belangstelling en gesprekken (en de laatste zelfs door me tijdelijk werkruimte te geven) elk hun eigen bijdrage geleverd aan de totstandkoming van dit proefschrift. In the final stage of preparing the manuscript for publication, the staff at Arnold Thackray's Chemical Heritage Foundation has helped me greatly in various ways. Especially John Dettloff, Carla Keirns, Sally Hughes, Janine Pollock and Marge Gapp provided moral, material and always invaluable support.

Hoewel de koffiekamer belangrijk is, zou onze antropoloog er onverstandig aan doen wanneer hij zijn blik niet ook over de naburige ruimtes liet gaan. Want voor historisch onderzoek vormt het hele Instituut plus de directe ommelanden een uitgelezen omgeving. De bibliotheek (het laboratorium van de historicus) is eenvoudigweg onovertroffen, het pand en de hortus zijn als *setting* ideaal, aan de overkant bevindt zich het Universiteitsmuseum met zijn archieven en ook de UB is eigenlijk vlakbij. De toegankelijkheid van de bronnen is zodoende uitstekend geregeld en ook zoiets simpels als het binnenkomen van de tijdschriften op de koffietafel werkt optimaal. Bij de aanstaande verhuizing naar de Uithof zal een aantal zaken onvermijdelijk veranderen, maar het is te hopen dat er van het Instituut als werkplek zoveel mogelijk behouden blijft.

Toch zouden al deze voorzieningen ook voor mij zonder waarde zijn gebleven als ze niet zo ijzersterk waren bemand. Lian Hielkema was meer dan een bibliothecaresse en corrigeerde onder andere het manuscript van dit proefschrift, waarvoor ik haar meer dan dankbaar ben. Anne-Jaap van den Berg was een zeer waardig opvolger die mij niet alleen

literatuur aanreikte, maar een deel ervan zelf schreef (zie de bibliografie). Coen Ham, Ypie Lootsma en Wilca van Putten waren naast secretaresse vooral steunpilaar, elk op zijn of haar persoonlijke manier. Jan Deiman en Piet Smiesing van het Universiteitsmuseum stonden altijd klaar met hun belangstelling en bereidheid tot hulp. Van de vele mensen die mij bijstonden in bibliotheken en archieven wil ik met name bedanken: J.W. van Spronsen voor het ter beschikking stellen van KNCV-materiaal, Evert Nieuwenhuis en Renzo ten Haseborgh voor de vrije toegang tot de bewaarplaats van hun dispuut B.E.E.T.S., en J. Suurmond voor het opdiepen van foto's en overdrukken uit de collecties van het Van 't Hoff-laboratorium. Bij de vakgroep Fysische en Colloïdchemie kon ik altijd op een warm onthaal rekenen en met name prof.dr. A. Vrij en prof.dr. A.P. Philipse gaven steeds blijk van hun interesse in mijn onderzoek. De laatste was zelfs bereid zitting te nemen in de beoordelingscommissie voor dit proefschrift, waarvoor ik hem en de andere leden, prof.dr. D.G.B.J. Dieks en prof.dr. H.O. Voorma, bij deze bedank.

Een aantal personen leverde wel zeer bijzondere bijdragen aan deze dissertatie, doordat zij er zelf het onderwerp van waren of althans het hoofdonderwerp (H.R. Kruyt) van nabij hebben gekend. Prof.dr. J.Th.G. Overbeek diepte een schat aan gegevens op uit zijn geheugen en hielp mij ook in colloïdchemisch opzicht op weg. Ook dr. J.A.W. van Laar liet mij in zijn levendige herinneringen delen gedurende een uitgebreid interview. Maar het was vooral mevr. J.M. Kruyt-Kramer, de weduwe van H.R. Kruyt, die altijd bereid was mij te helpen en me daartoe menigmaal zeer hartelijk ontving. Zij haalde niet alleen herinneringen op maar gaf mij tevens de beschikking over nagelaten documenten en vormde zo op verschillende manieren een unieke bron.

Het schrijven van een proefschrift is soms letterlijk een beproeving en het is opvallend dat de meeste steun daarin komt van mensen die bij het onderzoek zelf niet betrokken zijn. Ik voel het werkelijk als een voorrecht dat ik altijd heb kunnen terugvallen op een aantal vrienden, wier verbondenheid niet zo vaak werd uitgesproken maar des te sterker werd beleefd. Met Martijn heb ik al zowat elke levensfase gelijktijdig doorlopen en ook vrijwel steeds op eenzelfde manier ervaren. Annette werd van een goede buur een verre vriendin, maar bleef voor mij vooral - het is al eens gezegd - een soort zus. Niets was zo prettig als met Margot en Bianca regelmatig het geploeter te kunnen bespreken, en dat geldt ook, zij het met geringere frequentie, voor de andere oud-studiegenoten van de Ameland-groep. Gelukkig bestond mijn vriendenkring niet alleen uit aio's en het intensieve contact met Jarko en Laure (in de beginperiode) en met Wilfried (wat later) werkte bijzonder relativerend en heeft zo ook voor mijn werk meer betekend dan zij zich realiseren.

De steun die mijn familie me gaf was even stilzwijgend als onvoorwaardelijk en juist daardoor van onschatbaar belang. Een bezoek aan Nelleke was altijd verfrissend en versterkend; Derks continue belangstelling gaf me steeds nieuwe moed; Govert beleefde wat ik beleefde; en mijn ouders vormden een thuis, zo betrokken en rustgevend als een thuis maar kan zijn. Finally and foremostly, I am indebted to Margaret - for her love, for her support, and for being with me in so many ways, even if not always geographically.

Philadelphia, januari 1998

Inleiding

Het is al vaak gezegd en nog vaker beschreven hoe in het laatste kwart van de negentiende eeuw de natuurwetenschappen in Nederland een ongekend hoge vlucht begonnen te nemen. De bloeiperiode die toen aanbrak wordt, omdat zij alleen met die van de zeventiende eeuw lijkt te vergelijken, wel de Tweede Gouden Eeuw van de Nederlandse natuurwetenschap genoemd. Het was een roemrucht en veelbesproken tijdvak, waarin de universiteiten bevolkt werden door wereldberoemde geleerden, zoals de fysici Van der Waals en Lorentz, de chemicus Van 't Hoff, de astronoom Kapteijn en de bioloog Hugo de Vries. Van de Nobelprijzen die sinds 1901 werden uitgereikt viel een bovenproportioneel aantal aan Nederlanders te beurt: behalve aan de eerste drie genoemde onderzoekers ook aan de natuurkundigen Zeeman en Kamerlingh Onnes. De wetenschapsbeoefening hier te lande stond op een bijzonder hoog peil en dat werd allerwegen erkend, nationaal zowel als internationaal en in de periode zelf zowel als door latere historici.¹

Over de Tweede Gouden Eeuw is al aardig wat literatuur verschenen en er zijn ook al vele factoren aangegeven als de mogelijke oorzaken van de opbloei. Zo is het duidelijk dat de instelling van de HBS in 1863 een grote rol speelde omdat die school de aanstormende talenten al jong de kans gaf zich grondig in de natuurwetenschappen te bekwamen. Daarnaast geldt de Hoger-Onderwijswet van 1876 als een belangrijke voorwaarde, omdat die de universiteit omvormde van een instituut voor kennisoverdracht tot een ware onderzoeksinstelling. Door de oprichting van grote, goed uitgeruste laboratoria, door ruimere budgetten voor apparatuur alsmede een forse uitbreiding van de staf boden de universiteiten na 1876 een bijzonder vruchtbare voedingsbodem voor het verrichten van vernieuwend wetenschappelijk onderzoek. Al wie er rond de eeuwwisseling werkzaam was *fungeerde* natuurlijk nog steeds als docent, maar *voelde* zich steeds meer onderzoeker. De Tweede Gouden Eeuw ging hand in hand met de opmars

1. K. van Berkel, *In het Voetspoor van Stevin. Geschiedenis van de natuurwetenschap in Nederland 1580-1940* (Meppel, 1985) hoofdstuk 5. A.J. Kox en M. Chamalaun (eds.), *Van Stevin tot Lorentz. Portretten van Nederlandse natuurwetenschappers* (Amsterdam, 1980) hoofdstuk 13 tot en met 18. J.C.H. Blom e.a. (eds.), *Een Brandpunt van Geleerdheid in de Hoofdstad. De Universiteit van Amsterdam rond 1900 in vijftien portretten* (Hilversum, 1992).

van systematisch wetenschappelijk onderzoek als een taak van de universiteit.²

Na de periode van opbouw en opbloei volgde een nieuwe episode in de Nederlandse wetenschapsgeschiedenis waarover aanmerkelijk minder is geschreven. Met name over de tijd rond het interbellum is relatief weinig bekend en blijft derhalve veel in het ongewisse - bijvoorbeeld of dit tijdvak nog tot de Tweede Gouden Eeuw gerekend moet worden of niet. Het is zeker dat de natuurwetenschap hier te lande nog geruime tijd een hoog niveau kon handhaven en dat Lorentz, De Vries en Van 't Hoff waardige opvolgers kregen in geleerden als Ehrenfest en Kramers, Went en Kluyver, en Cohen en Kruyt. Aan de andere kant is het ook duidelijk dat zich juist tussen de Eerste en de Tweede Wereldoorlog een aantal belangrijke veranderingen begon te voltrekken. Van Berkel heeft al eens gewezen op de enorme schaalvergroting die plaatsvond in het universitaire bedrijf, vooral veroorzaakt door een ongekende toename van de studenten-aantallen na 1917. Wetenschappelijk onderzoek was niet langer een zaak van een klein groepje gedreven vorsers (een hoogleraar met enkele volgelingen) maar werd steeds meer een onderneming van hele scholen in een bepaald vakgebied. Het is daarnaast ook duidelijk geworden dat tijdens het interbellum belangrijke veranderingen plaatsvonden in de verhouding van de universiteit als onderzoeksinstelling tot de rest van de Nederlandse samenleving. Het academische onderzoek kreeg nieuwe tegenhangers in de research die bij industriële firma's werd bedreven en het werk dat werd uitgevoerd in een groeiend aantal overheidslaboratoria (landbouwproefstations, keuringsinstituten en dergelijke). Het vinden van de juiste verhouding tussen deze verschillende vormen van onderzoek resulteerde onder andere in de oprichting van een tweetal belangrijke, overkoepelende organisaties: één voor Toegepast Natuurwetenschappelijk Onderzoek (TNO, in 1930) en één voor Zuiver Wetenschappelijk Onderzoek (ZWO, vlak na de Tweede Wereldoorlog). Al deze ontwikkelingen samen maken dat het interbellum enerzijds gezien kan worden als een voortzetting van de negentiende-eeuwse bloeiperiode, terwijl het tijdvak anderzijds al duidelijk de basis legde voor de zogenaamde *big science* die na de Tweede Wereldoorlog ook in Nederland opgang zou maken.³

Hoe kunnen we nu komen tot een beter begrip van het Nederlandse interbellum? Een eerste manier om het inzicht te vergroten is het bestuderen van het werk van individuele wetenschappers die een belangrijk stempel op het tijdvak hebben gedrukt. Daarmee is recentelijk een aanvang gemaakt door de publikatie van een aantal artikelen

2. Zie bijvoorbeeld Van Berkel (n. 1), *Voetspoor*, 132-138. Bastiaan Willink, "Origins of the Second Golden Age of Dutch Science after 1860: Intended and Unintended Consequences of Educational Reform", *Social Studies of Science* 21 (1991) 503-526. Jo Wachelder wijst op een verschuiving in kennisideaal van "geleerdheid" naar (een dynamischer) "wetenschap" in de tweede helft van de negentiende eeuw in: *Universiteit tussen Vorming en Opleiding. De modernisering van de Nederlandse universiteiten in de negentiende eeuw*, proefschrift Universiteit Maastricht (Hilversum, 1992). Over een groeiend "onderzoeksethos" onder fysici, zie Frans van Lunteren, "'Van Meten tot Weten'. De Opkomst van de Experimentele Fysica aan de Nederlandse Universiteiten in de Negentiende Eeuw", *Gewina* 18 (1995) 102-138.

3. Van Berkel (n. 1), *Voetspoor*, 174-177. J.J. Hutter wijst op de enorme toename in industriële en overheidslaboratoria juist tijdens het interbellum: "Nederlandse Laboratoria 1860-1940, een kwantitatief overzicht", *TGGNWT* 9 (1986) 150-174. Zie ook E.S.A. Bloemen, "Bezieling en 'esprit d'équipe'. Industriële research in Nederland in het interbellum" in: P. Boomgaard e.a. (eds.), *Exercities in ons Verleden. 12 opstellen over de economische en sociale geschiedenis van Nederland en koloniën 1800-1950* (Assen, 1981) 153-167.

over enkele onmiskenbare prominenten. Van der Schoor heeft de bekende botanie-hoogleraar F.A.F.C. Went bekeken, en zijn betrokkenheid bij de landbouwproefstations in Nederlands-Indië. Amsterdamska heeft geschreven over de bacterioloog A.J. Kluyver en zijn connecties met de industrie. Maar bovenal heeft Han Heijmans een omvangrijke studie gemaakt van L.S. Ornstein, de leider gedurende het interbellum van het laboratorium voor experimentele natuurkunde in Utrecht. Heijmans' boek is in zoverre het belangrijkste, dat het de activiteiten van zijn hoofdpersoon in de volle breedte behandelt. Beide bovengenoemde nieuwe aspecten zijn ook duidelijk in Ornsteins werk te herkennen: de ongekende grootschaligheid van het onderzoek en de nieuwe verhouding ervan tot de maatschappij. Van studies als die van Heijmans zijn er duidelijk meer nodig, al was het maar vanwege het feit dat Ornstein in sommige opzichten toch eerder een uitzondering dan een model van zijn tijd blijkt te vormen. Een meer typerende onderzoeker zowel als een uitgelezen figuur voor een voortgezette analyse is de Utrechtse chemiehoogleraar Hugo Rudolph Kruyt (1882-1959). Dit proefschrift is een studie van zijn werk.⁴

Het is al herhaaldelijk en van verschillende zijden aangegeven dat Kruyt een zeer prominente positie innam in de Nederlandse natuurwetenschap tijdens en vlak na het interbellum. Van Berkel noemde hem "een man met een vooruitziende blik" inzake de organisatie van onderzoek in Nederland en de Leidse hoogleraar W. Banning stelde dat Kruyts naam "tussen beide wereldoorlogen (...) in brede kring van intellectuelen een program [was], een teken van een geestelijke houding." De pers hield Kruyt nog tijdens zijn leven voor "een internationaal genie" en andere instanties overlaadden hem met eredoctoraten, ridderorden en andere onderscheidingen. Het is natuurlijk niet gezegd dat al die loftuitingen hem automatisch tot een groot wetenschapper maken maar zij laten wel zien dat hij in zijn tijd een gewaardeerde en vooraanstaande figuur was. Als we nagaan waar zijn reputatie precies op berustte, dan vinden we opnieuw de twee soorten van activiteiten die kenmerkend lijken voor de vernieuwingen tijdens het Nederlandse interbellum.⁵

Ten eerste berustte Kruyts goede naam op het feit dat hij de stichter en jarenlange leider was van een grootschalige en invloedrijke onderzoeksschool op het in zijn tijd zeer veelbelovende vakgebied van de colloïdchemie. Gedurende de periode van zijn hoogleraarschap, tussen 1916 en 1946, leidde hij niet minder dan 62 promovendi op, die

4. Wim van der Schoor, "Biologie en Landbouw. F.A.F.C. Went en de Indische Proefstations", *Gewina* 17 (1994) 145-161. Olga Amsterdamska, "Beneficient Microbes: the Delft School of Microbiology and its Industrial Connections" in: Pieter Bos en Bert Theunissen (eds.), *Beijerinck and the Delft School of Microbiology* (Delft, 1995) 193-214. H.G. Heijmans, *Wetenschap tussen Universiteit en Industrie. De experimentele natuurkunde in Utrecht onder W.H. Julius en L.S. Ornstein 1896-1940*, proefschrift Universiteit Utrecht (Rotterdam, 1994). Ornstein was bijvoorbeeld uitzonderlijk in de enorme hoeveelheid toegepast onderzoek die hij voor de KEMA en andere instellingen in zijn laboratorium liet uitvoeren.

5. Van Berkel (n. 1), *Voetspoor*, 206. W. Banning, "In Memoriam Hugo Kruyt", *Het Vrije Volk* (3 september 1959). Banning was een leeftijdsgenoot van Kruyt en (eveneens) een voorvechter van een sociaal bewogen christendom. "Prof. Dr. Kruyt 70 jaar. Een internationaal genie", *Utrechts Nieuwsblad* (30 mei 1952). Een prachtige en onnavolgbare biografische schets van Kruyt werd in 1933 gemaakt door zijn naaste collega, de chemie-historicus Ernst Cohen: "Hugo Rudolph Kruyt 1908-1933" in: *Hugo Rudolph Kruyt 1908-1933. Ter Herdenking van Zijn 25-Jarig Doctoraat* (Amsterdam, 1933) 2-47.

op hun beurt belangrijke posities zouden gaan bekleden, zowel aan de universiteiten (tenminste acht van hen werden zelf hoogleraar) als in de industrie (één van hen werd directeur van het Natlab van Philips). Kruyt wist steeds de grootste talenten aan zich te binden en samen met hen zeer belangrijke en blijvende bijdragen te leveren aan het elders met veel wisselender succes bedreven onderzoeksgebied. Onder zijn leiderschap groeide Utrecht uit tot één van de wereldcentra voor colloïdchemie alsmede tot één van de belangrijkste en meest aantrekkelijke plaatsen voor chemisch onderzoek in Nederland.

Naast dit werk zou Kruyt ook in veel bredere kring bekend worden door zijn activiteiten buiten het laboratorium. Gedurende de jaren 20 en 30 ontpopte hij zich als een van de spraakmakendste voorvechters van een grotere rol van wetenschap in de maatschappij en een verregaande integratie van de universiteit in de samenleving. Hij trachtte dat doel onder andere te bereiken via een voortdurende stroom van redevoeringen en publikaties (waaronder zijn veelbeproven brochure *Hooge School en Maatschappij*) en een niet aflatende dadendrang. Hij zocht op verschillende manieren samenwerking met de Nederlandse industrie, hij werkte als secretaris van de staatscommissie Went mee aan de oprichting van TNO (waarvan hij na 1946 nog zeven jaar voorzitter zou worden) en hij ontwierp na de oorlog het basisplan voor die andere overkoepelende onderzoeksorganisatie, ZWO. Rond de Tweede Wereldoorlog werd Kruyt haast automatisch bij beslissingen op dit gebied betrokken en behoorde hij zonder meer tot de invloedrijkste figuren in de organisatie van wetenschappelijk onderzoek in Nederland.⁶

De twee soorten van activiteiten waar Kruyts reputatie op berustte, lijken voor ons misschien zeer verscheiden maar vormden voor hemzelf wel degelijk een eenheid. De precieze samenhang in zijn optreden binnen en buiten het laboratorium zal in de loop van dit proefschrift duidelijk worden, maar het is goed om hier vast stil te staan bij de grootste gemene deler van de twee, en dat is *onderzoek*. Waar Kruyt namelijk enerzijds een grootscheeps programma van onderzoeken dirigeerde, daar was hij anderzijds voorvechter van een grotere rol van wetenschappelijk onderzoek in de maatschappij. En waar hij aan de ene kant een zeer bepaald wetenschappelijk streven aan de dag legde, daar zocht hij aan de andere kant naar een sterkere doorwerking van dat streven in de samenleving. Het is ook in het bevorderen van onderzoek dat zijn betekenis in meest wezenlijke zin lijkt te schuilen, veel meer in elk geval dan in het doen van een enkele grote ontdekking of het opstellen van een wereldschokkende wetenschappelijke theorie. Kruyt veroorzaakte geen omwenteling in het wereldbeeld en hij maakte zich niet onsterfelijk met een enkel groots baanbrekend idee. Zijn belang lag primair in het leiden en stimuleren van grootschalig wetenschappelijk onderzoek en vanuit dat gezichtspunt zal deze studie ook worden geschreven.

Er bestaat een subtiel maar significant verschil tussen wetenschapsgeschiedenis als een geschiedenis van onderzoek en de meer traditionele notie van het vak als een geschiedenis van ideeën. De eerste soort behandelt immers een activiteit of een handeling, terwijl de tweede soort zich concentreert op denkbeelden en theoretische

6. Voor een vroege signalering van deze activiteiten zie Arie Rip en Egbert Boeker, "Scientists and Social Responsibility in the Netherlands", *Social Studies of Science* 5 (1975) 457-484, m.n. 459-462.

voorstellingen. Een historicus van de eerste categorie zal de blik daarom vooral op het laboratoriumwerk richten, terwijl een bewandelaar van de tweede weg zich kan beperken tot de resultaten van dat werk, neergelegd in afgeronde wetenschappelijke verhandelingen. Aldus gesteld lijkt het onderscheid wellicht nog wat abstract en steriel, maar in de praktijk kan de keuze van de invalshoek wel degelijk verschil uitmaken. Bij iemand als Kruyt lijkt het bijvoorbeeld veel passender om de aandacht op zijn activiteiten als onderzoeker te richten dan op zijn 'conceptie van de werkelijkheid' of zijn 'colloïdchemische wereldbeeld'. Hetzelfde zou overigens evengoed kunnen gelden voor Kruyts generatiegenoten en voor al wie gedurende de Tweede Gouden Eeuw (en daarna) aan de universiteit werkzaam was. Zoals al is aangegeven was de universiteit na 1876 veranderd van een bolwerk waar geleerdheid gecultiveerd werd in een instelling waar met name onderzoek werd bedreven. Natuurlijk speelden wetenschappelijke ideeën ook een grote rol in het werk van de onderzoeker maar wanneer we ons uitsluitend op de denkbeelden zelf concentreren, gaan we voorbij aan de vraag *hoe* zij het werk in het laboratorium precies beïnvloedden. Ideeëngeschiedenis geeft ons een goed zicht op wat wetenschappers in het verleden *dachten*, maar laat in haar zuiverste vorm onbesproken wat zij eigenlijk *deden* - en hoe en waarom.⁷

De aandachtsverschuiving van wetenschappelijke ideeën naar de activiteit van wetenschappelijk onderzoek heeft vooral in de Angelsaksische historiografie een grote vlucht genomen. Van alle veranderingen die pakweg de laatste twintig jaar in de geschiedschrijving hebben plaatsgevonden wordt de 'shift' van 'scientific knowledge' naar 'scientific practice' voor een van de belangrijkste ontwikkelingen gehouden. Natuurlijk ontkennen ook Engelstalige historici geenszins het belang van kennis en denkbeelden in de wetenschap, maar zij hebben tegenwicht willen bieden tegen het soort van studie dat alleen een Platoonse ideeënwereld als onderwerp heeft. De belangrijkste vrucht van deze kentering is wellicht dat er een hele nieuwe geschiedschrijving van het experiment is ontstaan: een in de vroegere historiografie sterk verwaarloosd onderwerp. En een andere verworvenheid is dat de waardering van de historische context van wetenschappelijk werk is toegenomen - juist door de beschouwing van wetenschap als activiteit. Doordat onderzoek als handeling altijd een zekere doelstelling in zich draagt (hetgeen met een idee niet direct het geval is), wordt de aandacht automatisch geleid naar de omstandigheden waaronder het onderzoek werd aangevat en aldus kan de scheiding tussen zogenaamde interne en externe factoren op een heel natuurlijke manier verdwijnen. Het zal van geval tot geval verschillen in hoeverre ook religieuze, filosofische of zelfs politieke drijfveren een rol speelden (voor de geprofessionaliseerde wetenschap van de twintigste eeuw lijken die factoren op voorhand van ondergeschikt belang), maar door het nieuwe gezichtspunt zal de historicus er in elk geval steeds oog voor hebben wat een bepaalde onderzoeker trachtte

7. Voor de verandering in kennisideaal aan de universiteit, zie Wachelder (n. 2), *Universiteit*, hoofdstuk 5. Klassieke ideeëngeschiedenis komt in haar zuiverste vorm naar voren in het werk van onder andere de Frans-Russische historicus Alexandre Koyré en de Nederlander E.J. Dijksterhuis.

te bereiken. De concentratie op onderzoek en de specifieke doelstellingen ervan zal ook in deze studie van Kruyts werk haar waarde kunnen bewijzen.⁸

Nu onderwerp en invalshoek van dit proefschrift zijn aangegeven, rest nog slechts aanpak en opbouw van het boek te bespreken. Het zal duidelijk zijn dat de leidraad van de studie gevormd wordt door vragen betreffende Kruyts ontwikkeling als onderzoeker: op welke manier leerde hij aanvankelijk onderzoek bedrijven, hoe gaf hij zijn eigen onderzoeksprogramma vorm, en welke maatschappelijke rol trachtte hij zulk onderzoek in het algemeen te laten spelen? Deze kwesties plus de voortdurende vraag waar Kruyt precies naar streefde, staan centraal in de behandeling van zijn activiteiten, die is opgebouwd uit vijf hoofdstukken.

In Hoofdstuk 1 komt Kruyts opleiding aan de orde in de school van de invloedrijke en zeer charismatische chemicus Bakhuis Roozeboom. Kruyt leerde door Roozeboom een vakgebied kennen (de fasenleer) maar nog meer een bepaalde manier van onderzoek bedrijven, alsmede een aantal opvattingen over doel en methode van de wetenschap.

Hoofdstuk 2 is meer biografisch van aard en beschrijft hoe Kruyt via Abraham Kuyper in Amsterdam terecht kwam en hoe hij door een onverkwikkelijk schandaal na de dood van zijn leermeester uiteindelijk in Utrecht belandde. In de stimulerende omgeving van Ernst Cohens Van 't Hoff-laboratorium aldaar nam zijn carrière als zelfstandig onderzoeker een aanvang.

Hoofdstuk 3 geeft een introductie in het jonge onderzoeksgebied van de colloïdchemie waar Kruyt omstreeks 1912 naar overstapte en laat zien welke enorme verwachtingen (vooral op medisch en op industrieel gebied) er van dat nieuwe bestonden. Ook wordt aangegeven uit welke bestaande onderzoeksrichtingen Kruyt zijn keuze maakte.

Hoofdstuk 4 en Hoofdstuk 5 zijn daarna twee grotere hoofdstukken waarin Kruyts belangrijkste activiteiten op wetenschappelijk respectievelijk maatschappelijk gebied worden beschreven.

Hoofdstuk 4 vormt een uitgebreide analyse van het grootscheepse colloïdchemisch onderzoeksprogramma waarmee Kruyt in de scheikunde naam zou maken. Het volgt de groei van zijn school en de grote successen zowel als de diepe crises in het onderzoek. Leidende vragen zijn steeds waar Kruyt met zijn onderzoek naar streefde, welke keuzes hij maakte en hoe zijn rol als onderzoeksleider evolueerde. Dit hoofdstuk is uit de aard der zaak vrij technisch van inhoud, en hoewel ik geloof dat het ook voor iedereen zonder chemische vooropleiding begrijpelijk is, ben ik me ervan bewust dat een zekere

8. Voor een *review* van de aandachtsverschuiving van 'knowledge' naar 'practice' zie Jan Golinski, "The Theory of Practice and the Practice of Theory", *Isis* 81 (1990) 492-505, Andrew Pickering, "From Science as Knowledge to Science as Practice" in: Pickering (ed.), *Science as Practice and Culture* (Chicago, 1992) 1-26 en gedeeltelijk Ian Hacking, "Introduction" in: Jed Z. Buchwald (ed.), *Scientific Practice. Theories and Stories of Doing Physics* (Chicago, 1995). Een vroeg en helder betoog voor de beschouwing van wetenschap als een 'goal-oriented enterprise' is Barry Barnes en Donald MacKenzie, "Scientific Judgment: the biometry-Mendelism controversy" in: B. Barnes en S. Shapin, *Natural Order. Historical studies of scientific culture* (Beverly Hills, 1979) 191-210. De geschiedschrijving van het experiment gaat goeddeels terug op Steven Shapin en Simon Schaffer, *Leviathan and the Air-Pump. Hobbes, Boyle, and the Experimental Life* (Princeton, 1985). Een zeer geslaagde recente studie van de wetenschappelijke onderzoekspraktijk is Robert E. Kohler, *Lords of the Fly. Drosophila Genetics and the Experimental Life* (Chicago, 1994).

inspanning gevegd wordt. Wie niet de moeite wil nemen leze de uiteindelijke bevindingen in de concluderende paragraaf.

Hoofdstuk 5 geeft vervolgens een beschrijving van Kruyts verscheidene pogingen om het wetenschappelijk onderzoek een grotere maatschappelijke rol te laten spelen. Het gaat in op zijn socialistische achtergrond, zijn toenadering tot de chemische industrie, zijn inspanningen tot onderwijshervorming en zijn bijdragen in de totstandkoming van TNO en ZWO. Het wordt onder andere duidelijk dat Kruyts ideaalvisie van een Zuivere en een Toegepaste wetenschap heel sterk samenhang met zijn eigen manier om onderzoek te bedrijven.

Een korte slotbeschouwing vergelijkt Kruyts activiteiten met die van enkele tijdgenoten (onder andere Went, Ornstein en Kluyver) en tracht hun streven te plaatsen tegen de achtergrond van de veranderende positie van de universiteit tijdens het interbellum en de ontwikkeling van Tweede Gouden Eeuw naar naoorlogse wetenschap.



Figuur 1. Hendrik Willem Bakhuis Roozeboom (1854-1907).
(*Mannen & Vrouwen van Beteekenis in onze dagen* 37 (1907))

Hoofdstuk 1

De Leerschool van Bakhuis Roozeboom

1. Bèta in Amsterdam

In het in 1952 verschenen boekje *Wat het Leven mij geleerd heeft* blikte Prof. dr. H.R. Kruyt terug op de ontwikkeling van de natuurwetenschappen gedurende zijn leven. Het kwam hem voor dat in de loop der jaren de verschillende disciplines - biologie, scheikunde, natuurkunde - één voor één hun grootste bloei hadden doorgemaakt en de meeste aandacht op zich hadden weten te vestigen. In de tijd rond de eeuwwisseling, zo constateerde hij, was het zonder twijfel de chemie geweest die op het hoogste niveau had gestaan en waarin het meest baanbrekende werk was verricht. Het is niet moeilijk te achterhalen waar Kruyt deze visie op de ontwikkeling van zijn vakgebied had opgedaan. In september van het jaar 1900 was hij namelijk zelf scheikunde gaan studeren aan de Gemeentelijke Universiteit in Amsterdam. En hij was daar een omgeving binnengetrepen die wetenschappelijk gezien buitengewoon stimulerend was - een "Brandpunt van Geleerdheid in de Hoofdstad," zoals de UvA van toen wel werd genoemd.¹

Speciaal de bèta-faculteit beleefde in die periode een spectaculaire bloeitijd en beroemde professoren trokken er volle collegezalen. Johannes Diderik van der Waals, met wie de Tweede Gouden Eeuw zo ongeveer was begonnen, doceerde er de natuurkunde; Pieter Zeeman, net als Van der Waals Nobelprijswinnaar, stond hem daarin bij; Hugo de Vries, geneticus van wereldallure, domineerde de biologie die er werd bedreven; en de geologie was vertegenwoordigd door Eugène Dubois, de vermaarde ontdekker van de fossiele 'Aapmens van Java' (de eerste *missing link*). In de scheikunde was de aanwezigheid van Jacobus Henricus van 't Hoff (eerste Nobelprijswinnaar in zijn vakgebied) nog altijd voelbaar, ook al was die kort tevoren vertrokken naar een prestigieuze post in Berlijn. Maar ook zijn opvolger genoot internationale vermaardheid en zijn uitstraling op de studenten, zowel als zijn vormende invloed, waren misschien nog wel groter dan die van zijn voorganger. Hendrik Willem Bakhuis Roozeboom was

1. H.R. Kruyt in: J.J. van Loghem, H.J. Pos en K.F. Proost (eds.), *Wat het leven mij geleerd heeft* (Arnhem 1952) 122-126. J.C.H. Blom e.a. (eds.) *Een Brandpunt van Geleerdheid in de Hoofdstad. De Universiteit van Amsterdam rond 1900 in vijftien portretten* (Amsterdam, 1992). Het laatste boek biedt een overzicht van de bloeiperiode vanuit biografische invalshoek.

in 1896 naar Amsterdam gekomen om de leerstoel "Algemeene en Anorganische Scheikunde" te bekleden. Bij hem zou Kruyt zijn loopbaan in de chemie beginnen.²

In het nu volgende hoofdstuk zal de schoolvormende scheikunde van Bakhuis Roozeboom besproken worden, en wel in de twee vormen waarin de studenten ermee kennismaakten: om te beginnen als leerstof die zij in de collegezaal gedoceerd kregen, en vervolgens als onderzoeksprogramma, waaraan zij in het laboratorium deelnamen. Daarna wordt geanalyseerd wat de leerlingen op deze twee manieren precies van hun leermeester meekregen, met andere woorden: wat voor soort chemicus Roozebooms school uiteindelijk verliet. Maar laten we beginnen bij het eind.

2. Roozebooms School

Op 11 februari 1907 verscheen op de voorkant van een Amsterdams studentenweekblad het volgende paginavullende bericht:

Prof. BAKHUIS ROOZEBOOM is dood! Deze tijding zal de geheele geleerde wereld, de wereld die zich bezighoudt met natuurwetenschappelijke onderzoekingen, met groot leedwezen vernemen. Wat Prof. ROOZEBOOM als natuuronderzoeker betekende, zal in dit blad, naar ik hoop door bevoegde hand gememooreerd worden. Ik wilde hier alleen uiting geven aan het gevoel van zeer diepe verslagenheid, dat mij Vrijdagmiddag beving bij het vernemen van de doodstijding. Prof. ROOZEBOOM dood! Lamgeslagen verliet ik het laboratorium en op straat heb ik loopen huilen, huilen om mijn gestorven leermeester. En ben dit gaan neerschrijven om het vreemde gevoel uit me te verjagen; maar het wil niet uit me, blijft me vasthouden. Hiermee eindig ik. R.I.P.

CAND.³

Historici moeten sceptisch zijn, en zeker lofuitingen in in memoriams dient men nogal eens met een aardig korreltje zout te nemen. Maar in deze hartekreet van een anonieme kandidaatsstudent over het verlies van zijn professor, is de oprechtheid toch nauwelijks te miskennen. De verslagenheid was werkelijk groot en het werd als een "diep gevoelde slag" ervaren, toen H.W. Bakhuis Roozeboom begin 1907 plotseling overleed. Het trof de universiteit als geheel, maar met name zijn studenten, onder wie hij grote populariteit genoot.⁴

Roozeboom was een zeer geliefd docent geweest, opgeruimd en opgewekt, wiens

2. Over het beroemde werk van Van der Waals, De Vries en Van 't Hoff, zie A.J. Cox en M. Chamalaun (eds.), *Van Stevin tot Lorentz. Portretten van Nederlandse natuurwetenschappers* (Amsterdam, 1980) hoofdstuk 13, 14 en 16. Over Dubois zie Bert Theunissen, *Eugène Dubois en de Aapmens van Java. Een bijdrage tot de geschiedenis van de paleoantropologie* (Amsterdam, 1985).

3. Cand., "In Memoriam Prof. Dr. H.W. Bakhuis Roozeboom", *Propria Cures* 18 (11 februari 1907). *Propria Cures* werd in deze tijd overigens niet gekenmerkt door zijn latere handelsmerk, de satire; het was nog een echt studentenblad.

4. Roozeboom (1854-1907) overleed aan een longontsteking op 8 februari 1907 na een ziekbed van slechts enkele dagen. De schok was mede zo groot omdat zijn overlijden volslagen onverwacht kwam gezien zijn betrekkelijk jonge leeftijd en grote vitaliteit. Zie, naast de verder hier geciteerde overlijdensberichten, *Handelingen der Staten Generaal. Bijlage D: Verslag van den staat der hooge, middelbare- en lagere scholen over 1906-1907* ('s Gravenhage, 1908) xx, en voor een eerste reactie J.J. van Laar, "H.W. Bakhuis Roozeboom. Een afscheidswoord", *CW* 4 (1907) 79-81.

colleges keer op keer geroemd werden om hun buitengewone helderheid. Die van het voorkandaats werden steeds druk bezocht, maar het was vooral in het veel kleinere gehoor van het doctoraalcollege, dat zijn studenten zo met hem ingenomen raakten. Daar ontstond een goede en vruchtbare sfeer, mede doordat hij zijn betoog lardeerde met tal van geestigheden en enigszins intieme terzijdes. "Meneeren," zei hij bijvoorbeeld, als hij zijn mengkristalonderzoek introduceerde, "als ik niet wist wat WÜRTZ heeft moeten hooren, toen hij het waagde zijne uittartende uitspraak te doen: 'la chimie est une science française', dan zou ik misschien, en dan nog maar heel zachtjes, dat u 't alleen hoorde, zeggen: 'la chimie des cristaux mixtes est une science hollandaise'."⁵ Roozeboom doceerde niet alleen, maar *betrok* de studenten ook bij het werk dat in zijn laboratorium plaatsvond. Hij wist hen te enthousiasmeren om ook aan dat onderzoek deel te nemen en als één van zijn leerlingen een bijdrage te leveren aan het grootse plan: de vervolmaking van zijn vak, de fasenleer.⁶

Ik zeg "zijn", want Bakhuis Roozeboom bewoog zich op een heel eigen terrein; hij was zogezegd een *self made man* met een *self made science*.⁷ Het had hem jaren van zelfstudie gekost en hij had verschillende betrekkingen doorlopen voor hij eindelijk aan de universiteit terecht kon, als bezoldigd assistent van de Leidse hoogleraar Jacob Maarten van Bemmelen (hij had een studie zelf niet kunnen betalen). Eenmaal aangekomen was hij begonnen aan een serie bijzondere onderzoekingen. Hierin stond niet, zoals gebruikelijker was, een bepaalde stof of een bepaalde reactie centraal, maar draaide het om de *evenwichtsvoorwaarden* van reacties, waarin ook steeds verschillende fasen (vast, vloeibaar of gasvormig) optraden. Van der Waals, de Amsterdamse natuurkundehoogleraar, raakte geïnteresseerd in het Leidse onderzoek en wees Roozeboom, tijdens een samenkomst in 1886, op het werk van de Amerikaanse fysicus Josiah Willard Gibbs. Hoewel uiterst beknopt en moeilijk toegankelijk bevatten de artikelen van Gibbs de kiem van een theorie, waarbinnen de uitkomsten van de experimenten volledig begrepen konden worden. Roozeboom werkte het theoretisch raamwerk vlug uit en de contouren van het nieuwe vakgebied, de fasenleer, tekenden zich af.

Toen hij in 1896 opvolger werd van Van 't Hoff in Amsterdam, zag Roozeboom zijn kans schoon dit vak in het laboratorium ook werkelijk handen en voeten te geven. Hij stelde een reeks promovendi aan, die een systematisch onderzoeksprogramma afwerkten en elk hun bijdrage leverden aan de kennisuitbreiding binnen het nieuwe wetenschaps-

5. H.R. Kruyt, "In memoriam H.W. Bakhuis Roozeboom", *Amsterdamsche Studenten-Almanak voor 1908*, 78 (1907) 43. J. Olie Jr., "Enkele persoonlijke herinneringen aan Bakhuis Roozeboom uit mijn Amsterdamse tijd. (1898-1907)", *CW* 50 (1954) 758-761.

6. H.R. Kruyt, "Eeuwerdenking Bakhuis Roozeboom", *CW* 50 (1954) 753. Voor de waardering van het onderwijs zie de Collegeverslagen in de achtereenvolgende jaargangen van de *Amsterdamsche Studenten-Almanak* en de meeste hier genoemde terugblikken. Een aardig inzicht in de indruk van een medicus van Roozebooms college geeft H.J. Woltjer, "Enkele persoonlijke herinneringen aan Bakhuis Roozeboom", *Geloof en Wetenschap* 53 (1955) 101-102.

7. Van alle beschrijvingen van Bakhuis Roozebooms leven en werken is de uitgebreidste: [W.P. Jorissen en W.E. Ringer], *H.W. Bakhuis Roozeboom 1854-1907* (Haarlem, 1907; Mannen & Vrouwen van Beteekenis in onze dagen, dl. 37). Een meer gedistantieerd overzicht biedt H.A.M. Snelders *De geschiedenis van de scheikunde in Nederland. Van alchemie tot chemie en chemische industrie rond 1900* (Delft, 1993) hoofdstuk 7.

gebied - oftewel, zoals dat vaak genoemd werd, aan het "optrekken van het reusachtig gebouw der fasenleer". Met dat gebouw ontstond op die manier een school van leerlingen, die volgens de fasenleer dachten en werkten en die in de volgende decennia een belangrijk stempel op de Nederlandse chemie zouden drukken. Roozebooms opvolgers verspreidden zich en zaaiden zijn gedachtengoed verder uit. Omstreeks 1920 waren vrijwel alle leerstoelen algemene of fysische chemie bezet door geestverwanten van Roozeboom, als het al niet zijn directe leerlingen waren, en de invloed in de curricula (fasenleercolleges als een van de hoofdcomponenten van de scheikundestudie) duurde minstens tot in de jaren 50.⁸

Dit is des te opmerkelijker, omdat de fasenleer internationaal nooit die grote navolging zou vinden. Men waardeerde Bakhuis Roozeboom doorgaans hogelijk, maar slechts weinigen namen zijn denktrant over. Walter Nernst, een van de meest vooraanstaande fysisch-chemici van die tijd, vond het belang van het nieuwe vakgebied zelfs ronduit overschat - iets wat weer grote verontwaardiging opriep bij Roozebooms jonge Amsterdamse volgelingen. Maar, hoewel veel chemici mildere oordelen velden dan Nernst en zelfs een handjevol buitenlanders *zelf* fasenleeronderzoek gingen verrichten, tekent deze botsing treffend de toestand van het vak: de fysische chemie had in Nederland door de fasenleer een heel eigen en onderscheiden karakter gekregen.⁹ Kruyt herinnerde zich dat nog in de jaren 30 zijn Duitse collega Freundlich daarover zei:

jullie Nederlanders hebben iets, wat wij allemaal missen en dat we ons ook niet meer eigen kunnen maken. Jullie zijn allemaal òf leerlingen van *Roozeboom*, òf leerlingen van zijn leerlingen; jullie hanteren een gedachtengang, die voor jullie zó vanzelfsprekend is, dat je hem niet nader toelicht en jullie gebruiken een daaruit voortvloeiende nomenclatuur, die wij niet verstaan. Altijd weer benijd ik jullie om die typisch Nederlandse vorming.¹⁰

8. In 1920 was de professorenconstellatie in de fysische chemie als volgt: Leiden: Schreinemakers; Utrecht: Cohen en Kruyt; Amsterdam: Smits en Aten sr.; Groningen: Jaeger; Delft: Scheffer en Reinders. G.J. Hoytink, "Physical chemistry in The Netherlands after Van 't Hoff", *Annual Review of Physical Chemistry* 21 (1970) 1-16. Het moet gezegd worden dat Hoytink het werk van sommigen met wel erg veel gemak onder de fasenleer schaaft: de meesten van de hiergenoemde hoogleraren bewogen zich anno 1920 niet meer uitsluitend op dat gebied. Aan de andere kant: de enige uitzondering volgens Hoytink, Jaeger, verrichte wel degelijk fasenleeronderzoek, tijdens zijn verblijf aan het *Geophysical Laboratory* in de Verenigde Staten. Roozebooms invloed was wellicht het sterkst in de werkwijze van zijn leerlingen (zie elders in dit hoofdstuk) en in de onderwijscurricula waar de fasenleer nog lang prominent aanwezig bleef. Bijvoorbeeld op de Vrije Universiteit gaf J. Coops tot ver in de jaren 50 een tweejarig college fasenleer van drie uur per week. De impact van Roozebooms erfgoed mag ook blijken uit officiële herdenkingen, zoals "Een Halve Eeuw Phasenleer", *CW* 23 (1928) 405-428, waarin 13 binnen- en buitenlandse prominenten het belang van het vakgebied onderstreepden; het symposium "Eeuwherdenking Bakhuis Roozeboom", waar zowel lezingen als een tentoonstelling met Roozeboomiana georganiseerd waren, *CW* 50 (1954) 749-763; en het "Bakhuis Roozeboom Herdenkingsymposium", *CW* 51 (1955) 399-440.

9. E.H. Buchner, "Bakhuis Roozeboom en de fasenleer", *CW* 51 (1955) 401-406. Ook Ostwald en Van 't Hoff vonden dat Roozeboom te grote implicaties gaf aan de fasenregel van Gibbs. H.A.M. Snelders, "J.H. van 't Hoff en de fasenleer", *TGGNWT* 9 (1986) 10-24, m.n. 22-23. J.R. Partington, *A history of chemistry* (4 dln; London, 1964) IV, 640. Buitenlanders die wel fasenleeronderzoek verrichtten waren Wilder Bancroft te Ithaca, Arthur Day in Washington DC en Gustav Tammann te Göttingen.

10. Kruyt (n. 8), "Eeuwherdenking", 752.

Freundlichs formulering is ongetwijfeld wat aangezet, want Kruyt haalde haar aan tijdens een speciale "Eeuwherdenking" van Roozeboom en parafraseerde daarbij uit zijn geheugen. Maar één kenschets, die op zichzelf niet lovend is, komt er onmiskenbaar uit naar voren: de fasenleer als typisch Nederlandse, enigszins esoterische manier van denken en werken in de chemie.

3. Fysische Chemie

Wat was dan precies die fasenleer? Dat zal in de rest van dit hoofdstuk duidelijk worden, maar voor een goed begrip zullen we moeten beginnen met een stap terug te zetten. Zoals al even is aangegeven, was de fasenleer een deelgebied van de fysische chemie, en het is belangrijk eerst enig inzicht te krijgen in de algemene aard van dat vakgebied als moederdiscipline. Enkele inhoudelijke details zijn daarbij onontbeerlijk, juist voor een goed zicht op die globale kenmerken; in de hierna komende paragrafen zullen we die dan toespitsen op dochter fasenleer.

Onze 'stap terug' is vrij letterlijk op te vatten, want de fysische chemie was voor een goed deel ontstaan door toedoen van Roozebooms directe voorganger J.H. van 't Hoff. Van 't Hoff was vooral de theoretisch grondlegger van het nieuwe vakgebied zoals dat in de loop van de jaren 1880 gestalte had gekregen.¹¹ Fysische chemie betekende een totaal nieuwe benadering binnen de scheikunde, en de belangrijkste trekken ervan waren voor het eerst aangegeven in Van 't Hoff's opmerkelijke en buitengewoon originele monografie *Études de Dynamique Chimique*. De *Études*, verschenen in 1884, was een boek als geen ander, en de originaliteit school niet zozeer in de onderdelen - bijna elk deel berustte op reeds bestaande kennis - maar vooral in de manier waarop Van 't Hoff een reeks losstaande onderwerpen aaneen wist te rijgen tot één doorlopende verhandeling. Zijn behandelingswijze was constant, simpel, helder - en typerend voor de fysische chemie.¹²

Het probleem dat Van 't Hoff als eerste aanvatte was dat van de kinetiek van chemische reacties. Via een slimme indeling naar het aantal deelnemende moleculen wist hij dit vraagstuk tot zijn eenvoudigste vorm terug te brengen en kon hij vrij gemakkelijk wiskundige uitdrukkingen voor de reactiesnelheid opstellen. De verbonden variabelen waren de tijd en de concentratie van de stoffen, en vergelijking met experimentele gegevens bevestigde het verband. Uit de snelheidsuitdrukkingen kon Van 't Hoff vervolgens afleiden hoe de concentraties zich zouden verhouden wanneer een reactie ook 'terug' kon verlopen en de twee tegengestelde processen even snel zouden gaan. Resultaat hiervan was een vergelijking voor het chemisch evenwicht, die al eerder,

11. De samenhang tussen fysische en chemische eigenschappen van stoffen was al in het midden van de negentiende eeuw intensief onderzocht, bijvoorbeeld door Robert Bunsen en Hermann Kopp. Maar hoewel de fysisch-chemici van het eerste uur zelf graag wezen op deze illustere voorgangers, is dit werk toch alleen in retrospectief als vroegere fysische chemie te bestempelen. De belangrijkste benaderingskenmerken waren nog niet aanwezig en bovendien leidde dit onderzoek niet tot een erkend afzonderlijk vakgebied. R.G.A. Dolby, "The Emergence of a Specialty, a Case Study: Physical Chemistry" in: *Actes XIIIe Congrès International d'Histoire des Sciences* (12 dln.; Parijs, 1971) VI 29-32.

12. J.H. Van 't Hoff, *Études de Dynamique Chimique* (Amsterdam, 1884). Voor een overzicht Van 't Hoff's werk en de wetenschappelijke achtergronden ervan zie Snelders (n. 7), *Geschiedenis*, hoofdstuk 6.

maar op zichzelf staand, bekend was geworden als de massawerkingswet van Guldberg en Waage.¹³ Van 't Hoff bleef daar echter niet bij stilstaan. Door een (opnieuw al bekende) thermodynamische betrekking in te voeren kon hij afleiden hoe de ligging van het evenwicht bepaald werd door de temperatuur en de warmte die bij de reactie vrijkwam of opgenomen werd. En op een dergelijke manier wist hij vergelijkingen op te stellen die het verband gaven met de affiniteit van de reactanten (gedefinieerd als arbeid) en de "elektromotorische kracht" voor het geval elektrochemische reacties optraden.¹⁴

Van 't Hoff's nieuwe vergelijkingen bezaten een ongekeerde reikwijdte, al was het maar omdat zaken als reactiesnelheid en affiniteit van belang waren in elk deel van de scheikunde. Maar de *Études* maakte nog niet de hele fysische chemie. Naast die van Van 't Hoff waren ook de bijdragen van de Zweed Svante Arrhenius en de Duitser Wilhelm Ostwald fundamenteel voor de totstandkoming van de discipline. Samen legden zij aan het eind van de jaren 80 de basis voor een fysisch-chemische theorie die gezien werd als het belangrijkste resultaat en tegelijk als de kern van het nieuwe vakgebied: de theorie van verdunde oplossingen. Net zoals in de *Études*, werd bij het opstellen van de theorie van verdunde oplossingen een aantal reeds bekende betrekkingen verbonden en werden beschouwingswijzen ontleend aan de thermodynamica. Het lukte om uiteenlopende oplossingseigenschappen als osmotische druk, vriespuntsdaling en dampspanning onder één noemer te brengen en alle te zien als kinetische effecten van de opgeloste deeltjes in de vloeistof - analoog aan die van moleculen in een gas. Daarbij moest wel worden aangenomen - en dit was Arrhenius' inbreng - dat de moleculen van stoffen als zouten en zuren (preciezer gezegd: van 'elektrolyten') in de oplossing splitsten in elektrisch geladen deeltjes, die "ionen" werden genoemd.¹⁵ Omdat deze hypothese zowel gewaagd als succesvol bleek te zijn, gingen de fysisch chemici van het eerste uur in Duitsland wel als de "Ioner" door het leven.¹⁶

Het belang van de theorie van verdunde oplossingen zowel als van de *Études* is niet alleen gelegen in de kennisuitbreiding die zij verschaften, maar ook en vooral in de nieuwe *benadering* waarvan ze het produkt waren. De manier waarop Van 't Hoff, Arrhenius en Ostwald chemische problemen aanpakten, vormde een enorme

13. De Noorse wiskundige Guldberg en chemicus Waage hadden in 1867 de massawerkingswet opgesteld in de vorm $k p q = k' p' q'$ waarin p , q , p' en q' concentraties van reactanten resp. produkten zijn, en k en k' constanten. Guldberg en Waage gingen echter niet, zoals Van 't Hoff, uit van compenserende heen- en terugreacties (dynamisch evenwicht), maar van een statisch evenwicht van elkaar opheffende chemische krachten. Zie *Ostwald's Klassiker der Exakten Wissenschaften* no. 104 (Leipzig, 1899).

14. Overigens had al in de jaren 1870 J. Willard Gibbs een complete thermodynamica van chemische verschijnselen opgesteld, waarin chemisch evenwicht en de samenhang met temperatuur, elektromotorische kracht etc. werden behandeld. Het duurde echter tot 1892 (toen Wilhelm Ostwald een vertaling uitbracht) tot dit werk onder chemici belangstelling vond. Deze 'vertraging' wordt doorgaans geweten aan Gibbs' droge, abstracte stijl, die voor chemici te moeilijk en te ongebruikelijk was. Zie Martin J. Klein, "Josiah Willard Gibbs" in C.C. Gillispie (ed.), *Dictionary of Scientific Biography* (New York, 1980) V, 386-393; en L.P. Wheeler, *Josiah Willard Gibbs. The history of a great mind* (New Haven, 1952), over Gibbs' 'miskennis': pp. 93-105.

15. H.A.M. Snelders, "J.H. van 't Hoff's Theorie van de Verdunde Oplossingen (1886)", *TGGNWT* 10 (1987) 2-19. G. Somsen, *Problemen van Oplossingen. Openbare les Vrije Universiteit, 28 november 1973* (s.l., s.a.) 3-11.

16. Robert Scott Root-Bernstein, *The Ionists: founding physical chemistry, 1872-1920*, proefschrift Princeton University, microfilmuitgave (Ann Arbor, 1980).

vernieuwing in de scheikunde en zou karakteristiek worden voor de hele fysische chemie. De fysisch-chemische benadering onderscheidde zich op vele fronten van die van de bestaande vakgebieden (de organische en anorganische chemie), maar twee punten zouden wellicht het meest kenmerkend worden. Ten eerste: de fysisch-chemici gebruikten steeds betrekkingen uit de *thermodynamica*, die oorspronkelijk binnen de natuurkunde waren opgesteld, en die zij vrijelijk toepasten op chemische processen. Deze transfer van fysica naar scheikunde zou zich later verbreden tot het gebruik van ook andere theorieën en tot de overname van experimentele methoden uit de natuurkunde. Ten tweede, en misschien nog belangrijker: het *object* van onderzoek was veranderd in de fysische chemie - het was niet langer de chemische stof. Stoffen, met hun uiteenlopende eigenschappen en wederzijdse gedragingen, vormden van oudsher hét onderwerp van de scheikunde, de organische zowel als de anorganische en het was de taak van de chemicus om de samenstelling van stoffen te achterhalen (analyse) of om nieuwe stoffen te maken (synthese). Daartoe was in de eerste plaats kennis van een veelheid aan substanties en hun specifieke kenmerken noodzakelijk. Een fysisch-chemicus als Van 't Hoff bekommerde zich echter nauwelijks om de eigenaardigheden van de stoffen die in zijn vergelijkingen figureerden. Bijvoorbeeld in de *Études* ging het hem veel meer om het verloop van het proces of de ligging van het evenwicht, en van de vele ter illustratie aangehaalde verbindingen was in feite alleen hun concentratie, uitgedrukt in de variabele *C*, van belang.¹⁷ Wat wel het object van onderzoek zou worden komt het beste naar voren in de theorie van verdunde oplossingen, want een oplossing was natuurlijk niet zozeer een stof als wel een samenstel van verschillende stoffen: een "chemisch systeem". En chemische systemen zouden hét nieuwe onderzoeksdoelwit gaan vormen van de fysische chemie.

4. Fasenleer

Net als de fysische chemie gebruikte de fasenleer *thermodynamica* en net als de fysische chemie onderzocht zij chemische systemen. De fasenleer werd dan ook in het algemeen, ook door haar grondlegger, beschouwd als een dochterdiscipline van dat grotere vakgebied. Maar ondanks die omstandigheid was zij in haar benadering en potentiële werkteerrein nauwelijks minder revolutionair. In een voordracht voor de verzamelde *Deutsche Naturforscher und Ärzte* introduceerde Bakhuis Roozeboom de fasenleer als volgt:

Es ist eine ganz neue Chemie, die wir hier beschäftigt sind, auf der Basis der Phasenlehre aufzubauen, und die Umgestaltung, die unsere Wissenschaft dabei erfährt, ist wichtiger als mancher vermutet. Wir haben uns etwa 100 Jahre beschäftigt, die wichtigsten chemische Individuen aufzuspüren und kennen zu lernen; die Phasenlehre fangt jetzt an, ihre sozialen Verhältnissen zu studieren.¹⁸

17. We zien dit bijvoorbeeld treffend in de manier waarop Van 't Hoff reacties indeelde. Hij nam niet meer de soorten reactanten of producten als uitgangspunt, maar het *aantal* deelnemende moleculen, ongeacht van welke substantie. Een meer uitgebreide en scherpe karakterisering van de fysische chemie is te vinden in: John W. Servos, *Physical Chemistry from Ostwald to Pauling. The Making of a Science in America* (Princeton, 1990) hoofdstuk 1.

18. H.W. Bakhuis Roozeboom, *Die Bedeutung der Phasenlehre. Vortrag gehalten in der 72. Versammlung Deutscher Naturforscher und Ärzte zu Aachen, September 1900* (Leipzig, 1900) 25.

"*Chemische Individuen*," aldus Roozeboom, vormden een genoegzaam bestudeerd onderwerp; het was tijd dat een nieuw vakgebied zich, als een scheikundige sociologie, ging richten op de verhoudingen *tussen* individuele substanties. Dat deed de fasenleer. Het samenstel van stoffen vormde zodoende haar object, net als in de gehele fysische chemie, maar het verschil met de rest van dat vak was, dat men zich daarin steeds beperkte tot de gedragingen van homogene systemen, van oplossingen in het bijzonder. De systemen waar de fasenleer zich op richtte, waren juist bij uitstek *heterogeen*: ze bevatten steeds verschillende, fysisch gescheiden lichamen. Die lichamen, in vaste, vloeibare en/of gasvormige toestand, waren de 'fasen', en de fasenleer had tot doel de evenwichten tussen die fasen volledig te beschrijven.¹⁹

Dat kón - en daar lag een ander verschil met de overige fysische chemie, waar men het vaak moest stellen met onvolmaakte beschrijvingen en benaderingen van de verschijnselen. De theorie van verdunde oplossingen bijvoorbeeld gold in feite alleen exact voor oneindig verdunde oplossingen. De pretenties van de fasenleer gingen verder: zij bezat de mogelijkheden om haar heterogene systemen, bij wisselende omstandigheden als druk en temperatuur, wél volledig te beschrijven. Nu moet gezegd worden, dat dat ook niet gebeurde door theorie alleen; een beschrijving kwam voort uit een mengeling van theorie en empirische gegevens van het betreffende systeem. Maar laten we niet vooruitlopen en beginnen bij het belangrijkste.

Hét instrument bij de bestudering van heterogene evenwichten was een wet, die door J.W. Gibbs uit de thermodynamica was afgeleid: de fasenregel. Deze stelde restricties aan het bestaan van het aantal verschillende fasen, afhankelijk van de omstandigheden. Om een voorbeeld te geven: de fasenregel dicteerde dat een systeem van water en ijs (2 fasen), bij een eenmaal gekozen druk slechts bij één temperatuur kan bestaan; verandert men die, dan zal één van beide fasen verdwijnen. Zo'n conclusie was bijzonder eenvoudig te bereiken omdat de fasenregel in wezen niet meer was dan een simpele optelsom: $n - r + 2 = F$, oftewel: het aantal componenten (samenstellende stoffen), min het aantal fasen, plus 2, geeft het aantal vrijheidsgraden van het systeem (vrijheidsgraden zijn omstandigheden die vrij gevarieerd kunnen worden). In het aangehaalde voorbeeld was er 1 component (de stof water), waren er 2 fasen (ijs en vloeibaar water) en dus bezat het systeem $1 - 2 + 2 = 1$ vrijheidsgraad. De druk kon daarom nog vrij worden gekozen, maar de temperatuur lag vervolgens vast.

Nu waren de conclusies in zulke simpele gevallen nogal triviaal: het bovenstaande zegt bijvoorbeeld in wezen niet méér, dan dat water een vast smeltpunt heeft. Maar bij ingewikkelder systemen werden de gevolgtrekkingen uit de fasenregel minder vanzelfsprekend. Lang bestaande problemen konden dan plots worden opgehelderd. Een voorbeeld dat Roozeboom zelf graag aanhaalde, betrof de ontleding van kalk (CaCO_3) in ongebluste kalk (CaO) en koolzuurgas (CO_2), bij een bepaalde temperatuur. Bij deze ontleding bleek de druk van het koolzuurgas namelijk op mysterieuze wijze constant te blijven, hoezeer men het ook samenperste of juist liet expanderen. De fasenregel maakte dit verschijnsel echter direct begrijpelijk: het systeem bestond uit 2 componenten (het

19. De fasenleer werd daarom ook wel "heterogene evenwichtsleer" genoemd; de homogene evenwichten vielen onder de overige fysische chemie. Roozebooms leerboek van het vakgebied droeg de titel *Die heterogenen Gleichgewichte vom Standpunkte der Phasenlehre* (5 dln; Braunschweig, 1901-1918). Mijn weergave van de fasenleer in deze paragrafen is voornamelijk op dit boek en de hier aangehaalde redevoeringen gebaseerd.

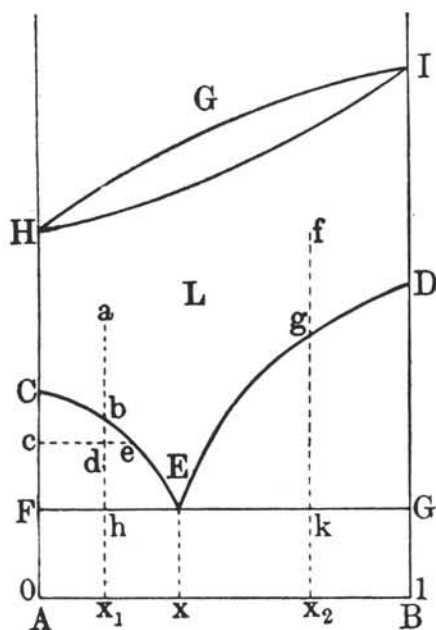
samenstellende CaO en CO_2) en uit 3 fasen (de twee 'kalken' en het koolzuurgas), en dus bedroeg het aantal vrijheidsgraden $2 - 3 + 2 = 1$. Bij een eenmaal gekozen temperatuur *kon* de druk zodoende niet meer veranderen.²⁰ Net als dit voorbeeld waren er vele verschijnselen die voorheen problematisch en moeilijk te begrijpen leken, maar die in de nieuwe benadering evident en volkomen doorzichtig werden. De fasenleer had zogezegd een hoog puzzel-oplossend vermogen.

Roozebooms bedoeling met de fasenleer strekte echter verder dan het oplossen van oude puzzels. Het ging uiteindelijk om het volledig beschrijven van het gedrag van allerhande systemen. Daartoe kon in principe de thermodynamica, waarop de fasenregel gebaseerd was, verder en meer specifiek worden uitgewerkt, maar Roozeboom neigde zelf meer naar een andere methode. Liever dan op wiskundige formules verliet hij zich op een nieuw soort grafische notatie dat hij mét de fasenleer had ontwikkeld: het fasendiagram.²¹ In een fasendiagram waren de mogelijke vrijheidsgraden (zoals bijvoorbeeld druk en temperatuur) tegen elkaar uitgezet, en de lijnen in het vlak gaven weer onder welke omstandigheden er fasen verdwijnen of ontstaan. De tussen de lijnen ingesloten deelvlakken correspondeerden zodoende met bepaalde combinaties van fasen, zoals die tussen de betreffende temperatuur- en drukgrenzen kunnen voorkomen. Anders gezegd: de vlakken representeerden de toestanden van het systeem. Het vereiste zeker enige oefening om een fasendiagram vlot te kunnen interpreteren, en nog meer om het zelf op te kunnen stellen. Figuur 2 geeft daarover enkele details, aan de hand van een instructievoorbeeld uit Roozebooms leerboek. Hoofdpunt hier is echter de grote doelmatigheid van de notatiemethode: een fasendiagram bevatte *volledige* informatie over een heterogeen systeem en de bestaansdomeinen van alle fasen die het kon vormen.

Nu figureerden in een voorbeelddiagram als dat van Figuur 2 nog slechts de hypothetische substanties A en B, maar wanneer het concrete stoffen beschreef, kon een fasendiagram grote praktische betekenis krijgen. Niet alleen de vaste en vloeibare vormen van de componenten konden erin worden aangegeven, maar bijvoorbeeld ook hun gezamenlijke kristallen (mengkristallen) of een onderlinge chemische verbinding. En dat laatste was natuurlijk voor de hele scheikunde van belang: zelfs het verloop van chemische reacties kon nu immers door de fasenleer worden beschreven. In 1900 bracht Bakhuis Roozeboom het systeem ijzer/koolstof in kaart, een zeer gecompliceerd geval vanwege de talloze vaste fasen die het kon vormen: verschillende modificaties van ijzer, mengkristallen en inderdaad een chemische verbinding van ijzer en koolstof. Voor de productie van staal was het diagram echter bijzonder interessant, want men kon eruit opmaken via welke routes gietijzer, weekijzer, kortom alle soorten ijzer/koolstof-fasencombinaties

20. Roozeboom haalde dit geliefde voorbeeld ook meteen al aan in de inleiding van zijn leerboek. Zie *ibid.*, I, bd. 1, 2-3. Voor de reden achter de identificatie van CaO en CO_2 als componenten, en definities van begrippen als component, fase etc. in het algemeen, zie *ibid.*, hoofdstuk 1. Het is overigens interessant na te gaan hoe de fasenregel dit systeem kon blijven beschrijven bij een voortgaande verkleining van het volume. De druk, zoals gezegd, nam daarbij niet toe, chemisch gezien doordat samengeperste het CO_2 -gas zich steeds direct met CaO verbond, tot CaCO_3 . Op een gegeven moment zou het gas echter opraken en samenpersing van de twee overblijvende kalken zou de druk natuurlijk wel enorm doen stijgen. Maar zonder gas was er ook één fase minder, en de fasenregel voorspelde dan één vrijheidsgraad meer: de druk was vrij geworden.

21. E.H. Büchner, "Vorwort" in *ibid.*, II, bd. 2, v. Ook A.C. van Rijk van Alkemade, leraar aan de HBS te Apeldoorn, leverde belangrijke bijdragen aan de ontwikkeling van grafische voorstellingen van fasenevenwichten. Zie Snelders (n. 7), *Geschiedenis*, 152.



Figuur 2. Een fasendiagram was niet zomaar een grafiek. Wie wist wat er langs de assen stond uitgezet, kon er daarom nog niet moeiteloos wijs uit worden. Naast enige aanvullende informatie, bijvoorbeeld over het soort fasencombinaties waarmee de deelgebieden corresponderen, was een speciaal getraind leesvermogen geen overbodige luxe - een vaardigheid die Roozebooms leerlingen met de paplepel kregen ingegeven.

Dit diagram heeft (zoals de meeste) betrekking op een systeem van twee componenten: de stoffen A en B. Zo'n systeem heeft in potentie drie vrijheidsgraden: druk, temperatuur en de mengverhouding tussen A en B. In de praktijk werd echter vaak de druk constant gehouden (omdat men met open vaten werkte) en in de figuur werden daarom slechts twee variabelen uitgezet: verticaal de temperatuur (van 0 tot oneindig) en horizontaal de mengverhouding (van 0 tot 100% B). Ieder punt in de figuur correspondeert nu met een toestand en fasensamenstelling van het systeem. Bijvoorbeeld in punt f heeft het systeem een temperatuur H (links aflezen), een A/B-verhouding van x_2 (onder aflezen), terwijl beide componenten vloeibaar zijn en volledig gemengd tot één fase (dit blijkt uit de hoofdletter L in het gebied - een ervaren lezer zou het echter direct weten). Laten we nu de temperatuur dalen (rechte lijn naar beneden), dan gebeurt er niets, tot we belanden in punt g. Daar begint de stolling en dus ontstaat er een tweede fase. Dit betekent volgens de fasenregel dat het systeem een vrijheidsgraad minder heeft en dat temperatuur en mengverhouding niet langer onafhankelijk zijn: verandert de één, dan moet de ander volgen. Als we het systeem verder afkoelen zal de mengverhouding dan ook volgens lijn g-E veranderen: de vloeistof bevat relatief steeds meer A. Het stolsel is namelijk zuiver B en de toestand dáárvan correspondeert met een punt op de rechter grafiekas. In E is uiteindelijk het laagste smeltpunt bereikt: nu stolt alles uit. Dat betekent echter nóg een fase meer (die van puur A) en weer een vrijheidsgraad minder. Het systeem is nonvariant geworden en bij verdere warmteonttrekking zal noch de temperatuur, noch de mengverhouding van de resterende vloeistof veranderen. Het systeem blijft in punt E (het 'eutectische' punt) tot alle vloeistof verdwenen is en er nog slechts twee fasen (vast A en vast B) bestaan.

(H.W. Bakhuis Roozeboom, *Die heterogenen Gleichgewichte vom Standpunkte der Phasenlehre. Zweites Heft, Systeme aus zwei Komponenten. Erster Teil* (Braunschweig, 1904) 157)

konden worden gefabriceerd.²² Een heel andere toepassing kreeg de fasenleer in de aardwetenschappen, waar men uitgaande van de huidige samenstelling, in een fasendiagram na kon gaan via welke route zich gesteenten hadden gevormd, met andere woorden: wat hun geologische voorgeschiedenis was. Deze strategie werd met name uitgewerkt in het *Geophysical Laboratory* te Washington DC, een instituut dat dan ook grote belangstelling ontwikkelde voor het werk en de leerlingen uit Roozebooms school.²³ Maar tragisch genoeg heeft de leermeester zelf dit nauwelijks meer mogen meemaken.

5. Roozebooms Bouwplan

Tot zover de fasenleer in boekvorm. Dat wil zeggen: wat we tot dusverre van het vakgebied hebben gezien geeft vooral weer wat er in de leerboeken over was geschreven en wat Roozeboom in de inleidende colleges aan zijn studenten doceerde. Maar daarmee is nog niets gezegd over het fasenleeronderzoek zoals dat door Roozeboom werd geleid en vormgegeven. Om daarop zicht te krijgen zullen we de blik moeten verplaatsen van de collegezaal naar het laboratorium (van de *Lehre* naar de *Forschung*) en van de fasenleer in de boeken naar de fasenleer in bedrijf. Hét bindende element tussen die twee is wat Roozeboom vaak "het gebouw" noemde: een classificatieschema van alle chemische systemen en de ordening in de wereld van de fasenleer zoals hij die voor ogen had. Dit gebouw was theoretisch van oorsprong maar het gaf, bijna letterlijk, het kader aan voor het experimentele onderzoek. Wanneer we dus iets willen begrijpen van hoe theorie en experiment zich in Roozebooms laboratorium verhielden, en op welke manier hij het onderzoek liet uitvoeren, dan zullen we ons rekenschap moeten geven van de aard en de achtergrond van die zo vaak gebruikte metafoer.

Toen hij in zijn Leidse tijd kennismakte met het werk van Gibbs, en de fasenregel zijn experimenten zo sterk bleek te verhelderen, had Roozeboom tevens geprobeerd de geschiktheid ervan "als Klassifikationprinzip" na te trekken.²⁴ De Gibbsse begrippen konden wellicht ook ter categorisering worden gebruikt van alle mogelijke fasenevenwichten en Roozeboom werkte daartoe een theoretisch indelingsschema (het "bestek van het gebouw") zelf uit. Chemische systemen zouden in eerste instantie moeten worden ingedeeld naar hun *aantal* componenten, zodat die van één component, de binaire systemen, de ternaire systemen, etc. elk als hoofdklasse verschenen. Binnen die categorieën kon Roozeboom vervolgens subgroepen onderscheiden op grond van het mogelijk ver-

22. H.W. Bakhuis Roozeboom, "Eisen und Stahl vom Standpunkte der Phasenlehre", *ZPC* 34 (1900) 436-487.

23. Het *Geophysical Laboratory*, onder leiding van Arthur Day, was in januari 1907, vlak voor Roozebooms dood, door de *Carnegie Institution* opgericht. *Who's who in America* 12 (1922-1923) 882-883; A.F. Holleman, "H.W. Bakhuis Roozeboom, in Memoriam. Rede, uitgesproken op 14 Februari 1907, bij de hervatting der colleges na zijn overlijden", *CW* 4 (1907) 128; zie ook Ernst Cohen, "Hugo Rudolph Kruyt 1908-1933" in: *Hugo Rudolph Kruyt 1908-1933. Ter Herdenking van Zijn 25-Jarig Doctoraat* (Amsterdam, 1933) 20.

24. Roozeboom (n. 18), *Bedeutung*. Roozeboom gaf de fasenregel een groot aantal uiteenlopende functies, die Gibbs zelf er nooit expliciet aan had toegekend, en hing er zo, veel meer dan de Amerikaan, een heel onderzoeksgebied aan op. Gibbs had aan de fasenregel niet meer dan vijf pagina's besteed. *The Scientific Papers of J. Willard Gibbs* (New York, 1961) I, 96-100. Zie ook Wheeler (n. 14), *Josiah Willard Gibbs*, 79-80 en A. Findlay, *The Phase Rule and its Applications* (New York, 1923).

loop van de lijnen in het fasendiagram. Bij het catalogiseren van deze hoofdpatronen hield hij natuurlijk voortdurend in gedachte naar wat voor werkelijke systemen de diagrammen verwezen: mengkristallen, chemische verbindingen, ontmengende vloeistoffen - alle correspondeerden met typen van fasendiagrammen en met een eigen "kamer" in het bestek van het gebouw.²⁵

Toen Roozeboom het theoretisch schema ook daadwerkelijk ging toepassen op "das angehäufte Material" uit laboratorium en literatuur, en hij de uit de praktijk bekende voorbeelden dus echt ging indelen, bleken deze systemen steeds prachtig in de voorziene 'kamers' onder te brengen. Langzaam doemde er een structuur op in de wereld der chemische systemen, die grote indruk maakte op Roozeboom: dit was geen willekeurige administratie, hier werd een verborgen ordening blootgelegd. Allerlei voorheen onzichtbare verbanden kwamen plotseling naar voren:

Analogien, die früher verborgen geblieben waren, kamen (...) ans Licht, der Charakter vieler dunkler Erscheinungen stand auf einmal fest; Phasenkomplexe, die früher nie die Aufmerksamkeit auf sich gezogen hatten, kamen zu Vorschein. Aber mehr noch zeigten sich die Lücken im systematischen Gebäude und es entstand ein eifriges Bemühen, dieselben durch neue Untersuchungen auszufüllen.²⁶

Talrijke nieuwe inzichten kortom, met vérstreckende gevolgen. De analogieën bijvoorbeeld brachten een enorme vereenvoudiging met zich mee.²⁷ Systemen die chemisch gezien (dat wil zeggen in de aard van de stoffen) sterk verschilden, kwamen niettemin vaak op dezelfde plaats terecht. Ze vertoonden dan overeenkomstig gedrag, hadden fasendiagrammen van gelijke vorm en behoorden dus tot hetzelfde type. Hierdoor ontstond niet alleen onverwachte samenhang waar voorheen slechts verscheidenheid had geheerst, maar het werkgebied van de fasenleerchemicus werd er ook aanzienlijk door verkleind. Roozeboom rekende voor, hoe "verbijsterend" omvangrijk dat anders zou zijn geweest, wanneer elk specifiek systeem "even belangrijk ware en de sterk afwijkende individuele natuur der componenten steeds weer tot nieuwe typen (...) aanleiding gaf." Dan zouden evenveel gevallen moeten worden bekeken als er combinaties van

25. Roozeboom (n. 18), *Bedeutung*, 7-14 (paragraaf "Die Phasenregel als Klassifikationsmittel"). Roozeboom noemde hier ook de door Wilder D. Bancroft voorgestelde classificatie naar aantal vrijheidsgraden, die eveneens belangrijke analogieën onthulde. Hierin werden evenwel systeemtoestanden (nonvariant, monovariant, etc.) ingedeeld, niet de systemen zelf. Roozebooms "gebouw" refereerde aan de eerste classificatiewijze.

26. Roozeboom (n. 19), *Die heterogenen Gleichgewichte I*, bd. 1, 7-8. Roozeboom gebruikte precies dezelfde formulering in zijn rede *Die Bedeutung der Phasenlehre*, met uitzondering van de laatste zin, waarvoor in de plaats kwam: "und mit Eifer wandte sich die Untersuchung der Ergänzung der Lücken zu, die die Klassifikation zuerst hatte sehen lassen." Roozeboom (n. 18), *Bedeutung*, 11.

27. Naast de hier genoemde inzichten opende het classificatiesysteem voor Roozeboom ook nog andere, waaronder bijvoorbeeld de 'verticale' analogieën: verbanden tussen systemen van verschillend componentenaantal. Maar het was bovenal de eenvoud die het systeem blootlegde, die zo'n grote indruk maakte op zijn ontdekker - een religieus gevoelde indruk overigens. Roozeboom was een bij uitstek christelijk gemotiveerd natuuronderzoeker, en voor hem toonde het systeem primair de "Goddelijke wereldorde, die zich ook op dit gebied der natuur openbaart, en welke die menigvuldige verscheidenheid terugleiden laat tot eenige weinige grondgedachten." H.W. Bakhuis Roozeboom, *De tegenwoordige stand van de problemen der chemie. Rede uitgesproken op den jaardag der Universiteit van Amsterdam, 8 Januari 1904* (Leiden, 1904) 27. Over Roozeboom als religieus natuurwetenschapper, zie R. Hooykaas, "Hendrik Willem Bakhuis Roozeboom (1854-1907), grondlegger der fasenleer", *Geloof en Wetenschap* 53 (1955) 68-77.

componenten mogelijk zijn, en dat was alleen al voor binaire stelsels een gigantische hoeveelheid.²⁸

De belangrijkste openbaring van het gebouw waren evenwel de "Lücken". Tegelijk met het onderbrengen van de bekende systemen bracht de indeling namelijk aan het licht waar nog leemten zaten: ze toonde plaatsen van typen systemen die mogelijk bestonden, maar nog nooit waren waargenomen of afdoende geïdentificeerd. Zodoende volgde uit de classificatie een duidelijk programma voor verder speurwerk, en dit werd inderdaad het plan dat Roozeboom zou volgen. Toen hij in Amsterdam arriveerde had hij zijn onderzoeksprogramma dan ook al helder voor ogen en hij schakelde zijn leerlingen in bij de systematische uitvoering ervan. Iedere promovendus kreeg één of enkele systemen te onderzoeken, die steeds een voorbeeld vormden van een nog onbekend type. Uit het theoretisch verloop van de fasendiagramlijnen kon Roozeboom het gezochte gedrag al globaal voorspellen en op grond daarvan koos hij een combinatie van stoffen uit, waarvan hij vermoedde (afgaande op literatuur en ervaring) dat die dat gedrag ook daadwerkelijk zou vertonen. De promovendus werd vervolgens belast met het in kaart brengen van het uitgekozen systeem. Met behulp van geschikte experimentele methoden tastte hij de bestaansgrenzen van alle fasen af, trok de gevonden overgangslijnen, en stelde uiteindelijk het fasendiagram op. Daarmee was de beschrijving van het systeem volledig volbracht en het promotieonderzoek voltooid. De meeste proefschriften eindigden in een (veelal uitslaande) plaat met het fasendiagram.²⁹

Op deze manier vormde Roozebooms classificatieschema het kader waarbinnen zijn onderzoek plaatsvond. Stap voor stap werd iedere leemte opgevuld, of werd, in de trant van die veelgebruikte metafoer, "het gebouw opgericht". Want het bestek daarvoor mocht reeds gegeven zijn, zonder de uitwerking in het laboratorium stond het gebouw zelf er nog niet. Staande aan het begin, bij zijn inauguratie in 1896, schetste Roozeboom de vorderingen: de benedenverdieping, met de systemen van één component, was praktisch gereed; aan de tweede verdieping, met de binaire stelsels, werd druk gewerkt.

De derde verdieping moet de evenwichten in stelsels van drie stoffen omvatten. Haar bouwtrant is boven alle beschrijving ingewikkeld; de verscheidenheid der groepeerings bijna onafzienbaar groot. Toch is de bouw begonnen en zijn plannen voor de voortzetting er van uitgewerkt. Middelerwijl heeft een enkele waaghals het beproefd reeds een stuk muur voor de vierde verdieping op te trekken, hoewel de binten der derde nog niet gelegd waren. En daarboven kunnen wij voortgaan tot in het oneindige, want het aantal samenvoegingen van stoffen is onbepaald. Het gevaar voor duizelig worden is wel is waar groot, en de moeite om het materiaal naar boven te brengen neemt steeds toe, - maar de prikkel tot voortbouwen laat ons niet met rust; want hoe hoger wij komen, hoe schooner het vergezicht wordt, en het bestek is aanwezig dat ons leiden moet.³⁰

28. Roozeboom (n. 27), *Stand*, 18. Uit slechts honderd stoffen, zo cijferde Roozeboom, kunnen al 4950 systemen van twee en 161700 van drie componenten gevormd worden. Het totaal aantal mogelijke combinaties vormt een getal van 31 cijfers.

29. Snelders (n. 7), *Geschiedenis*, 152-155. J. Smittenberg, "Phasenleer-onderwijs en -onderzoek na Bakhuis Roozeboom", *CW* 51 (1955) 406-409. Over het fasendiagram als einddoel van elk onderzoek en volledige beschrijving van een systeem: Roozeboom (n. 27), *Stand*, 21; Roozeboom (n. 18), *Bedeutung*, 14.

30. H.W. Bakhuis Roozeboom, *De Wetenschappelijke Beoefening der Chemie. Inaugurale oratie Amsterdam* (Leiden, 1896) 18. De vergelijking werd zelfs nog verder voortgezet: Roozeboom sprak van 'kamers' op elke verdieping voor de typen systemen met overeenkomstig fasengedrag.

6. De Bouwlieden der Fasenleer

"Schone vergezichten" beloofde Roozeboom, en hij wist velen te overtuigen. Het visioen van het gebouw maakte grote indruk en menig jong chemicus voelde zich ertoe aangetrokken om mee te gaan bouwen aan dit grootse werk. En het waren niet alleen studenten maar ook enkele naaste medewerkers van Roozeboom, die door het contact met hem werden gestimuleerd om ook over te stappen en deel te gaan nemen aan zijn programma. Wanneer deze 'leerlingen' elders een betrekking kregen waarin ze onderzoek konden blijven verrichten, dan zetten zij het fasenleerwerk veelal voort en stichtten daarbij soms zelf weer een kleine school. Zo verspreidde het vak zich als een olievlek over Nederland en verwierf zich binnen een generatie een positie aan bijna alle universiteiten. Het optrekken van het gebouw werd een nationale onderneming.³¹

In Leiden bijvoorbeeld, leverde F.A.H. Schreinemakers belangrijke bijdragen aan de 'derde verdieping': het onderzoek van ternaire systemen. Hij was daar al mee begonnen in samenwerking met Roozeboom gedurende diens Leidse periode, en kon dit werk op grote schaal continueren toen hij in 1901, nog steeds aan dezelfde universiteit, benoemd werd als opvolger van Van Bemmelen. In Utrecht was het Ernst Cohen die zich intensief met de fasenleer zou gaan bezighouden. Zijn specialisme betrof de allotropie: het optreden van verschillende vaste fasen van één component, een verschijnsel dat hij bij talrijke stoffen wist aan te tonen. Cohen was al met fasenovergangen begonnen onder zijn promotor Van 't Hoff, had nadien een tijdje bij Roozeboom gewerkt, was in 1902 benoemd op de Utrechtse leerstoel algemene en anorganische chemie, en kreeg in 1904 de beschikking over een geheel nieuw laboratorium om zijn onderzoek te ondersteunen. Andreas Smits, chemicus bij de Amsterdamse gasfabrieken, die bij Roozeboom college liep en "technische chemie" doceerde, werd eveneens geïnspireerd om fasenleeronderzoek te gaan doen. Hij bekeek onder meer binaire systemen waarin één component allotropoos was, en zou dit werk voortzetten als hoogleraar in Delft en vanaf 1907, terug in Amsterdam, als opvolger van Roozeboom.³²

Naast deze oud-medewerkers waren het natuurlijk ook Roozebooms eigen promovendi die het vak van hun leermeester uitdroegen en voortzetten. Vijf van hen brachten het daarbij tot hoogleraar: W. Reinders en F.E.C. Scheffer in Delft, A.H.W. Aten sr. en E.H. Büchner in Amsterdam, en natuurlijk H.R. Kruyt in Utrecht.³³ Zij waren er mede verantwoordelijk voor dat de fasenleer een vaste plaats kreeg in de Nederlandse curricula. Maar ook volkomen buitenstaanders schakelden naar het nieuwe

31. Hoytink (n. 8), "After Van 't Hoff", 4-6. Partington (n. 9), *History IV*, 638-640.

32. Schreinemakers ontving in 1916 als eerste de "Bakhuis Roozeboom-medaille", een door de KNAW ingestelde prijs, speciaal voor onderzoek in de fasenleer. W.P. Jorissen, "F.A.H. Schreinemakers", *CW* 20 (1923) 370-371. Over Cohen, zie alle herdenkingsartikelen, *CW* 24 (1927) 474-489 en Snelders (n. 7), *Geschiedenis*, 156-158. Over Smits, zie J.M. Bijvoet, "Prof. dr. A. Smits. 4 October 1906 - 4 October 1931", en F.E.C. Scheffer, "Het 25-jarig Hoogleraarschap van Prof. Dr. A. Smits. Enkele Persoonlijke Herinneringen", *CW* 28 (1931) 554-559 resp. 560-561.

33. Reinders werd hoogleraar in 1909, Scheffer in 1917, Aten sr. in 1919 en Büchner, na een langdurig lectoraat, in 1946. Van dit viertal zou vooral Scheffer langdurig fasenleeronderzoek blijven verrichten, en nog in 1953 een leerboek op dit gebied schrijven. Zie de respectievelijke jubileum- en herdenkingsartikelen in *CW* 30 (1933) 114-138, 50 (1954) 625-627, 46 (1950) 117-119 en 46 (1950) 413-417.

vakgebied over, en zelfs van Roozebooms voorganger Van 't Hoff kon men zeggen dat hij zich in Berlijn aan de fasenleer wijdde - al typeerde hijzelf zijn onderzoek van de Stassfurtse "Salzablagerungen" nadrukkelijk anders.³⁴

Zo verspreidde de fasenleer zich over Nederland en ook naar een enkele plaats daarbuiten: snel en klaarblijkelijk ongehinderd. Maar, zoals het voorbeeld van Van 't Hoff in Berlijn al laat zien: veel van de onderzoeken buiten het Amsterdamse lab onttrokken zich aan de directe invloed van Roozeboom. Daardoor volgden deze niet altijd precies het door hem uitgedachte plan, en de systematiek van het gebouw-optrekken ging soms verloren. Steeds vaker bleek dat Roozeboom weliswaar de basis voor de fasenleer had gelegd, maar dat zijn opvolgers toch graag hun eigen koers bepaalden. Een project waarin de systematische opzet echter wel gehandhaafd bleef, was de uitgave van het leerboek *Die heterogenen Gleichgewichte*. Dit overzichtswerk van de fasenleer bestond uit vele delen en Roozeboom had het plan ervan al uitgewerkt voor hij één letter op papier zette: deel 1 zou de systemen van één component gaan behandelen, deel 2 de binaire, deel 3 de ternaire, en binnen elk deel zouden verschillende *Hefte* de bij elkaar behorende typen beschrijven - het boek volgde volledig de structuur van het gebouw. Helaas waren er nog maar twee *Hefte* voltooid toen Roozeboom overleed, maar de onderneming werd voortgezet door zijn voormalige medewerkers Schreinemakers, Büchner en Aten sr. En hoewel de verschijningsvolgorde de bouwmetafoor wat verstoorde (de derde 'verdieping' verscheen eerder dan de tweede) bleef hun project, dat nog duurde tot 1918, trouw aan de systematiek van Roozeboom.³⁵

Toch werd het programma het meest systematisch afgewikkeld in het onderzoek van Roozebooms directe leerlingen. Daarin werd kamer voor kamer ingevuld en zien we de leermeester zijn bouwplan op de meest volmaakte manier voltrekken. Roozeboom had in de krap 10 jaar die hem als hoogleraar gegeven waren niet minder dan 28 promovendi en hij liet ze bijna uitsluitend werken aan de 'tweede verdieping': het uitgestrekte terrein van de binaire systemen. Daarbinnen richtte hij hun onderzoeken op een aantal grote deelgebieden.³⁶ Het is instructief om één van die deelprojecten iets nader te bekijken

34. Snelders (n. 9), "Van 't Hoff en de fasenleer". Bakhuis Roozeboom (n. 19), *Die heterogenen Gleichgewichte* I, 8.

35. Aten sr. en Büchner konden zich gedeeltelijk baseren op de aantekeningen voor 'hun' delen, die Roozeboom had nagelaten; Schreinemakers opereerde zelfstandiger. Alle banden zijn tenslotte onder Roozebooms naam verschenen. De ondertitels van de verschillende banden volgen precies zijn systeem: Band 1: *Erstes Heft: die Phasenlehre - Systeme aus einer Komponente* (1901); Band 2: *Zweites Heft: Systeme aus zwei Komponenten. Erster Teil* (1904); Band 3: *Zweites Heft: Systeme aus zwei Komponenten*, waarvan: E.H. Büchner, *Zweiter Teil: Systeme mit zwei flüssiger Phasen* en: A.H.W. Aten, *Dritter Teil: Pseudobinäre Systeme* (1918); Band 4: F.A.H. Schreinemakers, *Drittes Heft: Die ternären Gleichgewichte. Erster Teil: Systeme mit nur einer Flüssigkeit ohne Mischkristalle und ohne Dampf* (1911); Band 5: F.A.H. Schreinemakers, *Drittes Heft: Die ternären Gleichgewichte. Zweiter Teil: Systeme mit zwei und mehr Flüssigkeiten ohne Mischkristalle und ohne Dampf* (1913). Overigens kwamen Roozebooms delen voort uit zijn college, dat dus ook de 'gebouw-opzet' had: in het eerste jaar kwamen de systemen van één component en enkele binaire stelsels aan bod, in het tweede jaar de overige binaire typen en systemen van drie componenten.

36. J.M. van Bemmelen, W.P. Jorissen en W.E. Ringer, "Hendrik Willem Bakhuis Roozeboom", *Berichte der Deutschen chemische Gesellschaft* 40 (1907) 5140-5174 behandelt Roozebooms hele onderzoek en bevat zijn bibliografie. Snelders (n. 7), *Geschiedenis*, 154 geeft een overzicht van het programma middels een tabel met promovendi en behandelde onderwerpen. Hieraan zouden nog twee deelnemers kunnen worden toegevoegd,

om enig inzicht te krijgen in de manier waarop Roozeboom het onderzoek leidde. Een mooi voorbeeld van zijn typische aanpak vinden we in het onderzoek van mengkristallen.

Systemen met mengkristallen (gezamenlijke vaste fasen van beide componenten) representeerden een groot 'gat' in het fasenleergebouw, en Roozeboom liet er dan ook een serie van promovendi aan werken. Maar geen van hun onderzoekingen vormde wat men noemt een verkenning van een nog onbekend terrein. Integendeel: Roozeboom had de verwachte uitkomsten en precieze doelstellingen al van te voren uit de theorie afgeleid. Vrij lang van tevoren zelfs, want het was nog in zijn Leidse periode dat hij de mengkristallen aan een uitputtende theoretische beschouwing had onderworpen. Daarin had hij hun systemen volledig onder het gezichtspunt van de fasenleer gebracht en bovenal weten af te leiden welke typen van mengkristalgedrag er zouden kunnen voorkomen. Het viel namelijk betrekkelijk eenvoudig te beredeneren dat het verloop van de stollingslijn (de bestaansgrens van de mengkristallen) in het fasendiagram maar een beperkt aantal mogelijkheden had. Ten eerste liep die lijn ofwel continu door het gehele diagram, in welk geval de mengkristallen in alle verhoudingen konden voorkomen, ofwel zij bestond slechts aan de randen, hetgeen stond voor beperkte vaste mengbaarheid. Binnen deze hoofdcategorieën bestonden er vervolgens nog maar enkele deelopaties: in het eerste geval kon de lijn óf voortdurend stijgen of dalen, óf een maximum vertonen, óf een minimum, en in het tweede geval bleven er zelfs maar twee mogelijkheden over. Overigens bestond Roozebooms deductie van deze gedragstypen niet alleen uit wat geschuif met diagramlijnen, maar bezat zij wel degelijk ook een thermodynamische grondslag.³⁷

Hoe dat ook zij, Roozeboom had bepaald dat er vijf typen mengkristalsystemen mogelijk zijn, en hij wilde, in Amsterdam aangekomen, hun werkelijk bestaan ook experimenteel verifiëren. Daartoe zocht hij bij alle typen voorbeeldsystemen uit, waarvan men met enige grond kon verwachten dat ze het betreffende gedrag ook daadwerkelijk zouden vertonen. Zo koos hij voor het onderzoek van de typen die mengkristallen in alle verhoudingen vormen, onder andere het componentenpaar "d- en l-carvoxime": twee stoffen waarvan de moleculen zo nauw verwant zijn (ze zijn spiegelbeeldisomeren) dat men een goede mengbaarheid, ook in kristalvorm, redelijkerwijze mocht verwachten. Voor de partiële mengkristaltypen koos Roozeboom doorgaans systemen van twee anorganische zouten die een gemeenschappelijk anion of kation bezitten, zoals de combinaties natriumnitrat - zilvernitrat en zilvernitrat - zilverjodide.³⁸

die beide assistent waren bij Roozeboom en hun onderzoek onder zijn leiding verrichtten, maar na zijn overlijden elders hun doctorsgraad zouden halen: J. Olie, die in 1907 bij Alfred Werner in Zürich promoveerde op *Gleichgewichte der isomeren Chromchlorhydrate* en W.P.A. Jonker, die in 1908 bij Schreinemakers promoveerde op *Onderzoekingen van het stelsel arseen en zuavel*.

37. H.W. Bakhuis Roozeboom, "Über die Löslichkeit von Mischkristallen, speziell zweier isomorpher Körper", *ZPC* 8 (1891) 504-530. Zie ook: Holleman (n. 23), "Bakhuis Roozeboom", 125-126; Snelders (n. 7), *Geschiedenis*, 153.

38. Jorissen en Ringer (n. 7), *Roozeboom*, 187-191. Over de samenhang tussen de keuze van voorbeeldsystemen en de oriëntatie van het wetenschappelijk onderzoek, zie de verschillende opstellen in Adele E. Clarke en Joan H. Fujimura (eds.), *The Right Tools for the Job: at work in twentieth century life sciences* (Princeton, 1992).

Maar de aard van die stoffen deed er verder weinig toe: het ging er slechts om dat ze een voorbeeld zouden vormen van een algemeen gedragstype. En het was de taak van de promovendus om te onderzoeken of het gekozen systeem inderdaad aan die eis voldeed. Dat was een spannende onderneming, want als de uitslag negatief was, stond men in feite met volslagen lege handen. Bovendien kon het gebeuren dat het systeem gedrag bleek te vertonen dat al bij een ander voorbeeld gevonden was, en ook dan was de winst gering. D.J. Hissink, die aan één van de vijf mengkristaltypen werkte, herinnerde zich dat dit laatste hem was overkomen:

Toen bij het bestuderen van mijn eerste onderwerp de volledige CT-lijn [Hissink doelt op de stollingslijn] van het stelsel KNO_3 en NaNO_3 in hoofdzaak tot het reeds door van Eijk en Cady behandelde type bleek te behoren, is dit stelsel slechts in zoverre onderzocht als nodig was, om het optreden van mengkristallen te kunnen vaststellen. Als tweede onderwerp werd daarna het stelsel natriumnitrat en zilvernitrat gekozen. Met grote belangstelling kwam Bakhuis Roozeboom iedere morgen, na zijn eerste college, naar de stand van mijn werk informeren. En groot was zijn vreugde toen bleek, dat het smeltpunt van zilvernitrat door toevoeging van natriumnitrat werd verhoogd. Daarmede was een nieuw type aan zijn theorie toegevoegd.³⁹

Hissinks tweede schot bleek dus wel raak en de opluchting was groot, ook bij zijn begeleider, die de spanning altijd met zijn onderzoekers deelde. Roozeboom volgde de vorderingen in zijn programma op de voet en hij hoopte steeds vurig, soms nog meer dan zijn promovendi, op positieve resultaten. Als een gezocht gedragstype inderdaad werd waargenomen dan kon hij "springen van enthousiasme" en meestal riep hij er direct de andere studenten bij om hen te laten delen in de vreugde. "Was er iets moois gevonden op het laboratorium," zo herinnerde zich later Jacob Olie, een andere leerling, "dan gaf hij op levendige wijze uiting aan zijn blijdschap en hij had niets liever gezien, dan dat de studenten om een interessante vondst hadden gedanst van vreugde."⁴⁰ Zulke momenten, waarop een volgende 'kamer' werd opgevuld, vormden duidelijke en feestelijke hoogtepunten op het lab en ze zijn tekenend voor de sfeer waarin de Amsterdamse 'bouwers' hun bijdragen leverden.

Geestdrift en betrokkenheid waren de meest opvallende kenmerken van Roozebooms stijl van begeleiden, maar de herinneringen van Hissink en Olie tonen ook enkele diepere karakteristieken van de manier waarop de fasenleer in Amsterdam bedreven werd. Wat bijvoorbeeld uit het verloop van Hissinks onderzoek naar voren komt, is de in wezen wat merkwaardige opdracht en impliciete doelstelling die Roozeboom aan zijn promovendi placht mee te geven. Want in feite was bevestiging van zijn theoretische verwachtingen het enig meetellende resultaat. Werd er iets anders dan het gezochte gedragstype gevonden, dan had dat eigenlijk weinig waarde en het leidde in geen geval tot bijstelling van het theoretisch beeld. De oplossing was veeleer om verder te speuren met een ander voorbeeldsysteem tot het vooraf bepaalde type wel werd gevonden,

39. D.J. Hissink, "Enige herinneringen uit de jaren 1896 tot Januari 1900 aan mijn leermeester Prof. H.W. Bakhuis Roozeboom", CW 50 (1954) 756-757.

40. J. Olie, geciteerd in: Hooykaas (n. 27), "Roozeboom", 76-77. Zie ook Olie (n. 5), "Enkele herinneringen", 759.



Figuur 3. Bakhuis Roozeboom en zijn schare van volgelingen rond 1906. Zichtbaar zijn onder andere de promovendi J. Olie, geheel linksboven; G.H. Leopold, direct naast Olie; H.R. Kruyt, de tweede van rechts achterin; F.E.C. Scheffer (de latere Delftse hoogleraar), links naast Kruyt; en Ada Prins, geheel rechts. Links van Roozeboom gezeten is zijn naaste collega A.F. Holleman (hoogleraar organische chemie), en direct achter hem staat E.H. Büchner, tevens een promovendus van Roozeboom en toekomstig colloïdchemicus alsmede hoogleraar in Amsterdam. Roozebooms opvolger A. Smits staat rechts, met sik en bijna ten voeten uit zichtbaar. (*Chemisch Weekblad* 50 (1954) 758)

hetgeen bij Hissink dus ook inderdaad gebeurde.⁴¹ Roozeboom leidde zijn onderzoeksvragen consequent uit de theorie af, maar de experimenten waren daarmee niet bedoeld om die theorie ook letterlijk te testen. Het theoretisch raamwerk vormde in de fasenleer primair het *kader* voor het onderzoek en de experimenten dienden in de eerste plaats om dat kader nader 'in te vullen'.

Overigens stoorde deze invul-doelstelling de promovendi allerminst. Want tegenover het wat beperkte repertoire van uitkomsten (bevestiging of niets) stond een zekere teamgeest en de sterke overtuiging dat het onderzoek in het Amsterdamse lab een collectieve onderneming was. Wie bij Roozeboom promoveerde, wist en voelde dat zijn eigen project nooit op zichzelf stond, maar steeds een bijdrage vormde aan een groter geheel. En de reden daarvoor was dat het bij een individueel onderzoek nooit om de bijzondere details draaide, maar altijd om de algemene vraagstelling. Niet de specifieke stoffencombinatie die men onderzocht was belangrijk, maar het algemene type waarvan

41. Over Roozebooms opdracht, zie Snelders (n. 7), *Geschiedenis*, 153. Het was natuurlijk ook mogelijk dat niet het gezochte, maar een ander nog nooit waargenomen type werd gevonden. Zulke vondsten, die overigens regelmatig voorkwamen, waren natuurlijk wel degelijk een goed resultaat.

dat systeem een voorbeeld vormde. Doordat Roozeboom zijn experimentele vraagstellingen afleidde uit de theorie, was de betekenis van de proefneming altijd ruim - in elk geval ruimer dan die van het speciale geval dat men ervoor bekeek. Een promovendus als Hissink werkte met natriumnitrat en zilvernitrat, maar hij speurde in feite naar een algemeen type mengkristalssystemen en hij wist welke plaats hij daarmee kon invullen in het hele, grote gebouw der fasenleer.

Op deze manier leidde Roozeboom een letterlijk opbouwend onderzoek en zijn aanpak stimuleerde de studenten en was over het algemeen ook zeer succesvol. Hij koos zijn voorbeeldsystemen met veel zorg uit en daardoor werden de gezochte gedragstypen ook bijna allemaal gevonden. In het mengkristalonderzoek werden tussen 1898 en 1900 vier van de vijf hoofdtypen inderdaad waargenomen, en bovendien kon een aantal bijzondere gevallen worden vastgesteld.⁴² Zodoende werd er snel een heel deel van het gebouw opgetrokken door bijna uitsluitend Amsterdams onderzoek, en het was om die reden dat Roozeboom dit onderdeel van de fasenleer "une science hollandaise" noemde. Maar ook bij de andere gebieden waarop hij zijn leerlingen liet bewegen, bleek zijn opzet doorgaans doeltreffend. De driefasenevenwichten in binaire systemen bijvoorbeeld, waren door Roozeboom in 1905 theoretisch behandeld, en al in het jaar erop kon zijn promovendus G.H. Leopold aan de hand van een uiterst geschikt voorbeeldstelsel de verwachtingen compleet bevestigen - zodanig zelfs, dat "deze onderzoeken (...) het terrein, waarop ze zich bewegen, praktisch afgesloten hebben".⁴³ Iets soortgelijks gebeurde bij de binaire systemen van optische isomeren, waarvoor Roozeboom al in 1899 vijf mogelijke typen had afgeleid, waarvan J.H. Adriani een jaar later in het lab de bevestiging vond.⁴⁴ Maar ook de experimenten aan amalgamen en metaalalliages door de promovendi Bijl, Van Heteren en Stoffel vielen mooi op de hun door Roozeboom toebedachte plaats. En zelfs de pasontdekte "vloeiende kristallen", onderzocht door A.C. de Kock en Ada Prins, wist de fasenleermeester in het systeem in te passen. In het Amsterdamse laboratorium werd steen voor steen aangedragen en zolang als Roozeboom leefde kon hij zijn gebouw gestaag zien verrijzen.

7. Beperkingen

Het succes van het Amsterdamse onderzoek was groot, maar het bleef - hoe kon het ook anders - niet zonder schaduwzijden. Want hoe vruchtbaar Roozebooms programma ook bleek, het bezat naast veel goeds ook enige negatieve aspecten die vroeger of later aan het licht zouden komen. Zoals al even is aangegeven lieten veel van Roozebooms leerlingen, zodra ze onder de vleugels van hun leermeester uit waren, het systematische

42. Holleman (n. 23), "Bakhuis Roozeboom", 123-128.

43. H.W. Bakhuis Roozeboom, "De verschillende takken der driefaselijnen voor vast, vloeibaar, damp in binaire stelsels waarin eene verbinding voorkomt", *Versl. KAW* 14 (1905) 374. Leopold behaalde zijn doctoraalexamen (7 juli 1905) en zijn doctorsgraad (26 september 1906) beide *cum laude*. Zie "In Memoriam Dr. Gerald Hildebrand Leopold (geboren te Teteringen 9 Januari 1879; overleden te Groningen 22 Februari 1931)", *CW* 28 (1931) 618-620.

44. H.W. Bakhuis Roozeboom, "Löslichkeit und Schmelzpunkt als Kriterien für racemische Verbindungen, pseudoracemische Mischkristallen und inaktive Konglomerate", *ZPC* 28 (1899) 494-517.

gebouw-programma enigszins varen, terwijl ook een flink aantal van hen de fasenleer als onderzoeksgebied überhaupt de rug zou toekeren. Deze afvalligheid had veel te maken met een aantal fundamentele beperkingen die al van begin af aan in de kern van Roozebooms scheikunde besloten lagen en die, buiten zijn enthousiasmerende uitstraling, plotseling scherp aan het licht zouden komen. Als we de verdere onderzoekscarrières van Roozebooms volgelingen - en met name natuurlijk van Kruyt - goed willen begrijpen, dan is het belangrijk om ook na te gaan welke belemmeringen de fasenleer in zich droeg, en te analyseren in hoeverre Roozebooms leerlingen die meekregen.

Eén beperking van de fasenleer is onder andere wel eens opgemerkt door G.J. Hoytink, een Nederlands fysisch-chemicus werkzaam in Engeland, die in 1970 een overzicht schreef van de ontwikkeling van zijn vakgebied in zijn vaderland: "Physical Chemistry in the Netherlands after Van 't Hoff".⁴⁵ Het kwam Hoytink voor dat de fysische chemie hier te lande in de eerste decennia van deze eeuw een tikje eenzijdig was gebleven, juist door de overheersende invloed van Roozebooms school. Hoewel op zich een geniale creatie, leed de fasenleer namelijk aan de belangrijke beperking dat zij zuiver *fenomenologisch* van aard was, dat wil zeggen: voorbijgaand aan de moleculaire en atomaire structuur van systemen. Geground in de klassieke thermodynamica hield de fasenleer zich bezig met macroscopische verschijnselen en niet met de microscopische structuur en mechanismen achter die verschijnselen. Het was bijvoorbeeld voldoende om vast te stellen dat een systeem een mengkristalfase kon vormen, zonder dat men structuur en bouw van die mengkristallen verder hoefde te onderzoeken.

Die beperkte focus zou op den duur een achterstand bewerkstelligen omdat de belangstelling van de fysische chemie zich internationaal in andere richtingen ontwikkelde. In Duitsland, Groot-Britannië en vooral Amerika, bij fysisch-chemici als Lewis en later ook Pauling, bewoog het toonaangevende onderzoek zich meer en meer op het gebied van de *structuur* van materie: van vaste stoffen en van moleculen. En om die structuur te bestuderen werden steeds vaker nieuwe methoden ontleend aan de fysica: men gebruikte röntgendiffractie om de bouw van kristallen op te helderen, introduceerde het elektron om de chemische binding te begrijpen en paste tenslotte quantummechanica toe om molecuulstructuren volledig te beschrijven. De fenomenologische thermodynamica kreeg gezelschap van andere benaderingen, en het structuuronderzoek, aangepakt met natuurkundige methoden, nam haar plaats aan het voorfront van de fysische chemie langzamerhand over.⁴⁶

Toch moeten we enige voorzichtigheid in acht nemen bij de constatering dat de fasenleer met haar fenomenologische beperking tenslotte ging 'achterlopen'. Want hoewel daar op zich weinig op af te dingen valt, is het wel een kwalificatie die we alleen met wijsheid achteraf kunnen maken. Wat 'vernieuwende' dan wel meer 'behoudende' tendensen zijn, blijkt pas duidelijk in retrospectief, en voor de fysisch-chemici aan het

45. Hoytink (n. 8), "After Van 't Hoff".

46. Servos (n. 17), *Physical Chemistry*. Hoytink zegt overigens niet met zoveel woorden dat de fysische chemie in Nederland 'achterliep' bij het buitenland - daarvoor is zijn opstel te genuanceerd en sympathiserend geschreven. Maar hij maakt wel duidelijk dat de jongere fysisch-chemici, van zijn eigen generatie, de beschrijvende, fenomenologische fasenleer al gauw "somewhat boring" vonden, en verder wilden gaan met deeltjesmodellen. De dominantie van Roozebooms school was in Nederland volgens Hoytink ook zeker een nadeel geweest.

begin van de eeuw was het allerminst een uitgemaakte zaak dat moleculaire structuur een 'moderner' onderwerp was dan fasenevenwichten. Integendeel: heterogene systemen vormden voor de tijdgenoten van Roozeboom juist een uitgesproken nieuw en aantrekkelijk onderzoeksterrein dat onterecht zo lang genegeerd was door de voorafgaande, 'klassieke' scheikunde. En het feit dat fasenleerbeschouwingen onafhankelijk waren van voorstellingen van de moleculaire en atomaire structuur van de materie werd door Roozeboom en de zijnen ook niet als een tekortkoming gezien, maar juist als een sterk punt. Zolang theorieën over atomaire structuur van materie nog onzeker waren en speculatief werden geacht, betekende die onafhankelijkheid een groot voordeel dat pas wegviel toen de onzekerheid over het bestaan van atomen rond 1910 verdween.⁴⁷

Bovendien moeten we niet denken dat de Nederlandse fysisch-chemici, in het zog van de fasenleer, aan de fenomenologische benadering vasthielden omdat ze niet anders konden of niet beter wisten. Juist de leerlingen van Roozeboom hadden op dit gebied grondige bijscholing genoten in de colleges van Van der Waals en die van Van Laar. Deze docenten legden voortdurend, en met nadruk, een koppeling tussen zuiver thermodynamische beschouwingen en voorstellingen van de moleculaire structuur van materie. Voor Van der Waals vormde die link zelfs de kern van zijn eigen onderzoek en algemeen gold zij als één van de onderscheidende kenmerken van de Nederlandse natuurkunde. Nu bewogen de fysisch-chemici zich niet direct op natuurkundig terrein, maar zij waren door dit onderwijs wel voorzien van de nodige middelen om, wanneer ze dat wilden, de stricte fenomenologie aan te vullen met deeltjesbeschouwingen.⁴⁸ En veel van hen zouden die stap ook inderdaad zetten op het moment dat ze, vroeger of later, de fasenleer als werkterrein zouden verlaten.

Een belemmering die zich op den duur wel zou wreken betrof niet zozeer de fasenleer als theorie, maar meer Roozebooms programma van onderzoek. Deze tweede beperking school, paradoxaal genoeg, in de in principe *on*beperkte voortgang daarvan, in het doorbouwen zonder einde. Roozeboom zelf verwachtte en hoopte dat het onderzoek nog decennia lang zou worden voortgezet, want "Jahrzehnte werden nötig sein, um alle die theoretisch erkannten Bilder zu verwirklichen."⁴⁹ Enig geduld was op zijn plaats, want er viel nog veel te verwachten van de volledige beschrijving van steeds complexere systemen - met name ook voor de industrie, als het bijvoorbeeld metaallegeringen betrof, of voor de geologie, als de wordingsgeschiedenis van allerlei gesteenten

47. Het onderzoek van de Parijse chemicus Jean Perrin werd rond 1910 onthaald als het definitieve bewijs voor de realiteit van atomen. Perrin had de Brownse beweging van deeltjes met colloïdale afmetingen onderzocht, en getoond dat deze goed beschreven werd door een vergelijking van Einstein, die de bewegingen koppelde aan dichtheidsfluctuaties op het atomaire niveau. Een formule die direct volgde uit een atoomvoorstelling van de materie, was hiermee bewezen, en daarmee het bestaan van atomen zelf - of althans zo werd dat alom gezien. Zelfs Wilhelm Ostwald, veruit de hardnekkigste anti-atomist, voelde zich genoopt overstap te gaan bij zulk evident bewijsmateriaal. Zie Mary Jo Nye, *Molecular Reality. A perspective on the scientific work of Jean Perrin* (London en New York, 1972).

48. H.R. Kruyt, "Afscheidscollege gehouden op Vrijdag 20 September 1946 in de Collegezaal van het Organisch Chemisch Laboratorium te Utrecht", *CW* 42 (1946) 264-270. Zie ook Hoytink zelf (n. 8), "After Van 't Hoff", 7.

49. Roozeboom (n. 18), *Bedeutung*, 21. Met betrekking tot de toepassingen in de geologie sprak Roozeboom zelfs over een eeuw.

in kaart zou worden gebracht. Maar die grote belofte liet onverlet, en eiste zelfs, dat de aldus verworven inzichten telkens tot stand zouden komen binnen het kader van de fasenleertheorie, binnen het bestek van het gebouw. Want zo programmatisch als Roozebooms bouwvisioen was, zo gesloten was zijn systematiek voor het optrekken ervan. Zoals gezegd werd het theoretisch raamwerk van de fasenleer zelf nooit ingrijpend bijgesteld en zodoende bleef hetzelfde kader het programma definiëren en afbakenen. Wat Roozebooms volgelingen restte, was dan ook welbeschouwd niet veel meer dan een invuloefening, en onder hen groeide de overtuiging dat aan de fasenleer nog maar weinig eer te behalen viel.

Aanvankelijk was daarvan nog weinig sprake, want zolang Roozeboom in leven was, wist hij zijn leerlingen steeds sterk te inspireren en te enthousiasmeren om aan zijn bouwwerk bij te dragen. Maar na zijn overlijden was die persoonlijke prikkel weggevallen en zijn opvolgers zagen zich achtergelaten met een even indrukwekkend als rigide bouwplan. Volgens J. Smittenberg, een Utrechts fasenleerbewonderaar, paarden de beoefenaars van de nieuwe generatie hun ontzag voor Roozebooms programma aan een toenemende moedeloosheid, want hoeveel nieuw materiaal zij ook aanleverden, telkens was de plaats ervoor al "door de leermeester voorzien".

Geen wonder, dat reeds omstreeks 1910 vele physico-chemici zo geïmponeerd waren door de machtige contouren van het gebouw, dat zij meenden er weinig nieuws meer aan te kunnen toevoegen. Het bouwwerk was 'klassiek', voordat het afgebouwd was: de jonge bouwers wendden zich tot nieuwe terreinen, waar ruim plaats was voor moderne bouwwerken, zoals de electrochemie, de colloïdchemie, de biochemie, de chemische bindingsleer, de kristalchemie, de atoom- en kern-physica.⁵⁰

Smittenbergs ijkpunt 1910 is misschien wat vroeg gekozen, maar het is inderdaad een feit dat de meeste van Roozebooms leerlingen, hoe belangrijk zij de fasenleer ook achtten, voor het onderzoek vroeg of laat vruchtbaarder gebieden zochten. Zelfs de voltooiers van *Die heterogenen Gleichgewichte*, waarin het gebouwde toch het langst werd voortgezet, zouden zich naast dat project tot andere terreinen wenden, en de delen voor de vierde 'verdieping' en daarboven zouden zelfs nooit meer verschijnen. Toch was de fasenleer niet doodgebloed, integendeel: omstreeks 1910 was de verbreiding van het vakgebied zelfs ongekend groot. Maar de kanalen waardoor het zijn invloed uitoefende, waren toch in toenemende mate die van de colleges. Schreinemakers en Scheffer zetten hun grootschalige en exclusieve fasenleeronderzoek weliswaar nog lange tijd voort, maar voor hun generatiegenoten was de plaats van het vak steeds vaker primair het onderwijs. Het was dáárin, dat de fasenleer haar grootste en meest langdurige betekenis kreeg - in het onderzoek bezweek Roozebooms geesteskind langzamerhand in een even visionair als verstikkend programma.

8. De Erfenis van Roozeboom

En toch. Toch zou Roozeboom ook een meer blijvende en positieve invloed uitoefenen op de activiteiten van zijn volgelingen. Want wat die van hem meekregen bleef niet beperkt tot de inhoud van de fasenleer en de voorschriften voor de uitvoering van zijn

50. Smittenberg (n. 29), "Phasenleer-onderwijs", 406.

gebouw-programma. Door de colleges te volgen en deel te nemen aan het werk in het Amsterdamse laboratorium maakten zijn leerlingen zich ook een meer algemene kijk op chemie en op chemisch onderzoek eigen die ze bij zou blijven, ook al verlieten ze vroeger of later hun oorspronkelijke vakgebied. Roozeboom zou nooit zo'n grote indruk op zijn studenten hebben gemaakt als zijn erfenis geen waarde zou hebben bezeten voorbij de grenzen van zijn eigen werkterrein, de fasenleer. In de nu volgende paragraaf zullen we dit ruimere erfgoed nader beschouwen en trachten te analyseren wat zijn studenten in algemeen opzicht van hem meekregen. Omdat dat natuurlijk van leerling tot leerling enigszins verschilde, zal de focus daarbij alvast op Kruyt gericht zijn - ook trouwens, omdat Kruyt de invloed van zijn leermeester misschien wel intensiever onderging dan wie dan ook.

Een goede manier om Roozebooms impact op het spoor te komen is door simpelweg te kijken naar wat zijn leerlingen over hem zeiden en schreven en daaruit te destilleren hoe zij hem waardeerden. En dan niet zozeer in welke mate - want dan stuiten we slechts op een stortvloed van bewonderende lofuitingen - maar meer kwalitatief: wat trof de studenten het meest in het leermeesterschap van Roozeboom? Wanneer we bijvoorbeeld de collegebesprekingen in de studenten Almanakken doornemen, dan komt een aantal zaken steeds naar voren: Roozebooms gemakkelijke manier van spreken en "glasheldere" verteltrant; zijn onderhoudende presentatie en gave om studenten te betrekken bij zijn onderwerp; en, misschien meer dan wat dan ook, zijn onnavolgbare vermogen om steeds "de feiten uit te doen komen tegen een algemeen achtergrond".⁵¹ Want wat Roozeboom in de ogen van zijn leerlingen werkelijk tot "den geleerde met ruimen blik" maakte, was dat hij weinig hechtte aan weetjes, maar steeds de afzonderlijke feiten in een groter verband beschouwde. Kruyt memoreerde na Roozebooms overlijden hoe dit bijvoorbeeld tot uiting kwam wanneer studenten over hun proeven aan de leermeester rapporteerden:

niet belast met een groote encyclopedische kennis, moest men hem de feiten van een bepaald punt vertellen, maar dan beheerschte hij de kwestie volkomen. Die wonderlijke geniale gave om de details altijd terstond in hun algemeene beteekenis te overzien, ziedaar een der eigenschappen, die hem tot zulk een voortreffelijk leermeester, maar ook tot zulk een buitengewoon geleerde maakten.⁵²

De reden waarom deze eigenschap Kruyt zo trof, was vooral het contrast dat hij erdoor ervaart met het scheikunde-onderwijs zoals hij dat kende van zijn vooropleiding aan de HBS. Als pas aangekomen student zag hij in het eerstejaarscollege "een geheel nieuw licht over zijn chemische Burgerschoolkennis" opgaan, juist vanwege de algemene verbanden waarin Roozeboom de bekende feiten steeds wist te plaatsen.⁵³ In het lesprogramma van de HBS was het vooral de bedoeling scholieren enige kennis van de verscheidenheid aan chemische stoffen bij te brengen. En het was de gewoonte om

51. In de *Amsterdamsche Studenten-Almanak*, jaarlijks uitgegeven door het studentencorps, werden doorgaans per faculteit de verschillende colleges besproken en soms bekritiseerd. Over Roozeboom was men steeds zeer positief. De hier geciteerde termen komen uit de Almanak-besprekingen.

52. H.R. Kruyt, "In Memoriam H.W. Bakhuis Roozeboom" in: *Amsterdamsche Studenten-Almanak* [voor 1908] 78 (1907) 41-44: 44.

53. *Ibid.* 42-43. Zie ook: Kruyt (n. 6), "Eeuwherdenking", 753.

daartoe, aan de hand van het periodiek systeem, één voor één de elementen te bespreken, hun specifieke eigenschappen te behandelen en in te gaan op de verbindingen die ze kunnen vormen. In wezen volgde Roozeboom in zijn "candidandi-college" precies dezelfde aanpak, maar hij behandelde de ter sprake komende onderdelen niet als losstaande feiten, maar zoveel mogelijk in het verband van meer algemene, theoretische beschouwingen. Wanneer bijvoorbeeld in verband met waterstof de synthese en elektrolyse van water aan bod kwamen, dan besprak hij die processen als illustraties van de wet der multi-pele proporties, de wet van Avogadro en de valentietheorie. Bij zuurstof behandelde hij zuren en basen in het licht van de theorie van verdunde oplossingen en elektrolytische dissociatie; zwavel koppelde hij aan allotropie, kiezelzuur aan de colloïdale toestand, etc. etc.⁵⁴ Bij Roozeboom verschoof de nadruk van specifieke stoffen naar algemeen chemische, of fysisch-chemische, principes.

Het contrast tussen deze behandelingswijze en die van de HBS werd overigens niet alleen door studenten van Roozeboom ervaren. Sommige leraren en hoogleraren zagen vanuit hún posities een dergelijke kloof. In december 1905 hield Ernst Cohen op een vergadering van de Nederlandsche Chemische Vereeniging een voordracht over "Het Onderwijs in de Chemie aan onze Hoogere Burgerscholen" en hij stelde daarin dat die opleiding over het algemeen slecht aansloot bij die van de universiteit, voornamelijk omdat de nadruk er te sterk lag op feitenkennis. Het draaide op de HBS meer om het "memoriseeren" van gegevens over stoffen dan om het zich eigen maken van "algemeene gezichtspunten".⁵⁵ Toch kon niet iedereen zich in deze constatering vinden. J.E. Enklaar, een doorgewinterd HBS-leraar van een wat oudere generatie, bekritiseerde Cohens opvattingen in een ingezonden stuk aan het *Chemisch Weekblad*, en merkte daarbij op dat de "algemeene beginselen" die Cohen in de plaats van de feitenkennis wilde stellen, wel toevallig net die van diens eigen vakgebied waren: chemisch evenwicht, elektrolytische dissociatie, moleculaire vriespuntsdaling, reactiekinetiek - wat Cohen in het lesprogramma wilde hebben waren inderdaad precies de speerpunten van de fysische chemie.⁵⁶

54. Holleman (n. 23), "Bakhuys Roozeboom", 128-130. Jorissen en Ringer (n. 7), *Roozeboom*, 203-205.

55. Ernst Cohen, "Het Onderwijs in de Chemie aan onze Hoogere Burgerscholen", *CW* 2 (1905) 805-819. Cohen herhaalde zijn standpunten een jaar later in een rede met dezelfde titel op een vergadering van de Vereeniging van Leeraren aan Inrichtingen van Middelbaar Onderwijs, speciaal gewijd aan deze kwestie. *Ibid.* 3 (1906) 529-536. Overigens baseerde hij zich waarschijnlijk overwegend op het oordeel van fysisch-chemici: hem bekende leraren, dus vermoedelijk alumni uit de Amsterdamse school, en zijn eigen ervaring met HBS-verlators.

56. J.E. Enklaar, "Eenige Opmerkingen naar aanleiding van de voordracht van Prof. E. Cohen over 'Het onderwijs in de Chemie aan onze Hoogere Burgerscholen'", *CW* 3 (1906) 21-30. Enklaar behoorde nog 'tot de oude garde' die scheikunde had gestudeerd vóór de fysische chemie was opgekomen en voor hem was die ook niet zozeer een 'grondslagenvak' maar gewoon één van de takken van scheikunde. Volgens hem zouden "de hoogleraar organische scheikunde", "de hoogleraar physiologie" en "de fabrikant" met evenveel recht als Cohen eisen kunnen gaan stellen. Over Enklaar en zijn leraarschap, zie [W.P. Jorissen], "Dr. J.E. Enklaar. 7 Mei 1870 - 7 Mei 1910", *CW* 7 (1910) 399-404. Enklaar was met Cohen en drie anderen lid van een commissie van de Vereeniging van Leeraren aan Inrichtingen van Middelbaar Onderwijs die de zaak onderzocht, maar hij stapte al na de eerste vergadering op. Het eindadvies van de commissie was in de geest van Cohens aanbevelingen; de reactiekinetiek was pas hierin toegevoegd. "Rapport van de Commissie, door het Hoofdbestuur der Vereeniging v. L. v. M. O. benoemd, ten einde te onderzoeken in hoeverre het onderwijs in

Enklaars constatering was terecht, maar toch was het niet zo dat Cohen slechts zijn eigen vak wilde doordrukken ten koste van andere chemische disciplines. Net als Roozeboom en de meeste fysisch-chemici zag Cohen zijn vakgebied niet zozeer als een specialisme *naast* de andere takken van scheikunde, maar meer als de basis *onder* al die andere terreinen. Zo bezien was het vak de leverancier bij uitstek van algemeen chemische beginselen. Want waar de kennis in de organische en anorganische chemie slechts betrekking had op specifieke stoffen of stofklassen, daar golden de fysisch-chemische wetten en begrippen steeds voor alle substanties, ongeacht hun aard. Het was om die reden dat men het vak doorgaans ook niet fysische chemie noemde, maar "algemeene chemie" of "theoretische chemie".⁵⁷ Volgens beoefenaars als Cohen en bijvoorbeeld Van Laar was de scheikunde zonder fysische chemie slechts een beschrijvend en classificerend vak geweest ("een zuiver empirische apothekerswetenschap") dat zich bezighield met het bijeenbrengen van losstaande gegevens over stoffen. Pas met de opkomst van hun eigen vakgebied had de chemie een exact wetenschappelijke grondslag gekregen, en werden de feiten omvat in een algemene, overkoepelende theorie.⁵⁸ Aldus beschouwd stond de fysisch-chemische zienswijze dus inderdaad tegenover pure feitenkennis, en het was deze tegenstelling die Kruyt in Roozebooms college herkende.

Maar het algemeen theoretische karakter van Roozebooms scheikunde kwam niet alleen in het eerstejaarscollege naar voren. Zijn eigen vak de fasenleer was niet voor niets onderdeel van de fysische chemie en bezat dus in hoge mate dezelfde trekken: specifieke gevallen en verschijnselen werden er steeds gezien tegen een algemene achtergrond. We hebben al gezien dat de fasenregel zelf gold voor alle mogelijke componenten en componentencombinaties. Het succes in het toepassen ervan werd ook vaak daaraan toegeschreven dat de regel speciale gevallen onder een enkel "algemeen gezichtspunt" stelde en zo "tot groote klaarheid" bracht.⁵⁹ We hebben ook gezien dat de analogieën die het fasenleergebouw openbaarde, ervoor zorgden dat allerlei chemisch (d.w.z. in de aard der stoffen) verschillende systemen werden samengebracht en op

de Chemie aan de H.B.S. wijziging behoeft" (Instituut voor Geschiedenis der Natuurwetenschappen, Utrecht. Overdrukkencollectie Cohen).

57. De opvatting van fysische chemie als een algemeen grondslagenvak was ook buiten Nederland wijdverbreid. Zij komt bijvoorbeeld in Wilhelm Ostwalds geschriften, met name in zijn invloedrijke *Lehrbuch der allgemeinen Chemie*, sterk naar voren. Ook het werk van W.D. Bancroft, oprichter en leider van het Amerikaanse *Journal of Physical Chemistry*, weerspiegelde een dergelijk visie. Volgens John Servos kreeg deze 'algemene' vakopvatting in de loop van de jaren 10 en 20 concurrentie van de zienswijze van andere fysisch-chemici, die hun vak als een discipline *tussen* chemie en fysica zagen. Servos (n. 17), *Physical Chemistry*, hoofdstuk 1, m.n. 3-10 en 39-45, en hoofdstuk 3 en 4.

58. Volgens Cohen was de scheikunde pas door de fysische chemie een wetenschap geworden, "in den zin, door Kant daaraan gehecht". Cohen (n. 55), "Onderwijs", (1906) 533. Zeer expliciet is J.J. van Laar in de inleiding van zijn boekje *Over den Gibbs'schen Phasenregel* (Amsterdam, 1907) 3-5. Over het theoretisch gehalte van de scheikunde vóór de fysische chemie, zie Mary Jo Nye, "Explanation and Convention in Nineteenth-Century Chemistry" in: R.P.W. Visser e.a. (eds.), *New Trends in the History of Science. Proceedings of a conference held at the university of Utrecht* (Amsterdam, 1989) 171-186.

59. Het is in dit verband belangrijk dat de theorie in de fasenleer niet *verklarend* van karakter was. De fasenregel maakte bijvoorbeeld gevallen als dat van de ontleding van kalk inzichtelijk en begrijpelijk, maar wees daarbij niet op de oorzaken van de verschijnselen. Dit niet-causale karakter van de fasenleer-beschouwingen is een aspect van de eerder geconstateerde fenomenologie.

volstrekt identieke manier konden worden beschouwd. Roozebooms 'typen' van systemen vormden dan ook vooral uit de theorie afgeleide algemene gedragsvormen waarvan de verscheidene concrete stoffencombinaties specifieke illustraties leverden. In de fasenleer stond de algemene theorie voorop, en van daar uit werden de specifieke verschijnselen beschreven en begrepen.⁶⁰

In het onderzoek speelde de theorie een soortgelijke rol, maar het is goed om die te onderscheiden van de zojuist besproken functie. Want het is één ding om een algemene theorie te gebruiken om er speciale verschijnselen begrijpelijk mee te maken, maar het is iets anders om haar te bombarderen tot het kader van waaruit een compleet onderzoeksprogramma wordt opgezet en uitgevoerd. We hebben reeds gezien dat het 'bestek' voor het gebouw al gereed was vóór het Amsterdamse onderzoek van start kon gaan, en we hebben ook gezien hoe Roozeboom voor elk experiment de vraagstelling consequent uit de theorie afleidde. Wat de studenten zodoende meekregen wanneer zij aan het programma deelnamen, was dat een enigszins omvattende theorie voorwaarde was voor het doen van onderzoek, of, zoals Kruyt zijn erfenis van Roozeboom later samenvatte, dat "den algemeenen gedachtengang (...) de achtergrond van elke probleemstelling moet zijn."⁶¹ Maar ook wat betreft het einddoel van de onderzoekingen, de manier waarop de resultaten gebruikt werden, leerden de studenten Roozebooms aanpak door ervaring kennen. Want de experimentele uitkomsten waren misschien niet meer nodig om de theorie tot stand te brengen en werden ook niet gebruikt om haar letterlijk te toetsen, maar zij dienden wel om het vooraf bepaalde kader nader 'in te vullen'. Door alle 'kamers' van concrete voorbeelden te voorzien, werd de fasenleertheorie, in Roozebooms conceptie, vervolmaakt en naar een hoger plan getild. Bij Roozeboom stond de theorie aan het begin van het onderzoek als een kaal 'bestek' en aan het einde als opgetrokken en voltooid 'gebouw'.

Een dergelijke visie op de verhouding tussen theorie en experiment was natuurlijk niet iets waarover Roozeboom expliciet doceerde. Het ging hier dan ook niet zozeer om een uitgesproken epistemologisch standpunt als wel om een manier van doen, een gewoonte om in de praktijk onderzoek te bedrijven. Als zodanig leerden de studenten de opvattingen van hun leermeester natuurlijk wel degelijk grondig kennen, al was het maar omdat ze wisten waar hun eigen experimenten vandaan kwamen en waartoe de uitkomsten van hun onderzoekingen moesten leiden. Roozebooms typische onderzoeks-aanpak was vooral impliciete leerstof voor zijn volgelingen, en als zodanig vormde het een belangrijk onderdeel van zijn erfenis - en een aspect dat ook buiten de fasenleer zijn waarde kon hebben.

Voor Kruyt gold dit alles in hoge mate. Hij maakte de manier van werken en de denkwijze van zijn leermeester zo sterk tot de zijne, dat het zijn eigen leerlingen later

60. W.D. Bancroft, die zich in Amerika met de fasenleer bezighield, volgde weliswaar niet Roozebooms gebouw-programma, maar werkte wel zeer sterk vanuit een soortgelijke 'algemene' conceptie van het vakgebied. Voor hem moest de fysische chemie, inclusief de fasenleer, vooral een "coordinate science" zijn ten opzichte van andere takken van wetenschap. John W. Servos, "A Disciplinary Program that Failed: Wilder D. Bancroft and the *Journal of Physical Chemistry*, 1896-1933", *Isis* 73 (1982) 207-232. Servos (n. 17), *Physical Chemistry*, hoofdstuk 4.

61. Kruyt (n. 48), "Afscheidscollege", 264.

voor zou komen alsof hij zelfs Roozebooms talenten had geërfd.⁶² Maar Kruyt zou de wetenschapsopvattingen zoals hij die bij Roozeboom in de praktijk had gezien en geleerd ook regelmatig onder woorden brengen - met name op momenten van bespiegeling over zijn eigen onderzoek. In 1916 maakte hij ze bijvoorbeeld onderwerp van zijn inaugurele oratie, onder de veelzeggende titel "Algemeene Theorie en Bizondere Ervaring". Hij besprak daarin de wisselwerking tussen theorie en experiment en gaf aan welke voordelen het bood wanneer die twee in de volgens hem juiste verhouding gezien werden; zo was het niet langer nodig te vrezen voor ver doorgevoerde specialisatie in het wetenschappelijk onderzoek:

Want er is specialisatie, die tot verdieping, maar ook, die tot versplintering voert. Men kan het bizondere onderdeel beoefenen zóó, dat men slechts oog heeft voor het bizondere en de algemeene vraagstellingen uit het oog verliest, men kan echter ook het diepere onderzoek van het onderdeel zóó beoefenen, dat men juist in dat gebied het verband met de algemeene problemen zoekt. In dat laatste geval brengt het gespecialiseerde onderzoek niet een zich verliezen in details mede, maar stelt het de uitkomsten van het bizondere in dienst van de oplossing der algemeene problemen. Zoo heft het alle gevaar van eenzijdigheid op en ontzeilt tegelijk de klip van oppervlakkige veralgemeening.⁶³

In het tweede deel van zijn oratie zette Kruyt uiteen hoe aldus ondernomen experimenteerwerk steeds leidde tot verheffing en vervolmaking van de theorie. Hij besprak daartoe een aantal voorbeelden van recente onderzoekingen die het inzicht in enkele chemische grondbegrippen hadden verruimd en zo de "algemeene gezichtspunten" hadden verrijkt. De theorie stond niet alleen aan het begin van het onderzoek, om de vraagstelling te leveren, maar ook aan het einde, wanneer zij door de antwoorden naar een hoger plan werd getild.⁶⁴

Het is niet moeilijk om in zulke beschouwingen het stempel van Roozeboom terug te vinden. Maar we moeten ons realiseren dat dit slechts woordelijke uitlatingen waren, terwijl Roozebooms erfenis toch primair een manier van onderzoek bedrijven betrof. Als we de uitwerking daarvan bij Kruyt willen herkennen, zullen we dus zijn eigen, colloïdchemische onderzoeksprogramma nader moeten bekijken, en dat zal dan ook uitgebreid gebeuren in latere hoofdstukken. Nu is het echter tijd om de algemene erfenis voorlopig te laten rusten, en eerst Kruyts specifieke pad naar Amsterdam, door Roozebooms leerschool en er voorbij naar Utrecht, te gaan volgen. Want alleen zo zullen we in staat zijn ook te begrijpen hoe hij uiteindelijk in de colloïdchemie belandde.

62. Kruyts opvolger Overbeek zou na zijn dood beschrijven "hoe Kruyt en zijn leermeester elkaar in vele opzichten verwant waren. (...) [B]eide waren zij grondvesters van een tak van fysische chemie, die door het werk van hun scholen ontwikkeld en van Nederland uit over de wereld verspreid werd. Beiden trokken zij de besten als hun leerlingen aan, vormden hen en hadden op deze wijze invloed op chemisch Nederland van hun tijd", maar bovenal: "Beiden hadden de gave om door de details heel snel en zeker de algemene zijde van het behandelde probleem te zien." J.Th.G. Overbeek, "Levensbericht van Hugo Rudolph Kruyt (3 juni 1882 - 31 augustus 1959)", *KNAW-Jaarboek 1959-1960* (Amsterdam, 1960) 317-327.

63. H.R. Kruyt, *Algemeene Theorie en Bizondere Ervaring. Rede uitgesproken bij de aanvaarding van het ambt van buitengewoon hoogleraar aan de rijks-universiteit te Utrecht op 17 mei 1916* (Amsterdam, s.a.) 6.

64. *Ibid.*, 8-21. De voorbeelden kwamen uit de fasenleer (bredere visie op stoichiometrische betrekkingen), de radiochemie (elementbegrip) en de colloïdchemie (verhouding tussen adsorptie en stoichiometrie).



Figuur 4. Kruyt als jong hoogleraar in zijn werkkamer in het Van 't Hoff-laboratorium in 1919.
(Universiteitsmuseum, Utrecht, Jac.P. Stolp)

Hoofdstuk 2

Bussum - Amsterdam - Utrecht

In het vorige hoofdstuk hebben we gezien welke scholing de leerlingen van Bakhuis Roozeboom ondergingen en hoe zij door hem als chemicus gevormd werden. Roozebooms leerschool zou ook Kruyts ontwikkeling als scheikundige in hoge mate bepalen en de achtergrond gaan vormen van waaruit hij later zijn eigen onderzoeksprogramma kon opzetten. Maar om te begrijpen hoe Kruyt überhaupt aan dat programma kon beginnen moeten we niet alleen die algemene achtergrond kennen maar ook het specifieke pad waarlangs hij, via die leerschool, in het onderzoek terecht kwam. Dat pad zou verre van rechtlijnig verlopen en Kruyts carrière zou, vooral aanvankelijk, een buitengewoon tumultueus karakter hebben. Maar alle wendingen - van het ingrijpen door Abraham Kuyper tot aan een hooglopend conflict aan de Amsterdamse faculteit - leidden er uiteindelijk toe dat hij in de stimulerende omgeving van Ernst Cohens Van 't Hoff-laboratorium in Utrecht belandde. Aldaar zou zijn loopbaan zich met een vastere koers voortzetten en zich ook bijzonder krachtig ontwikkelen. In minder dan negen jaar klom hij op tot hoogleraar, de positie waarin hij zijn eigen onderzoek kon gaan leiden. Kruyts gehele chemische loopbaan, van HBS-scholier tot professor, plus de factoren die zijn opgang mogelijk maakten, zullen in het nu volgende hoofdstuk besproken worden.

1. Van Bussum naar Amsterdam

Kruyts belangstelling voor chemisch onderzoek openbaarde zich reeds op jonge leeftijd. Al in zijn HBS-jaren bouwde hij in een schuur bij het ouderlijk huis in Bussum een eigen 'laboratorium' waarin hij met een oudere broer meer en minder wetenschappelijke proefnemingen verrichtte. Zijn jeugdige experimenteerdrijf was dermate groot dat zelfs de tegen de schuur aangroeiende klimop ervoor moest wijken, vooral doordat de jonge onderzoeker zijn sterke zuren bij voorkeur door het raam placht te lozen.¹ Dat Kruyt scheikunde zou gaan studeren stond zodoende al gauw vast maar dat hij bij Roozeboom

1. Ernst Cohen, "Hugo Rudolph Kruyt 1908-1933" in: *Hugo Rudolph Kruyt 1908-1933. Ter Herdenking van Zijn 25-Jarig Doctoraat* (Amsterdam, 1933) 6-7.

terecht kwam, had toevalliger redenen. Die keuze werd merkwaardig genoeg bepaald door het optreden van de anti-revolutionaire staatsman Abraham Kuyper. Kuyper was al sinds jaren een goede bekende van de familie Kruyt omdat de vader, Herman Kruyt, als uitgever te Amsterdam de publikatie van diens boeken en tijdschriften verzorgde. De belangrijkste daarvan was *De Standaard*, het dagblad voor het gereformeerde volksdeel, dat vader Kruyt in de beginperiode zelfs tot twee maal toe voor ondergang behoed had door, op momenten dat het in moeilijkheden was gekomen, financieel bij te springen. Kuyper was hem voor die reddingsoperaties altijd erkentelijk gebleven, en hij uitte zijn dankbaarheid middels geschenken (een Friese staartklok die de melodie 'Het Kuypertje' speelde) en door de familie bij tijd en wijle te bezoeken - ook nadat vader Kruyt zich uit de uitgeverij had teruggetrokken en zelfs nadat hij in 1898 overleed.²

Zo kon het gebeuren dat in 1899, op het moment dat zoon Hugo de HBS zou gaan verlaten, Kuyper diens moeder een bezoek bracht en het onderwerp van de studiekeuze ter sprake kwam. Van chemie had de Geweldige weinig kaas gegeten, maar hij kon wel bekwaam advies uitbrengen omtrent de universiteit waar moeder Kruyt haar zoon het beste heen kon sturen. Het meest geschikt zou natuurlijk zijn eigen Vrije Universiteit zijn, maar die had anno 1899 nog geen natuurwetenschappelijke faculteit (deze zou pas in 1930 worden opgericht) en dus kwam het Kuyper voor dat de Gemeentelijke Universiteit in dezelfde stad een goede optie was. Niet vanwege de koers van die instelling als geheel (het socialisme stond daar zelfs op het lesprogramma) maar wel omdat één van haar scheikunde professoren, Bakhuis Roozeboom, een vriend en geestverwant van Kuyper was. Als de VU een leerstoel scheikunde had bezeten, dan zou Roozeboom die zeker hebben gekregen (hij had er zelfs al eens naar gesolliciteerd), maar nu hij aan de GU doceerde was die universiteit daarmee een goede omgeving geworden om een gereformeerd chemicus zich te laten vormen. Bij Roozeboom zou Kruyt in vertrouwde handen zijn.³

Kuyper's advies zou inderdaad worden opgevolgd, maar omdat Kruyt naar de HBS was geweest en niet naar het gymnasium, moest hij vóór hij kon gaan studeren eerst nog staatsexamen in Grieks en Latijn afleggen - een wettelijke voorwaarde voor het behalen van universitaire diploma's. Nu had Kruyt gedurende zijn hele leven een grote hekel aan uit het hoofd leren van feiten en dus was de stoomcursus klassieke vorming die hij moest gaan doorlopen nauwelijks aan hem besteed. Het uiteindelijke examen (een "potsierlijk onderzoek naar een dosis taalkennis" zoals hij het zelf noemde) was evenmin

2. *Ibid.*, 5-6. Zie ook het redactioneel "Vijf en twintig jaren, 1872-1899" in het jubileumnummer van *De Standaard* van 1 april 1899. J.H. Kruyt was in 1874 en 1876 te hulp geschoten door kapitaal te verschaffen en de eigendom van de krant van Kuyper over te nemen. In 1887 trok hij zich om gezondheidsredenen terug. De staartklok is tegenwoordig in bezit van mevrouw J.M. Kruyt-Kramer, de weduwe van Hugo Rudolph.

3. Over Kuyper's bezoek aan moeder Kruyt, zie H.R. Kruyt, "Afscheidscollege gehouden op Vrijdag 20 September 1946 in de Collegezaal van het Organisch Chemisch Laboratorium te Utrecht", *CW* 42 (1946) 264. Al bij de oprichting van de VU solliciteerde Roozeboom naar een betrekking als docent, ook al besefte hij dat de "vakken van de Natuurphilosophische faculteit, ook wegens hunne kostbaarheid, wel de laatsten zijn die bij een eventueel tot stand komen der inrichting, in aanmerking [zullen] komen". Roozeboom aan Kuyper, 19 april 1881 (Historisch Documentatiecentrum voor het Nederlands Protestantisme. Archief Kuyper. no. 2289). Dat Kuyper's kennis op natuurwetenschappelijk terrein niet bijzonder ontwikkeld was mag blijken uit Roozeboom's correcties van desbetreffende uitlatingen in *De Standaard*. Roozeboom aan Kuyper, 29 mei 1893 (*Ibid.* no. 5283).

een groot succes: Kruyt zakte bij de eerste poging en slaagde pas een jaar later in de zomer van 1901. Toch had hij zich blijkbaar niet laten ontmoedigen, want hij was reeds het jaar daarvoor op kamers gegaan in Amsterdam en had, zonder daar vooralsnog rechten aan te kunnen ontleen, vast een begin gemaakt met zijn studie scheikunde aan de GU.⁴

De keus van Kuyper bleek al gauw een bijzonder gelukkige, al kwam dat niet doordat Roozeboom de gereformeerde catechese actief beoefende, maar des te meer door zijn didactische kwaliteiten op chemisch gebied. We hebben al gezien wat voor geweldig diepe indruk zijn eerstejaarscollege maakte op de pas aangekomen Kruyt, en naast deze inleiding gaf Roozeboom nog een aanvullend college voor voorkandidaatsstudenten, alsmede, natuurlijk, zijn tweejarige cursus fasenleer.⁵ Andere inleidingen kreeg Kruyt van D.J. Korteweg, in algebra en analytische meetkunde, van Eugène Dubois, in mineralogie, van F.M. Jaeger, in de kristallografie, en van Andreas Smits, in de 'technische scheikunde'. Dit laatste college werd vanwege het onderwerp door de studenten met enthousiasme begroet, maar Smits' presentatie was dermate rommelig, dat de waardering, ook bij Kruyt, snel tot een minimum daalde; toen in 1905 de praktische toepassingen der fasenleer aan de orde kwamen, een thema dat onder Roozeboom-adepten toch op voorhand populair zal zijn geweest, moest het college zelfs worden gestaakt wegens gebrek aan belangstelling. Kruyt had meer waardering voor het onderwijs in de organische chemie verzorgd door C.A. Lobry de Bruyn, ook al draaide dat, uit de aard der zaak, voornamelijk om feitenkennis. Maar daartegenover stonden altijd nog de streng 'mathematische chemie' van Van Laar, die de thermodynamische achtergrond van de fasenleer behandelde, en de natuurkundelessen van Van der Waals. Diens colleges overlaptten enigszins met die van Van Laar, maar hij behandelde ook zaken als elektriciteit en magnetisme en, als speciaal onderwerp in 1904/05, de 'capillariteit' - een thema dat Kruyt later in zijn colloïdchemie nog van pas zou komen.

Maar zoals we inmiddels weten was het de chemie van Roozeboom die de grootste indruk maakte op Kruyt, en bij hem, en in zijn vakgebied, zou hij dan ook gaan promoveren. Nog voordat hij doctoralexamen aflegde op 23 november 1906, trad Kruyt in dienst bij zijn leermeester als derde assistent naast Jacob Olie en Willem P.A. Jonker. Kruyts officiële taak was het practicum voor de eerstejaars medici te begeleiden, maar net als zijn twee collega's gebruikte hij zijn assistentschap natuurlijk vooral om daarnaast promotieonderzoek te kunnen verrichten.⁶ Het project dat Kruyt kreeg toebedeeld paste volledig in Roozebooms bouwplan, ook al viel zijn onderwerp niet binnen

4. Cohen (n. 1), "Kruyt", 7. Kruyt schreef zich in September 1900 in aan de universiteit en slaagde pas in juli van het jaar daarop voor zijn Staatsexamen. Over zijn afkeer van feiten leren, zie bijvoorbeeld: H.R. Kruyt, "Kennis en Begrip. Rede uitgesproken bij de aanvaarding van de Francquileerstoel 1935-1936 aan de Universiteit te Gent op 16 October 1935", *NT* 17 (1935) 139-147, m.n. 140.

5. Het hier gegeven overzicht van het onderwijs aan chemiestudenten aan de GU is gebaseerd op de Onderwijsverslagen (Bijlage D) in de *Handelingen der Staten Generaal. Bijlage D* ('s Gravenhage, 1900-1908) en de *Amsterdamsche Studenten-Almanakken* (Amsterdam, 1899-1907). De beoordelingen, waaronder die van Smits' colleges, komen uit de Almanak.

6. Kruyt was Roozebooms laatste assistent. Hij kreeg slechts een half salaris van f 500,- per jaar, wat echter de gewoonte was voor de jongste assistent. De andere helft van het geld werd besteed aan laboratoriumbehoeften.

de klassieke Amsterdamse gebieden, zoals die van de mengkristallen en de optische antipoden, die tegen deze tijd al afdoende waren onderzocht. Sterker nog: Kruyts onderwerp bevond zich, zoals hij zelf zei, "aan de zelfkant der fasenleer" omdat het een categorie van systemen betrof die afwisselend tot de eerste en de tweede verdieping van het gebouw konden behoren.⁷ Roozeboom had hem een zogenaamd tautomeer stelsel te onderzoeken gegeven - dat wil zeggen: een systeem waarvan de twee componenten niet onafhankelijk zijn, maar onder bepaalde omstandigheden in elkaar kunnen worden omgezet, waarmee er welbeschouwd nog maar van één component sprake is. Kruyt noemde deze systemen zelf dan ook liefst "pseudo-binaire" systemen - een term die schijn en wezen van het componentenaantal duidelijker tot uitdrukking brengt. Vóór hem had de gastonderzoeker Reinhard Hollmann bij Roozeboom ook al een voorbeeld van pseudo-binair gedrag in kaart gebracht. Bij het systeem dat hij onderzocht (acetaldehyde - paraldehyde) kon men de onderlinge omzetting van de componenten (en dus de 'verdieping' waarop het systeem thuishoorde) volledig controleren omdat die alleen plaatsvond wanneer men een katalysator toevoegde. Hollmann had het geval bij alle relevante temperaturen en zowel mét als zonder katalysator beschreven, en had daarmee zodoende het definitieve "'Schulbeispiel' der pseudo-systemen" geleverd.⁸

Kruyts systeem was geen schoolvoorbeeld, maar veeleer een berucht geval van ingewikkeld pseudo-binair gedrag, en het was zijn opdracht ook dit stelsel in het fasenleerkader onder te brengen.⁹ Het ging om vloeibare zwavel, waarin de twee componenten de twee allotrope vormen van het element waren (Kruyt noemde ze S_λ en S_μ) die boven een bepaalde temperatuur in elkaar overgingen. Het fasendiagram liet in dat gebied nog maar een enkele lijn zien die de relatieve hoeveelheden van de twee vormen aangaf. In de lagere regionen bleef het gedrag echter problematisch, zij het dat door Alexander Smith en de zijnen te Chicago al veel was opgehelderd, met name nadat Roozeboom deze zelf op de mogelijkheden der fasenleer had gewezen.¹⁰ Kruyt vulde in zijn dissertatie de leemten in Smith's beschouwingen aan, bracht het systeem uitgebreider in kaart (ook het evenwicht met gasvormig zwavel werd geanalyseerd) en onderzocht daarenboven enkele 'pseudo-ternaire' systemen, die vloeibaar zwavel in combinatie met andere componenten kon vormen. Het mogelijk gedrag van deze stelsels was al globaal voorspeld, en Roozebooms gave om bij de theoretische typen geschikte voorbeeldsystemen te vinden kwam weer sterk naar voren: "Deze systemen bleken, daar (...) zij voorbeelden van alle hoofdtypen leveren, de voorafgaande theoretische beschouwingen (...) geheel te bevestigen," kon Kruyt later met voldoening concluderen. Een bijzonderheid was dat bij de combinatie zwavel - benzoëzuur een situatie met drie vloeistoffasen werd aangetroffen, "waarmee dat systeem het eerste is, waarbij twee compo-

7. H.R. Kruyt, "Eeuwherdenking Bakhuis Roozeboom", CW 50 (1954) 750.

8. H.W. Bakhuis Roozeboom, "Over phasenevenwichten in het stelsel acetaldehyd + paraldehyd met en zonder moleculaire transformatie", *Versl. KAW* 11 (1902) 280. Ook Aten en Olie onderzochten pseudo-systemen: het werk van de eerste (aan het systeem zwavel - chloor) preludeerde zelfs direct op Kruyts onderzoek. Zie E.H. Buchner, "Bakhuis Roozeboom en de fasenleer", CW 51 (1955) 404.

9. H.R. Kruyt, *De dynamische allotropie der zwavel*, proefschrift Rijksuniversiteit Utrecht (Amsterdam, 1908).

10. *Ibid.*, 16. Roozebooms aanwijzingen kwamen na het derde artikel uit Smith's reeks van vijf, gepubliceerd in het *Zeitschrift für physikalische Chemie* tussen 1903 en 1907.

nenten drievoudige ontmenging vertoonen; een geval, waarvan de mogelijkheid wel is waar sedert lang, op grond van den phasenregel erkend, maar waarvan tot dusverre nog geen voorbeeld gevonden was."¹¹

Het is hier niet zo zeer belangrijk dat Kruyt zwavel en benzoëzuur onderzocht maar meer dat zijn onderzoek, blijkens de citaten, paste in de traditionele methode van Roozeboom: mogelijke typen werden uit de theorie afgeleid, voorbeeldsystemen uitgekozen, en het experiment diende ter bevestiging en invulling. Ook Kruyts proefschrift eindigde, zoals gebruikelijk was, in enkele uitslaande fasendiagrammen die zijn systeem volledig beschreven. Zo leerde Kruyt Roozebooms onderzoeks-aanpak van nabij en in de praktijk kennen, en ondanks het feit dat zijn onderwerp zich zogezegd 'tussen twee verdiepingen' bevond, was hij een volwaardig meebouwer aan het "gebouw der phasenleer". Maar hij zou ook één van de laatsten worden, want al tijdens het proces werd zijn bijdrage wreed verstoord door de dood van zijn leermeester.

2. De Affaire Smits

Kruyts promotieonderzoek bevond zich in een vergevorderd stadium toen op 8 februari 1907 volslagen onverwacht, na een ziekbed van slechts enkele dagen, Bakhuis Roozeboom overleed. Het nieuws kwam als een grote schok, voor Kruyt en voor iedereen die met Roozeboom had samengewerkt, en bij verschillende gelegenheden werd de betreurde hoogleraar in eerbied herdacht.¹² Het zou echter gauw gedaan zijn met de eenstemmige devotie in de Amsterdamse geleerden. Want in de nasleep van het sterfgeval ontwikkelde zich een hevig conflict, waarbij een groep overtuigde Roozeboom-adepten, waaronder Kruyt, stelling zou nemen tegen andere leden van de faculteit. "[D]e aanvankelijk opgevatte hulde aan de nagedachtenis van Bakhuis Roozeboom," zo verklaarde een betrokkene al na twee weken, "is ontaard in een strijd tusschen verschillende mensen om een deel van de roem van Bakhuis Roozeboom machtig te worden."¹³ Voor Kruyt zou deze strijd zeer ingrijpende gevolgen hebben en uiteindelijk zelfs leiden tot zijn zelfgekozen ontslag en vertrek uit Amsterdam. Roozebooms invloed bleek zo groot, dat hij zelfs over zijn graf heen nog het verloop van de carrière van zijn leerlingen op drastische wijze bepaalde.

Wat was er gebeurd? Al kort na het overlijden van hun collega hadden de Amsterdamse bèta-hoogleraren zich gebogen over de vraag van zijn opvolging. Men was het erover eens dat de fasenleertraditie voortgezet zou moeten worden en met dat gegeven was er één kandidaat die unaniem als de ideale keus werd beschouwd: prof. Schreinemakers uit Leiden. Helaas echter gaf die al gauw te kennen voor de eer te zullen

11. *Ibid.*, 117.

12. Cand., "In Memoriam Prof. Dr. H.W. Bakhuis Roozeboom", *Propria Cures* 18 (11 februari 1907); J.J. van Laar, "H.W. Bakhuis Roozeboom. Een afscheidswaard", *CW* 4 (1907) 79-81; A.F. Holleman, "H.W. Bakhuis Roozeboom In Memoriam. Rede, uitgesproken op 14 Februari 1907, bij de hervatting der colleges na zijn overlijden", *CW* 4 (1907) 119-132.

13. Andreas Smits [aan A.F. Holleman], 26 februari 1907 (Gemeentearchief Amsterdam. Archief van de Faculteit der Wis- en Natuurkunde van de Universiteit van Amsterdam (Fac. A'dam) 1020, no. 196 (correspondentie 1902-1908), map 2, omslag 13 (vacature wijlen Bakhuis Roozeboom)).

bedanken. De faculteit zag zich zodoende genoodzaakt om een tweede gegadigde te vinden, en benoemde daartoe een commissie bestaande uit de hoogleraren Holleman (sinds twee jaar opvolger van Lobry de Bruyn), Korteweg en Van der Waals.¹⁴ Hun taak was moeilijk, want professorabele fasenleerbeoefenaren waren dun gezaaid. Roozebooms eigen promovendi leken nog wat aan de jonge kant en de schaarse buitenlanders zaten geen van allen echt op de Hollandse lijn. Van zijn voormalige medewerkers viel Schreinemakers al af en Ernst Cohen, die juist begonnen was op een aantrekkelijke post in Utrecht, zou ook laten weten niet beschikbaar te zijn. De enige fasenleerhoogleraar die zodoende overbleef was Andreas Smits, tot voor kort nog aan de Amsterdamse faculteit verbonden, maar sinds een jaar bezetter van een leerstoel in Delft. Zijn kandidatuur werd door de commissie voorgedragen.¹⁵

Het viel te verwachten dat degenen die Smits als docent hadden meegemaakt zijn verkiezing tot hoogleraar niet met gejuich zouden begroeten. Maar hun oordeel hoefde in principe weinig uit te maken want in benoemingsprocedures werden doorgaans geen oud-studenten gekend. En bovendien: in dit vroege stadium behoorde nog niemand van Smits' kandidatuur te *weten*. 'Behoorde' - want er bleek te zijn gelekt. Halverwege de maand april en juist op het moment dat de voordracht bij de curatoren van de universiteit lag, werd in een zogeheten "Streng vertrouwelijk" stuk dat rondging onder de studenten de hele zaak uitgebreid besproken. Een aantal "leerlingen, oud-leerlingen, vrienden en vereerders van Prof. Bakhuis Roozeboom" had lucht gekregen van de voorgenomen benoeming en achtte die absoluut onaanvaardbaar. Verzet was geboden en eenieder werd opgeroepen om een bijgaand "adres" te ondertekenen dat daarna aan Smits persoonlijk zou worden toegestuurd om hem de gelegenheid te geven de eer aan zichzelf te houden en zich terug te trekken als kandidaat. Mocht hij dit nalaten, hetgeen de adressanten gezien zijn "bekende karaktereigenschappen" wel waarschijnlijk achtten, dan kon nog naar andere middelen worden omgezien. De oproep was gericht aan studenten, maar het initiatief was genomen door een vijftal promovendi: A.H.W. Aten, die vlak voor diens dood lector bij Roozeboom was geworden, G.H. Leopold, die kort tevoren *cum laude* bij hem was gepromoveerd, en de eerdergenoemde drie assistenten: Jacob Olie, Willem Jonker en... Hugo Kruyt.¹⁶

Vijftientig man ondertekenden het adres en de curatoren, die de circulaire ook onder ogen kregen, namen de zaak hoog op. Niet alleen beklagden zij zich tegenover de faculteit over het lekken van vertrouwelijke gegevens, maar zij toonden zich ook ongerust over de geuite weerstand en vroegen de hoogleraren om een reactie. Nu hadden die zich in eerste instantie ook niet eenstemmig achter het voorstel geschaard maar het protest kwam ze zo ongepast voor, dat ze besloten de "grievens der adressanten" volmondig te weerspreken: hier was sprake van een kleine groep fanatici die met "vuige

14. Faculteitsvergaderingen 18 februari en 9 maart 1907 (Fac. A'dam 1020, no. 4 (notulen 1904-1917)). De Leidse studenten hadden Schreinemakers via een petitie verzocht een eventuele benoeming niet aan te nemen. CW 4 (1907) 132.

15. Faculteitsvergadering 18 maart 1907 (Fac. A'dam 1020, no. 4). Cohen aan Holleman, 7 juli 1907 (Fac. A'dam 1020, no. 196, map 2, omslag 13).

16. Notulen vergadering 3 april 1907 (Gemeentearchief Amsterdam. Archief der Curatoren van de Universiteit van Amsterdam (CvC Amsterdam) 279, no. 4). Facsimile van studentenadres (Fac. A'dam 1020, no. 196, map 2, omslag 13).

laster" onwetende studenten trachtten op te hitsen. Dat was trouwens maar ten dele succesvol want de meeste studenten steunden de kandidaat wel degelijk (er zou inderdaad ook een petitie pro Smits komen) en bovendien stonden tegenover de kritiek ook vele aanbevelingen - Smits mocht dan nog niet de statuur van een Van 't Hoff of een Roozeboom hebben, maar hij was wel de geschiktste persoon om hun "grootsche tradities" te continueren.¹⁷ Dit hooggeleerd verweer stelde de curatoren voorlopig gerust, maar niet voor lang want al een maand later ontvingen zij opnieuw een negatief advies en ditmaal van iemand die misschien wel het meest tot oordelen bevoegd was: de man wiens "grootsche tradities" Smits zou onder andere moeten gaan voortzetten, J.H. van 't Hoff. Dat was andere koek en nu de bezwaren van zo gezaghebbende zijde bevestigd waren, achtten de curatoren "zich niet langer verantwoord (...) de voordracht van de Faculteit over te nemen" en zij verzochten deze uit te zien naar nieuwe kandidaten, "des noods uit het buitenland".¹⁸

Voor de derde maal kwamen de hoogleraren zodoende bijeen en voor de derde maal moesten zij een nieuwe opvolger bedenken. Van der Waals "betreur[de] zeer den loop, dien de zaken genomen hebben" en hield het voor onwaarschijnlijk dat in den vreemde een betere kandidaat gevonden zou kunnen worden. Holleman was iets optimistischer en stelde voor een reis naar Duitsland te maken om daar bij enkele chemische coryfeeën nader advies in te winnen omtrent mogelijke gegadigden. Aldus werd besloten en halverwege juli vertrok Holleman oostwaards. Na Wilhelm Ostwald, Walter Nernst en Emil Fischer bezocht te hebben keerde hij terug met een drietal namen, maar eigenlijk nog steeds niemand van wie verwacht kon worden dat hij Roozebooms onderzoeksrichting met verve zou kunnen voortzetten. Alle moeite bleek dus alsnog voor niets en de Amsterdamse hoogleraren besloten, wederom, om de oorspronkelijke voordracht te handhaven.¹⁹ De curatoren raakten nu ook langzamerhand overtuigd van de onvermijdelijkheid van de keuze en stuurden het advies door naar de Gemeente, die in Amsterdam besliste over universitaire benoemingen. Nog eenmaal deden de opstandelingen een poging het tij te keren, maar ook hun oproep aan de gemeenteraadsleden kon de aanstelling niet meer voorkomen. In de vergadering van 25 september werd Smits met 25 tegen 11 stemmen gekozen tot nieuwe hoogleraar "algemeene en anorganische scheikunde".²⁰

Zo kreeg Smits zijn aanstelling. Maar het was geen geheim dat zijn kandidatuur daar

17. Curatoren aan Faculteit, 22 mei 1907; Faculteit aan Curatoren, 29 mei 1907 (Fac. A'dam 1020, no. 196, map 2, omslag 13). Faculteitsvergadering 29 mei 1907 (Fac. A'dam 1020, no. 4). De frase "vuige laster" in het antwoord van de faculteit werd in de definitieve versie overigens vervangen door "geheel bezijden de waarheid".

18. Notulen vergaderingen 3 juni en 1 juli 1907 (CvC Amsterdam 279, no. 4). Curatoren aan faculteit, 3 juli 1907 (CvC Amsterdam 279, no. 92 (kopieën uitgaande stukken)).

19. De chemici die men Holleman in Duitsland had aangeraden waren Richard Abegg, hoogleraar aan de Technische Hogeschool te Breslau, Paul Walden, voormalig promovendus en medewerker van Ostwald, en Alfred Werner, de latere nobelprijswinnaar. Cohen had vanuit Utrecht Georg Bredig als kandidaat getipt. Notulen vergaderingen 9 en 31 juli 1907 (Fac. A'dam 1020, no. 4). Holleman [aan faculteit]; Cohen aan Holleman, 7 juli 1907; Faculteit aan Curatoren, 28 augustus 1907 (Fac. A'dam 1020, no. 196, map 2, omslag 13).

20. Notulen vergadering 2 september 1907 (CvC Amsterdam 279, no. 4). Notulen raadsvergadering 25 september 1907 (Gemeentearchief Amsterdam. Archief Gemeenteraad 5079, no. 91 en 92, film no. 1445).

voor al van begin af aan omstreden was geweest. Aan de andere kant was het toch ook al vroeg duidelijk geworden dat voor de Amsterdamse leerstoel, met de fasenleer-eis die eraan verbonden werd, nauwelijks een betere gegadigde voorhanden was. Men kan dan ook zeker niet beweren dat zijn uiteindelijke benoeming een vergissing bleek te zijn. Integendeel: Smits zou het in de 33 jaar die zijn professoraat zou gaan duren eigenlijk bijzonder goed doen. Hij wist het Amsterdamse instituut flink uit te bouwen en startte naast de fasenleer ook modernere onderzoeksrichtingen; hij was een niet aflatende bron van ideeën, die vaak zeer gewaagd waren maar soms ook grote waardering oogstten; en hij leidde een groot aantal leerlingen op, onder wie de latere hoogleraren Bijvoet, Gerding en Ketelaar en de winnaar van de nobelprijs voor de natuurkunde van 1953, Frits Zernike.

Maar als Smits zo geschikt was, wat had zijn tegenstanders dan aanvankelijk bewogen? Waarom hadden Kruyt en de zijnen zich zo fel gekant tegen zijn benoeming? Het is moeilijk die vraag te beantwoorden omdat de meeste stukken waarin de argumenten werden uitgesproken niet bewaard zijn gebleven. Ook het oorspronkelijk 'adres' van de vijf promovendi is uit het archief verdwenen. Maar de argumenten in de begeleidende stukken, zoals de oproep bij de circulaire, wijzen wel alle in dezelfde richting: het voornaamste bezwaar lijkt te hebben gelegen in Smits' persoonlijkheid, en dan vooral in het contrast daarvan met die van Roozeboom.²¹ Hoewel een dergelijke motivatie natuurlijk buitengewoon subjectief is moeten we het belang ervan toch niet onderschatten. Want de tegenstelling tussen de personen Roozeboom en Smits, ook in hun manier van werken, was er inderdaad een van hemel en aarde. Roozeboom was een enthousiaste, maar in de kern van de zaak toch vooral consequent denkende en heldere systematicus. Smits kenmerkte zich door "hartstochtelijke beoefening van de wetenschap" en hield ervan uiteenlopende ideeën te genereren en uit te proberen.²² Dit contrast kwam ook naar voren in beider colleges: waar die van Roozeboom altijd modellen van verzorgdheid en heldere consistentie waren geweest, waren die van Smits geïnspireerd maar rommelig. Het was onder andere deze tegenstelling die de klagende studenten aan den lijve hadden ervaren, en het lijkt erop dat ze vreesden dat die ook door zou werken in Smits' onderzoeksbeoefening en in zijn hele voortzetting van Roozebooms hoogleraarschap.

En dat zou voor hen als overtuigde Roozeboom-adepten een regelrechte ramp betekenen. Want als er iets was dat zij als hun taak beschouwden, dan was het wel het veiligstellen van Roozebooms levenswerk en ervoor zorgdragen dat dat op dezelfde manier werd gecontinueerd. Kruyt had zelfs kort na de dood van zijn leermeester met enkele andere "vereerders, leerlingen en oud-leerlingen" een 'Bakhuys-Roozeboomfonds' opgericht met het expliciete doel om "dat wetenschappelijk gebouw, waarvan hij de

21. Een vrij uitgebreide oproep ter ondertekening van het adres is bewaard gebleven, alsmede de door de curatoren gevraagde reactie van de faculteit op het adres, die de daarin genoemde punten één voor één behandelt.

22. Wilhelm Ostwald, die alle geleerden in zijn twee psychologische categorieën 'classicus' en 'romanticus' placht in te delen, plaatste Roozeboom zonder aarzelen in de eerste groep. Een typering van Smits is te vinden in J.M. Bijvoet, "Prof. Dr. A. Smits. 4 October 1906 - 4 October 1931", CW 28 (1931) 554-559.

toegewijde bouwmeester was, te [helpen] voltooien."²³ De opstandelingen zagen zichzelf als de hoeders van een onderzoekstraditie en als de bewakers van Roozebooms erfenis. Dit laatste zelfs in letterlijke zin, want in het 'adres' werd Smits er onder andere van beschuldigd dat hij, bij een bezoek aan de Amsterdamse faculteit vlak na het overlijden van Roozeboom, had geprobeerd diens nagelaten aantekeningen te bemachtigen. De grond voor deze verdachtmaking, die uit de koker van Van Laar afkomstig was, lijkt hoogst dubieus maar de aanklacht op zich tekent hoe zeer de adressanten zich zagen als beheerders van een nalatenschap - om niet te zeggen: als Roozebooms rechtmatige erfgenamen.²⁴ Het hele conflict in de Amsterdamse gelederen heeft dan ook opmerkelijk veel van een erfenisruzie, en het geschil leek uiteindelijk te draaien om de vraag wie de "grootsche tradities" (een term die beide partijen bezigden) zou mogen voortzetten en welke kwaliteiten men daarvoor moest bezitten. Volgens de hoogleraren was de eerste vereiste dat men een ervaren fasenleerbeoefenaar was, maar in de ogen van de protesteerders was dat niet voldoende. Smits was een onwaardig opvolger, niet omdat hij de fasenregel niet kende, maar omdat het hem ontbrak aan Roozebooms geestesgesteldheid, zijn visie en manier van denken en werken - en dát waren voor Kruyt en de zijnen de voornaamste erfstukken van hun leermeester.

Maar hoe zij er uiteindelijk ook over dachten: Smits zou er komen, en met dat feit hadden zijn tegenstanders voortaan te leven. Dit hield echter niet in dat hij vanaf het moment van zijn aanstelling ook grootmoedig geaccepteerd werd. Integendeel, Smits' ongewenstheid zou hem nog jaren achtervolgen, ook al werd zij misschien zelden op de man af geuit. Nog in 1933 achtte Ernst Cohen de omstandigheden niet rijp om de "histoire intime" van de benoemingsaffaire te onthullen. Zijn spaarzame opmerkingen leidden echter evengoed tot een hevige polemiek met Holleman, en de felheid van de reacties over en weer toonde slechts hoe gevoelig de zaak had gelegen, en nog steeds lag. Ook Cohen was een overtuigd tegenstander van Smits en het chemisch wereldje was daar maar al te zeer van op de hoogte.²⁵

Direct na zijn benoeming waren het echter vooral Smits' opposenten binnen de faculteit die hun verhouding tot hem moesten bepalen. Aten bijvoorbeeld, die juist een lectoraat had gekregen, voelde er weinig voor om dat nu meteen op te geven en hij

23. Hugo R. Kruyt, "Bakhuis Roozeboom-Fonds", *Propria Cures* 18 (16 maart 1907) 253-254. Hoe het bijeengebrachte geld precies besteed zou worden wisten de fondsoprichters op het moment van stichting nog niet, maar wel dat dat "in zijn geest" zou moeten gebeuren. Het initiatief kreeg later een gevolg toen de Koninklijke Akademie van Wetenschappen een fonds met dezelfde naam instelde, waaruit geregeld een 'Bakhuis-Roozeboomprijs' (gouden medaille plus geldbedrag) betaald kon worden. De prijs werd toegekend aan onderzoekers die zich op het gebied van de fasenleer verdienstelijk hadden gemaakt, in 1916 het eerst, aan Schreinemakers.

24. De beschuldiging werd behalve in het adres zelf ook in de oproep erbij en in de reactie van de faculteit genoemd. Zij dook echter voor het eerst op in een "grote lijst van schurkestreken" waarvan Van Laar Smits in een brief betichtte, die daarop opmerkte dat zulke aantijgingen alleen opkomen "in 't brein van zoo'n zenuwpatient als Van Laar". Smits [aan Holleman], 26 februari 1907 (Fac. A'dam 1020, no. 196, map 2, omslag 13).

25. Cohen (n. 1), "Kruyt", 16. Voor de polemiek over de kwestie, zie de wederzijdse 'Verklaringen' en 'Openbare Brieven' in het *CW* 30 (1933) 477, 509, 525, 652, 764. Enkele stukken van Cohen zijn bewaard als separaatafdrukken (Instituut voor Geschiedenis der Natuurwetenschappen Utrecht. Verhandelingen Ernst Cohen, deel XI). Zowel Kruyt als Cohen bekritiseerden overigens ook het onderzoek van Smits en zijn medewerkers, via wetenschappelijke publikaties.

probeerde dan ook om een enigszins werkbare verstandhouding op te bouwen met zijn nieuwe chef, hetgeen achteraf gezien aardig gelukt lijkt. Van Laar was tot dergelijke compromissen moeilijker in staat en hij bleef verbeten aan zijn standpunten vasthouden. Zijn positie werd hierdoor echter steeds penibeler en uiteindelijk kon hij de situatie ook niet langer aan: na een zenuwinstorting in 1912 zou hij voorgoed van het Amsterdamse toneel verdwijnen.²⁶ De protesterende promovendi kozen ervoor om een directe confrontatie te vermijden en verlieten de faculteit al onmiddellijk en uit eigen beweging. Geen van hen wenste onder Smits verder te werken en allen zochten zij al vóór zijn benoeming een alternatieve promotor buiten Amsterdam. Jonker toog bijvoorbeeld naar Leiden waar hij in 1908 bij Schreinemakers promoveerde op *Onderzoekingen van het stelsel arseen en zwavel*. Olie kon, omdat hij nooit staatsexamen had afgelegd, sowieso geen Nederlandse doctorstitel behalen en ging daarom nog in 1907 naar Zürich waar hij bij Alfred Werner promoveerde op *Gleichgewichte der isomeren Chromchlorhydrate*; daarna werd hij nog een tijdje assistent bij Cohen. Een andere promovendus was Herman Dutilh, die weliswaar geen assistent was van Roozeboom, maar evengoed een groot adept en mede-ondertekenaar van het 'adres'. Ook hij zou de faculteit verlaten, en zich al in 1907 voegen bij Pieter van Romburgh, de hoogleraar organische chemie te Utrecht die hem toestond verder te werken aan zijn fasenleerproefschrift. Helaas zou dit nooit verschijnen omdat Dutilh in 1910 op jonge leeftijd kwam te overlijden.²⁷

Kruyt was goed bevriend met Dutilh (hij zou zijn werk later postuum publiceren) en misschien dat hij daardoor ook op het idee kwam om dezelfde vluchtroute te volgen. Aanvankelijk wachtte hij de aanstelling van Smits nog af, maar toen die definitief werd schreef ook hij onmiddellijk zijn ontslagbrief en vertrok nog dezelfde maand naar Utrecht.²⁸ Zijn nieuwe promotor werd Ernst Cohen en zijn nieuwe werkplek diens zogeheten 'Van 't Hoff-laboratorium' aan het Sterrenbosch. Daar zou Kruyt zijn chemische carrière vervolgen.

26. Smits zelf was over de samenwerking met deze twee voormalige opponenten optimistisch geweest: "Het spreekt vanzelf dat Aten zijn verontschuldigen zal komen aanbieden; hij heeft veel te veel belang bij een goede verstandhouding & Van Laar komt metertijd stellig tot inkeer." Smits [aan Holleman?], 13 juni 1907 (Fac. A'dam 1020, no. 196, map 2, omslag 13). Aten bleef aanvankelijk in hetzelfde lab als Smits werken (in 1924 verhuisde hij naar een nieuw gebouw op de Hoogte Kadijk) en publiceerde al vanaf 1910 samen met zijn nieuwe chef. Over Van Laars lotgevallen zie Everard Peter van Emmerik, *J.J. van Laar (1860-1938). A Mathematical Chemist*, proefschrift Technische Universiteit Delft (s.l., 1991) en H.A.M. Snelders, "The Dutch Physical Chemist J.J. van Laar (1860-1938) versus J.H. van 't Hoff's 'Osmotic School'", *Centaurus* 29 (1986) 63-71.

27. Dutilh was een zeer begaafd student, die *cum laude* voor zijn kandidaats- en doctoralexamen slaagde, en een toegewijd volgeling van Roozeboom. Hij ondertekende niet alleen het adres maar verdedigde zijn leermeester na diens dood ook tegen vermeende miskwalificaties van Van 't Hoff in *Propria Cures* 18 (16 maart 1907) 254. Ook zijn promotieonderzoek vormde een verdediging van een interpretatie van Roozeboom tegen die van Ladenburg over partieel racemische verbindingen. De experimenten waren reeds voltooid en het theoretisch gedeelte was bijna gereed toen Dutilh overleed, op 17 januari 1910.

28. H. Dutilh (postuum via H.R. Kruyt), "Over partieel racemische verbindingen", *Versl. KAW* 20 (1911) 421-422. H.R. Kruyt aan Wethouder van Onderwijs, 29 september 1907 (Gemeentearchief Amsterdam. Archief Gemeente-Secretarie Afdeling Onderwijs 5191, indicateur, no. 3837).

3. Cohen en het Van 't Hoff-lab

Het was door volstrekt onvoorziene ontwikkelingen dat Kruyt in Utrecht terecht was gekomen. Oorspronkelijk was het nooit zijn bedoeling geweest om deze overstap te maken, maar niettemin zou het hem later absoluut niet spijten. Integendeel: Utrecht bleek een bijzonder goede keus en achteraf gezien verkaste Kruyt ook precies op het goede moment. Want het zwaartepunt van de fysische-chemiebeoefening in Nederland verschoof met hem in dezelfde richting. Vormde rond de eeuwwisseling Amsterdam nog het onbetwiste centrum van het vakgebied, omstreeks 1920 was, zoals G.J. Hoytink later zou constateren, Utrecht de "*primus inter pares*".²⁹ Nu kwam dit voor een deel natuurlijk door Kruyts eigen inbreng en prestaties tijdens zijn voortgezette loopbaan aldaar, maar het lag ook aan de gunstige omstandigheden die hij in het Van 't Hoff-lab aantrof. Ten eerste was er de persoon van Cohen, van wie hij veel steun en samenwerking zou ondervinden en ten tweede telden de kwaliteiten van het laboratorium zelf. Want de nieuwe werkplaats die Kruyt in september 1907 binnentrad, was daar pas gebouwd en vormde één van de modernste en best geëquipeerde fysisch-chemische laboratoria van zijn tijd.

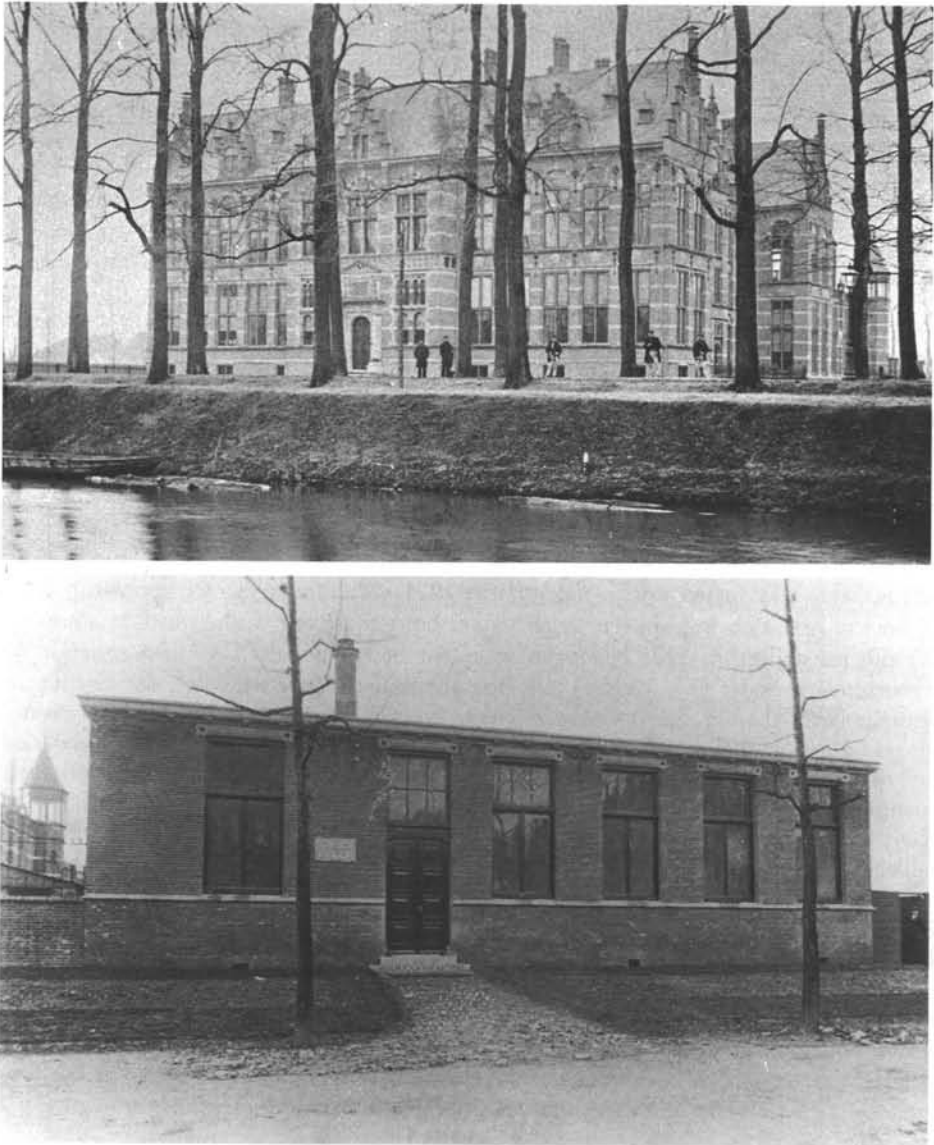
Het 'Van 't Hoff-laboratorium,' zoals Cohen het gedoopt had ter ere van zijn eigen leermeester, was tussen april 1903 en mei 1904 verrezen en de wijze waarop het tot stand was gekomen was al even uniek als het bouwwerk zelf. Cohen had de bouw ervan bij zijn aanstelling in 1902 bedongen want het bestaande lab 'De Leeuwenbergh' (ooit hypermodern onder G.J. Mulder) leek nog allerminst "een werkplaats, der algemeene en anorganische chemie der twintigste eeuw waardig".³⁰ De faculteit en de curatoren gingen dan ook snel met Cohens wens akkoord, maar om het lab er ook daadwerkelijk en vlug te krijgen was de kandidaat-professor zelf direct gaan onderhandelen met de toenmalige minister van binnenlandse zaken, Abraham Kuypers. Dat bleek effectief want Kuypers liet zich overtuigen en stelde voor om, ter verhoging van de snelheid en verlaging van de uitgaven, de rijksbouwmeesters voorlopig te omzeilen en Cohen zelf, samen met een bevriende architect, een ontwerp te laten maken. Aldus geschiedde, en binnen vier weken lag er een bouwplan, binnen vier maanden stond dat op de rijksbegroting en binnen een jaar ging de eerste paal de grond in.³¹

Hoezeer het voltooide Van 't Hoff-lab verschilde van een laboratorium dat via de normale procedures tot stand was gekomen blijkt wanneer we het vergelijken met zijn grote 'collega': het aanpalende organisch-chemische laboratorium aan de Catarijnesingel dat tien jaar eerder was verrezen (zie Figuur 5). Het eerste dat dan opvalt is dat Cohen zich bij zijn ontwerp blijkbaar niet in hoge mate door esthetische overwegingen had

29. G.J. Hoytink, "Physical chemistry in The Netherlands after Van 't Hoff", *Annual Review of Physical Chemistry* 21 (1970) 6.

30. Ernst Cohen, *Allotropieën, Rede uitgesproken den 16den Mei 1904 ter gelegenheid der inwijding van het Van 't Hoff-laboratorium der Rijks-Universiteit te Utrecht* (Utrecht, 1904) 6.

31. De bevriende architect was Eduard Cuypers, een neef en leerling van de beroemde Petrus Josephus Cuypers (de bouwer van onder meer het Rijksmuseum en het Centraal Station van Amsterdam) maar van diens scholing is in het Van 't Hoff-lab weinig terug te vinden. De ontstaansgeschiedenis van het lab werd in detail onthuld door Cohen in een antwoordspeech op een toespraak van J. Wolff ter gelegenheid van zijn afscheid, zie "Afscheid van Prof. Dr. Ernst Cohen van de universiteit van Utrecht", *CW* 36 (1939) 517.



Figuur 5. De "Parel aan de Kroon" en de "Tempel der Chemie": het Organisch-Chemisch en het Van 't Hoff-laboratorium te Utrecht, beide gefotografeerd vlak na hun voltooiing, in 1893 respectievelijk 1904. Hoewel het uiterlijk anders doet vermoeden waren de gebruikers op het eerste lab al gauw uitgekeken, terwijl het tweede tot in de jaren 70 dienst deed. Overigens lijkt het Van 't Hoff-lab hier kleiner dan het was, omdat we op de korte kant kijken en omdat de kelderverdieping en de uitbreidingen van 1915 en 1921 niet zichtbaar zijn. Wel kunnen we de onderlinge plaatsing van de twee laboratoria opmaken uit de positie van het torentje van het organisch-chemisch lab, dat op beide foto's staat afgebeeld.

(Faculteit Scheikunde, Utrecht, J.L. den Boesterd, resp. Vakgroep Fysische en Colloïdchemie, Utrecht, J. Suurmond)

laten leiden, in tegenstelling tot de rijksbouwmeesters bij hún plan.³² Maar schoonheid bleek omgekeerd evenredig met de tevredenheid van de gebruikers, want terwijl het organisch-chemisch lab duidelijk veel meer uitstraalde ontstonden al kort na de bouw klachten over te koude zalen, over duisternis en over slechte ventilatie. Vooral als laboratorium voldeed het gebouw niet en dat was natuurlijk niet erg doelmatig. Nadat de hoogleraar-directeur Van Romburgh in 1926 vertrokken was, zou men dan ook de grootste moeite krijgen om een opvolger te vinden en dat lukte pas definitief toen men deze een nieuw laboratorium in het vooruitzicht stelde.³³ Zowel qua uiterlijk als qua functioneren leek de organisch-chemische werkplaats wel wat op het Amsterdamse laboratorium waar Cohen zelf gewerkt had en waarover Bakhuis Roozeboom ooit eens verzucht had dat hij nog liever "een schuur met de nodige instrumenten" had gekregen.³⁴ Het lijkt erop dat deze filosofie Cohen bij zijn ontwerp tot leidraad had gediend, al moet worden toegevoegd dat hij zijn 'schuur' wel uitermate luxueus inrichtte.

Binnen het Van 't Hoff-lab was alles gericht op zo efficiënt mogelijk experimenteerwerk en daartoe had Cohen het van veel hulpmiddelen en de allernieuwste snufjes voorzien.³⁵ Zo waren niet alleen de zuurkasten rijkelijk bedeed met aansluitingen voor gas, water en elektriciteit (dit laatste was al bijzonder waar men voor de verlichting nog altijd gas gebruikte) maar ook had Cohen onder de vloeren overal aftappunten aangebracht, die via luikjes toegankelijk waren zodat men op elke plaats altijd nieuwe proefopstellingen kon bouwen. Uit één van de vloeren kwam ook een klein liftje, dat glaswerk en chemicaliën uit de kelder aanvoerde, terwijl gedestilleerd water eveneens automatisch en continu werd geleverd. Het lab had een eigen donkere kamer, een instrumentmakerij, een spoelkamer, weegkamer en 'zwavelwaterstofkamer' (de laatste twee dienden voor chemische analyses) en er was een met glas overdekt, verwarmd experimenteerterras waar men gevaarlijk of onwelriekend onderzoek kon verrichten. Geuren binnenshuis werden verwijderd door een centraal ventilatiesysteem, aangedreven door "[e]en elektromotor van 5 Pdk." Behalve in dit soort snufjes kwam de efficiëntie ook naar voren in de indeling van de verschillende ruimtes. De eigen bibliotheek bijvoorbeeld bevond zich naast een speciale verbindingsgang met het buurlaboratorium, zodat ook de organisch-chemici er direct gebruik van konden maken. En het gebouw als geheel had een E-vorm die samen met de grote ramen de toegang van voldoende daglicht garandeerde. Zelfs het platte dak had Cohen doelbewust aangebracht, opdat men er altijd nog een verdieping bovenop kon zetten - hetgeen inderdaad al gauw nodig bleek. In 1915 kreeg het Van 't Hoff-lab er een eerste verdieping en een zolder bij

32. De rijksbouwkundige Van Lokhorst was in een meer gevorderd stadium wel betrokken bij de uitvoering van het Van 't Hoff-lab, maar Cohen bedankte hem er later expliciet voor dat hij niet gearzeld had zijn "aesthetisch gevoel op den achtergrond te dringen." Cohen (n. 30), *Allotropieën*, 12.

33. E. Cohen, "Chemie" in: J.P. Fockema Andreae e.a. (eds.), *De Utrechtse Universiteit 1815-1936* (Utrecht, 1936) 296-301. Van Romburgh werd aanvankelijk opgevolgd door Leopold Ruzicka, maar die was binnen drie jaar weer vertrokken. De blijvende opvolger was Fitz Kögl (vanaf 1930) en aan hem had men een nieuw lab moeten aanbieden.

34. Roozeboom, aangehaald door J. Olie jr. in "Enkele persoonlijke herinneringen aan Bakhuis Roozeboom uit mijn Amsterdamse tijd (1898-1907)", *CW* 50 (1954) 759.

35. Zie Cohens denkbeeldige rondleiding in (n. 30), *Allotropieën*, 15-23.

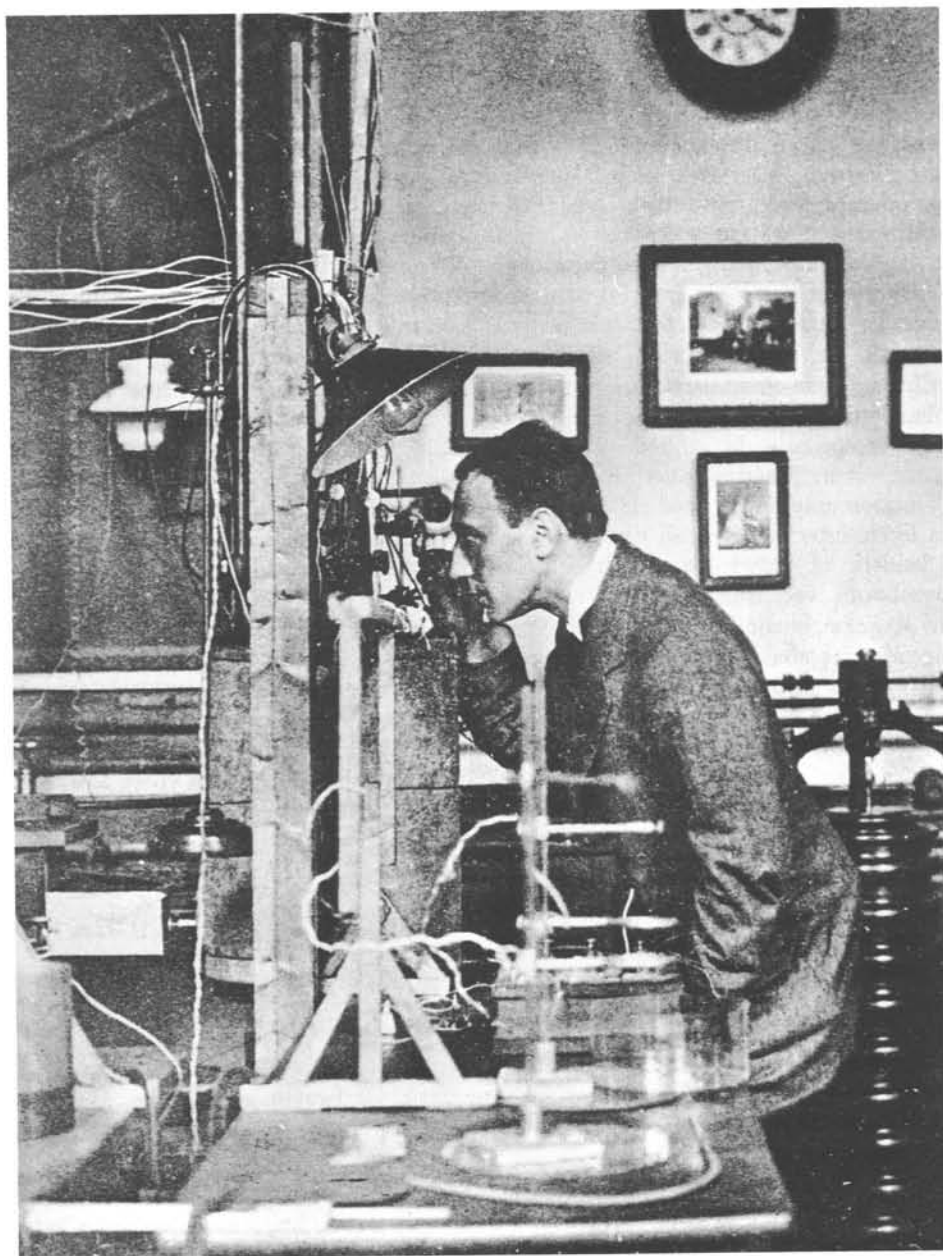
en in 1921 volgde uitbreiding met een extra vleugel. Die eerste verdieping zou vanaf haar aanleg Kruyts domein gaan vormen.

De totstandkomingsgeschiedenis van het Van 't Hoff-lab is tekenend voor de persoonlijkheid en manier van optreden van de man die er de scepter zou gaan zwaaien, en wiens steun en samenwerking ook zoveel zouden bijdragen aan het gunstige klimaat dat voor Kruyt in Utrecht ontstond. Cohen was, zoals Kruyt later zou zeggen, boven alles "een man van de daad": kordaat, actief en met een groot talent voor organiseren. Het was ook deze eigenschap die hem zo geschikt maakte om leiding te geven aan bijvoorbeeld de Nederlandsche Chemische Vereeniging, waarvan hij tot tweemaal toe voorzitter was, en aan verscheidene internationale wetenschappelijke organisaties waarvan hij een aantal zelf had helpen opzetten. Deze functies maakten hem overal bekend en Kruyt zou hem later in veel ervan opvolgen. In het verlengde van 'man van de daad' was Cohen ook een 'man van het experiment' voor wie theorievorming op het tweede plan kwam en die het grootste genoegen schiep in het volbrengen van moeilijke maar uiterst nauwkeurige proefnemingen. Nog duidelijker dan in zijn speurprogramma naar allerhande allotropieën kwam dit naar voren in zijn zogenaamde "piëzochemisch onderzoek": metingen aan stoffen bij extreem hoge drukken. Door enorme volharding en experimenteel vernuft wist Cohen hiermee een zeldzame hoeveelheid gegevens bijeen te brengen voor de nadere verificatie van de thermodynamische wetten. Niet dat iemand nog aan de geldigheid van die wetten twijfelde, maar daar ging het hem niet om: bij Cohen (heel anders dan later bij Kruyt) had het experiment zijn eigen waarde, los van theoretische bespiegelingen. Toch maakte deze gehechtheid aan degelijk en behoedzaam experimenteerwerk Cohen allerminst tot een overvoorzichtig scepticus die nooit tot harde uitspraken durfde te komen. Integendeel: Cohen koesterde over het algemeen uitgesproken en duidelijke opvattingen, zowel op wetenschappelijk gebied als daarbuiten, en hij hield ervan die in een stevig debat te verdedigen. Al vroeg had hij zich de reputatie van een waar "*animal disputax*" verworven en zijn scherpe polemiseerkunst was berucht en gevreesd. Maar Cohen waardeerde een heldere en consequente stellingname ook bij anderen - bijvoorbeeld bij de student die deze voorkeur met hem deelde en die in september 1907 vanwege een dergelijke opstelling vanuit Amsterdam naar hem toe was gekomen.³⁶

4. Een Loopbaan in Utrecht

Kruyt zou na zijn aankomst in Utrecht snel opklimmen in de rangen van de universiteit. Al kort na zijn promotie (met lof) werd hij privaattoecent, reeds op zijn 27ste was er een lectoraat voor hem aangevraagd, zes jaar later steeg hij tot buitengewoon hoogleraar en minder dan twee jaar daarna startte de procedure die hem uiteindelijk in 1921 zijn ordinariaat zou brengen. Hij had deze snelle carrière voor een groot deel te danken aan de initiatieven van Cohen, die er al vroeg van overtuigd raakte met Kruyt een groot talent te hebben binnengehaald dat voor de universiteit behouden moest

36. H.R. Kruyt, "Prof. Dr. Ernst Cohen - Onze Portret-Galerij", *Algemeen Weekblad voor Stad en Land* (2 november 1918) 235. H.R. Kruyt, "Ernst Cohen als Directeur van het Van 't Hoff-Laboratorium", *CW* 24 (1927) 477-478 (zie ook de andere artikelen aldaar). H.R. Kruyt, "Levensbericht van Ernest Julius Cohen (7 Maart 1869 - ? Maart 1944)", *KNAW-Jaarboek 1949-1950* (Amsterdam, 1950) 264-274.



Figuur 6. Ernst Cohen, experimentator *pur sang*. Deze foto - ongetwijfeld een zeer geposeerd portret - toont Cohen zoals hij algemeen gezien werd en zoals hij ook zichzelf het liefst zag: als meester het nauwkeurige experiment. Achter hem hangt de beeltenis van zijn grote voorganger op dat gebied, Antoine-Laurent Lavoisier.
(Faculteit Scheikunde, Utrecht, J.L. den Boesterd)

worden. Cohens waardering betrof natuurlijk in de eerste plaats Kruyts werk, maar de twee konden ook goed met elkaar overweg en hadden op allerlei terreinen dezelfde kijk en dezelfde instelling. Toch vond Kruyts Utrechtse loopbaan haar begin in een eigenschap die hij absoluut niet met Cohen deelde: diens geringe interesse, niet alleen in het opbouwen, maar ook in het uiteenzetten van theorieën. Cohens voorkeur voor experimenteerwerk zette zich voort in een afkeer van doceerwerk: hij had een uitgesproken hekel aan college geven. Bij de opening van het Van 't Hoff-lab had hij als één van de pluspunten genoemd dat er geen collegezaal in huisde en hij stond zijn taken op dat gebied dan ook graag af aan medewerkers die wel liefde of aanleg voor het onderwijs bezaten.³⁷ Zo ook het college fasenleer, dat hij sinds een aantal jaren verzorgde en waarvoor zich met Kruyt, door Roozeboom zelf "een zijner beste leerlingen" genoemd, natuurlijk een uitgelezen kandidaat voor overname aandiende. Cohen vroeg hem dan ook na zijn promotie (op 25 juni 1908) om aan te blijven en Kruyt accepteerde dit aanbod. Vanaf begin 1909 gaf hij als privaattoecent 'physische chemie van het standpunt der fasenleer'.³⁸

Doceren ging Kruyt goed af. Zijn grote voorbeeld op dit gebied was natuurlijk wijlen zijn leermeester zelve en hij nam niet alleen de opzet van diens college over, maar ook de heldere en bezielende voordracht (waarmee hij overigens later, eveneens net als Roozeboom, veel studenten voor zijn eigen onderzoek zou weten te winnen). Cohen was al gauw bijzonder ingenomen met Kruyts verrichtingen en probeerde al in het volgende jaar zijn bevordering tot lector te bewerkstelligen. Dit ging echter wat al te snel want er was geen vacature beschikbaar en dus zou er voor Kruyt een speciale, nieuwe positie gecreëerd moeten worden, hetgeen meer voeten in aarde bleek te hebben dan verwacht.³⁹ Kruyt zou zijn eerste lectoraat dan ook niet in Utrecht krijgen, maar in Groningen, waar F.M. Jaeger tijdelijk vervangen moest worden. Men vroeg Kruyt om diens propedeusecollege waar te nemen, en gedurende het studiejaar 1910/1911 pendelde hij daarvoor wekelijks naar het noorden.

Intussen was er ook buitenlandse belangstelling voor Kruyts kwaliteiten ontstaan. Hij

37. Cohen (n. 30), *Allotropieën*, 14.

38. Faculteitsvergadering 17 december 1908 (Universiteit Utrecht. Archief van de Faculteit der Wis- en Natuurkunde (Fac.), no. 137 (notulen faculteitsvergaderingen 1902-1915)). Kruyt werd overigens in januari al privaattoecent (nodig om onderwijs te mogen geven) maar pas in mei assistent (de betaalde functie) van Cohen. Voor een verwijzing naar Roozebooms uitlating over Kruyt, zie Faculteit aan curatoren, 3 mei 1911 (Rijksarchief Utrecht. Archief van het College van Curatoren (CvC) R59, no. 1163).

39. De bezwaren binnen de faculteit golden het feit, dat met het lectoraat de fasenleer een zelfstandige positie zou krijgen, iets waar met name C.H. Wind, de natuurkundehoogleraar, tegen protesteerde. Hij doceerde zelf thermodynamica aan chemici en vond dat het vak daarvoor viel; ook met Kruyts privaattoecentschap had hij al moeite gehad. Volgens Cohen echter behoorde fasenleer tot de fysische chemie maar moest ze door een extra docent gegeven worden omdat het vak "als 't ware den persoon geheel eischt". Zijn voorstel werd uiteindelijk met slechts 7 tegen 6 stemmen en 1 blanco aangenomen (de grote vertraging ontstond bij de minister). Faculteitsvergaderingen 12 en 22 april 1910 en 2 mei 1911 (Fac., no. 137). Curatoren aan minister Heemskerk van binnenlandse zaken, 18 maart 1911; minister aan curatoren, 31 maart 1911; faculteit wis- en natuurkunde aan curatoren, 3 mei 1911; curatoren aan minister, 23 mei 1911 (CvC R59, no. 1163). Dergelijke grensconflicten tussen chemie en fysica kwamen meer voor, bijvoorbeeld in Amsterdam tussen Roozeboom en Van der Waals aangaande Van Laars 'mathematische chemie'. Geert Somsen, bespreking van *J.J. van Laar (1860-1938). A mathematical chemist* door E.P. van Emmerik, *Gewina* 18 (1995) 52-53.

was kandidaat geweest voor de post waar Jaeger in genoemd jaar op benoemd was (een *research-fellowship* aan het Geophysical Laboratory te Washington DC) en ook vanuit Duitsland toonde men interesse. Kruyt had in de zomervakantie van 1910 enige tijd bij Gustav Tammann gewerkt in diens laboratorium te Göttingen, en in het jaar daarop bood deze hem aan om zijn assistent te worden met uitzicht op een buitengewoon hoogleraarschap binnen twee jaar - een alleraantrekkelijkst aanbod dat ook aan het thuisfront weer schot in de promotieprocedures bracht. Cohen schreef een vurig pleidooi waarin hij stelde dat deze poging om Kruyt "voor de wetenschap in Duitschland te winnen" door het vaderland gepareerd diende te worden en dat het "grote verlies, dat de Universiteit en de wetenschap in ons land zou treffen, indien Dr. Kruyt op de voorstellen, hem uit Göttingen gedaan, mocht ingaan" ten enen male moest worden voorkomen. De patriottische formulering trof blijkbaar de goede toon want waar de minister met de eerdere lectoraatsaanvraag meer dan een jaar had getalmd, stelde hij nu zonder aarzelen toe. Per Koninklijk Besluit van 13 maart 1912 stelde de regering een speciale post ter beschikking "om de verdienste van Dr. Kruyt", die daarmee in Utrecht bleef op de persoonlijke titel van lector in de fasenleer.⁴⁰

Maar ook daarna bleef Kruyts ster stijgen. Drie jaar later nam Cohen het initiatief tot zijn bevordering tot buitengewoon hoogleraar, die nu ook vrij vlug (per 5 april 1916) doorgang vond. Al in 1918 volgde een verzoek om toekenning van een gewoon hoogleraarschap. Eén van de redenen hiervoor was dat Kruyt opnieuw een aanbod was gedaan, ditmaal door "een industrieelen onderneming," vermoedelijk de Lijm- en Gelatinefabriek in Delft, waar Kruyt juist in die tijd intensief mee in contact was gekomen (zie hoofdstuk 5). De aanvragers lieten niet na te onderstrepen dat dit aanbod Kruyt "wat de financieele zijde daarvan aangaat, zeer toelacht[e]," maar de dreiging van zijn vertrek vermocht de zaak deze keer niet te versnellen. Aan een ordinariaat kleefden aanzienlijk grotere salarisverplichtingen die de minister niet zomaar kon aangaan en zodoende werd de benoeming pas definitief in het voorjaar van 1921.⁴¹

Maar over het geheel genomen had Kruyts carrière zich toch stormachtig ontwikkeld en dus rijst de vraag aan welke persoonlijke kwaliteiten hij zijn snelle opgang nu te danken had. Het is niet eenvoudig dit op grond van de bronnen vast te stellen, want bij de bevorderingsverzoeken werden doorgaans legio argumenten aangedragen die dikwijls minder over Kruyt zeiden dan over de aanvragers zelf of over hun inschatting van wat

40. Over Kruyts betrekking in Groningen en zijn kansen op het fellowship aan het Geophysical Laboratory, zie Cohen (n. 1), "Kruyt", 20. Over zijn lectorsbenoeming in Utrecht: Faculteit aan curatoren, 1 juni 1911; curatoren aan minister, 7 juni 1911 (CvC R59, no. 1163). Minister aan curatoren, 20 juli 1911; Secretaris-Generaal aan curatoren, 21 maart 1912 (CvC R59, no. 909).

41. Natuurkundehoogleraar Ornstein had bezwaar gemaakt tegen Kruyts extra-ordinariaat omdat hij persoonlijke verdiensten onvoldoende reden voor de instelling van een nieuwe leerstoel achtte en ook wat Kruyts publikaties betreft "niet den indruk [had] gekregen, dat men hier met origineel werk te doen heeft, hoe verdienstelijk zij overigens ook genoemd moeten worden." De fysici binnen de faculteit stemden ook tegen de voordracht. Faculteitsvergaderingen 6 juli en 24 september 1915 (Fac., no. 137). Faculteit aan curatoren, 27 september 1915 (CvC R59, no. 1163). Kruyt werd op 3 mei 1921 per KB benoemd als gewoon hoogleraar in de fysische chemie op een jaarwedde van f 7500,-. Faculteitsvergaderingen 12 februari 1918 (Fac., no. 138.) Faculteit aan curatoren, 14 februari 1918; curatoren aan minister, 21 februari en 1 mei 1918; faculteit aan curatoren, 11 maart 1919; minister aan curatoren, 2 april 1921; curatoren aan minister, 22 april 1921 (CvC R59, no. 644).

de minister zou kunnen overtuigen. Zo heette het begin 1918, toen de noden van de Eerste Wereldoorlog een hoogtepunt bereikten, dat de scheikunde in het algemeen "juist nu (...) voor ons land een vak van de allergrootste beteekenis" was, terwijl het eerder nog de strijd tegen "chemiatrische wanbegrippen" onder geneeskundestudenten was geweest, die Kruyts bestendinging als docent noodzakelijk maakte. Maar niettemin waren er ook constanten in de motivatie voor zijn bevordering en die zijn wellicht serieuzer te nemen. Onder de voortdurend genoemde kwaliteiten van de voorgedragene vielen Kruyts verdiensten op onderwijsgebied (zijn colleges werden "geroemd" vanwege hun helderheid), zijn ondernemende instelling (Kruyt was iemand "van wie in tal van richtingen veel uitgaat") en in toenemende mate zijn prestaties in het onderzoek.⁴² Want ook op dat terrein begon hij langzamerhand zijn sporen te verdienen, en in de jaren volgend op zijn aankomst in Utrecht wist hij een respectabel oeuvre op te bouwen. Het is instructief om kort na te gaan wat dat oeuvre behelsde.

Allereerst verrichtte Kruyt veel werk dat regelrecht uit zijn promotieonderzoek voortvloeide, en dat hij nog een aantal jaren voortzette. Deze experimenten sloten niet alleen aan bij Roozebooms fasenleer, maar ook heel nauw bij één van de voorkeursrichtingen van zijn nieuwe chef: het onderzoek van allotropieën. Cohen had grote waardering voor Kruyts dissertatie *De Dynamische Allotropie van Zwavel* en hij heeft hem ongetwijfeld gestimuleerd met dergelijk werk door te gaan. We zien Kruyt dan ook in de vier jaar na zijn promotie niet minder dan negen artikelen over dit onderwerp publiceren, en daarnaast nog eens twee over de dynamische allotropie van seleen, een element dat nauw aan zwavel verwant is. Dit onderzoek was steeds gericht op de bepaling van overgangspunten tussen de verschillende fasen, het uitstippelen van curves en hun snijpunten in het fasendiagram, en de constatering van allerlei nieuwe fasencombinaties. Doordat zwavel en seleen pseudo-binaire systemen waren, deden zich door ontmenging of toevoeging van een derde stof veel exotische fasencombinaties voor, die nog onverkende hoekjes in het 'gebouw' verder in konden vullen.⁴³

Een tweede soort onderzoek kunnen we als elektrochemisch kwalificeren. Kruyt ondernam een serie experimenten naar het gedrag van de zogenaamde normaalelementen: elektrische cellen die een zeer constante potentiaal bezitten. Dit werk lijkt af te wijken van het bekende fasenleerstramien maar bij nader inzien blijkt dat slechts gedeeltelijk het geval. Typerend is het onderzoek dat Kruyt samen met Cohen op dit gebied verrichtte: een aantal onderzoekingen aan het zogenaamde Weston-element dat uit een combinatie van cadmium en cadmiumamalgam bestond. Beiden stelden hier vast dat de bestaande kennis van dat elementtekort schoot omdat men zich geen rekenschap had gegeven van het fasengedrag van het amalgam. Boven een zekere temperatuurgrens was dat als een tweefasensysteem (van cadmium en kwik) op te vatten, maar daaronder verdween de grens en ging het over in een (eefasige) oplossing. Dit besef kon het verloop van de potentiaal met de temperatuur beter doen begrijpen. Samen met P.J.H. van Ginneken, een andere medewerker van Cohen, publiceerde Kruyt

42. Zie genoemde benoemingscorrespondentie.

43. Kruyt schreef een serie van vier artikelen getiteld "Die dynamische Allotropie des Schwefels" voor het ZPC 64 (1908) 513, 65 (1908) 486, 67 (1909) 321, 81 (1912) 726, plus een korte publikatie in *Versl. KAW* 21 (1913) 1324. Over seleen zie onder meer H.R. Kruyt, "Dynamische allotropie van het Seleen in verband met zijne lichtgevoeligheid", *NNGC* 12 (1909) 162-166.

in 1911 tevens een algemeen theoretische verhandeling over normaalelementen, en ook hier stond het fasengedrag centraal. Een goed normaalelement, zo concludeerden de auteurs, bestond uit twee delen, die ieder voor zich invariante systemen van dezelfde component vormen. Het zal duidelijk zijn hoe dicht dit elektrochemisch onderzoek nog tegen dat van de fasenleer aanlag.⁴⁴

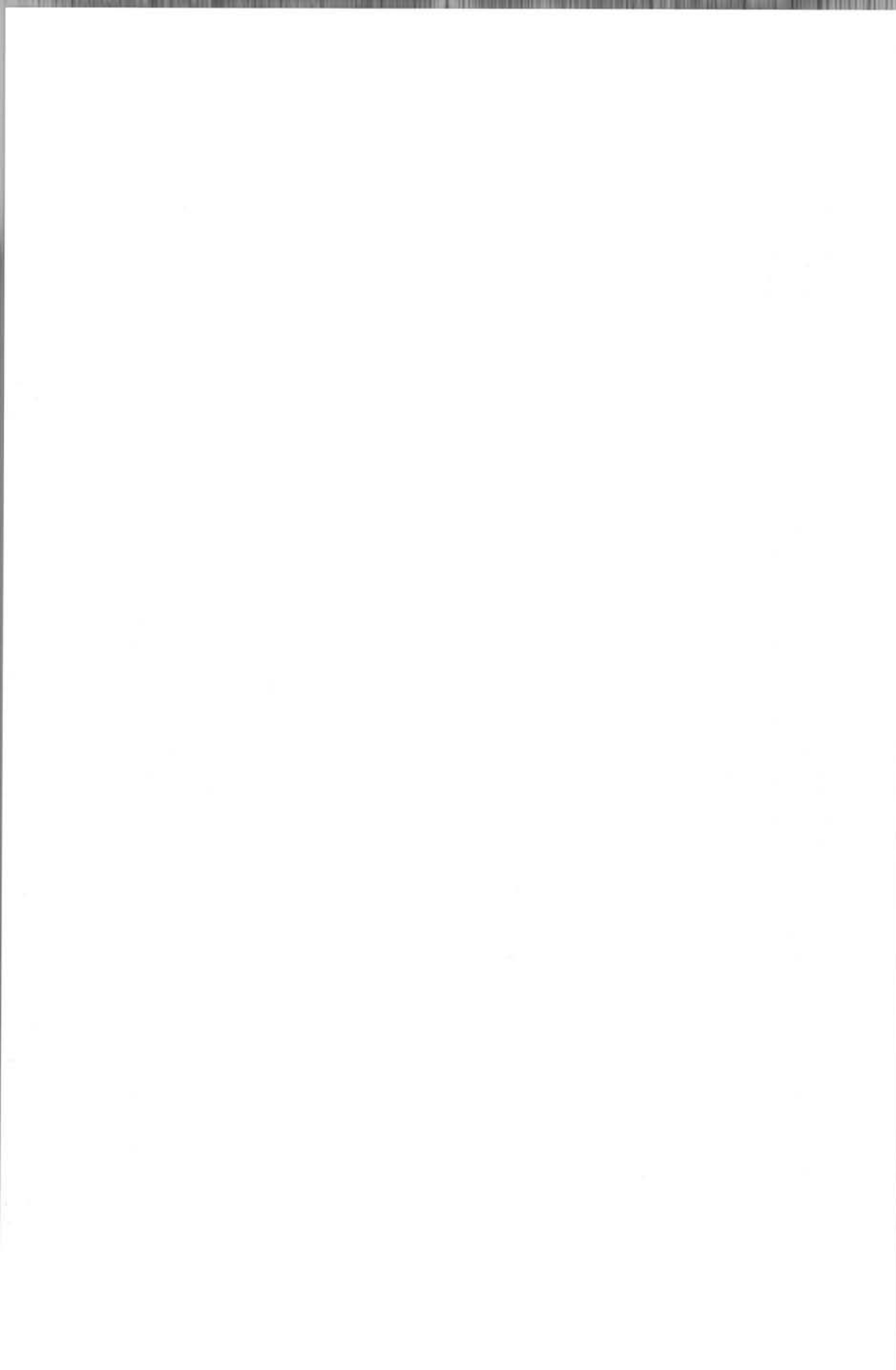
Tenslotte kunnen we nog een categorie 'diverse onderzoekingen' opvoeren, maar ook hierin volgde Kruyts werk voornamelijk de fasenleer. In deze groep valt bijvoorbeeld een reeks experimenten met systemen die onbepaald variabele mengkristallen kunnen vormen, die, bijna vanzelfsprekend, de Roozeboomse opzet volgde. Naast dit werk publiceerde Kruyt nog enige meer formele verhandelingen over de nomenclatuur van 'zijn' pseudo-systemen, en over de naamgeving van soorten isomerie (nauw verbonden met allotropie). Tenslotte ondernam hij, onder meer met zijn oude strijdmakker Olie, nog enkele fotochemische experimenten, waarvan één op "het in begin maart [1909] door heldere sneeuw bedekte veld naast het Van 't Hofflaboratorium" dat als warmte-vrije lichtbron fungeerde. Maar hoe ongebruikelijk die omgeving ook geweest mag zijn, het onderwerp bleef vertrouwd: het fasengedrag van de onderzochte stof.⁴⁵

Zo zien we dus dat Kruyt zich, ook als zelfstandig onderzoeker, nog een tijd lang op zijn oorspronkelijke werkterrein bleef voortbewegen. Niet elk experiment viel duidelijk in Roozebooms gebouw-programma, maar ook het daarvan afwijkende onderzoek bleef tenminste nauw verbonden met de fasenleer. Het was ook op dat gebied dat Kruyt zich als jong onderzoeker een groeiende reputatie verwierf. Niet toevallig was de belangstelling die in den vreemde voor zijn kwaliteiten was ontstaan precies afkomstig van twee van de weinige buitenlandse instellingen die zich met fasenonderzoek bezighielden. Toch zou Kruyt zijn oude gebied na 1911 plotseling verlaten. Ten tijde van zijn lectoraat in Groningen maakte hij kennis met een nieuw vakgebied dat zijn aandacht al gauw exclusief opeiste en na 1912 verrichtte hij uitsluitend nog onderzoek op dat terrein. Nu waren er, zoals we in het vorige hoofdstuk gezien hebben (paragraaf 7), ook wel redenen om de fasenleer te verlaten en die ervoer Kruyt ook in hoge mate. Hij zou later verklaren dat hij in deze periode sterk openstond voor een nieuw "gebied, dat nog (...) vol problemen zat, in tegenstelling tot de fasenleer die alleen nog maar om verdere toepassing vroeg (het principieel belangrijkste daarvan was trouwens ook alreeds gedaan) en waarvan de grondtheorie zelfs eigenlijk al klassiek was."⁴⁶ Maar de motivatie om over te stappen had niet alleen te maken met de tekortkomingen van zijn oorspronkelijke terrein, maar ook met de enorme aantrekkingskracht van dat nieuwe vakgebied: de colloïdchemie. Het wordt dus tijd dat we daar nader naar gaan kijken.

44. E. Cohen en H.R. Kruyt, "Die elektromotorische Kraft des Kadmiumnormalelements bei Nullgrad", *ZPC* 65 (1909) 359-370. P.J.H. van Ginneken en H.R. Kruyt, "Zur Theorie der Normalelemente", *ibid.* 78 (1911) 744-760.

45. H.R. Kruyt, "De nomenclatuur van pseudo-systemen", *CW* 7 (1910) 133-136. H.R. Kruyt, "Over de verschillende soorten van isomerie", *ibid.* 136-138. H.R. Kruyt en J. Olie jr., "Photo-electrische verschijnselen bij zwavelantimoon", *Versl. KAW* 20 (1912) 692.

46. Kruyt (n. 3), "Afscheidscollege", 264.



Hoofdstuk 3

Een Veelbelovend Vakgebied

Tijdens het cursusjaar 1910/1911 zag Kruyt zich gedwongen een groot aantal uren niet in het laboratorium door te brengen, maar in de trein. Hij was tijdelijk aangesteld in Groningen terwijl zijn colleges in Utrecht onverminderd doorliepen en daarom reisde hij iedere week per spoor op en neer naar het noorden. Een dergelijk intensief forenzenbestaan kostte vanzelfsprekend veel tijd - tijd die voor het experimenteerwerk verloren ging maar die, vreemd genoeg, Kruyts onderzoek juist zou stimuleren. Want in de uren doorgebracht tussen de rails vond hij gelegenheid om te lezen, om literatuur door te nemen die nu eens niet strikt vakmatig verplicht was maar die hem een blik deed werpen op nieuwe gebieden buiten zijn eigenlijke werkterrein. En dat zou niet zonder gevolgen blijven. Want de jonge tak van scheikunde waarop Kruyt zich bij zijn studie in de trein concentreerde, de colloïdchemie, maakte zo'n grote indruk op hem dat zij zijn aandacht voor de fasenleer al gauw totaal overvleugelde. Reeds direct na afloop van zijn Groningse periode ondernam hij de eerste pogingen om zelf colloïdchemische experimenten te verrichten en binnen een jaar wijdde hij zich aan niets anders meer en was het fasenleeronderzoek een kwestie van afbouwen geworden.¹

De vraag dringt zich op hoe dit kon gebeuren. Wat maakte dat Kruyt zo plotseling en zo drastisch van onderzoeksrichting veranderde? We hebben al gezien dat er belangrijke redenen bestonden om Roozebooms vak en programma de rug toe te keren en dat dergelijke overwegingen ook zeker bij Kruyt aanwezig waren. Maar deze negatieve beweegredenen kunnen zijn ommezwaai natuurlijk maar ten dele verklaren. Bovendien kunnen ze ons niet duidelijk maken waarom hij juist de colloïdchemie koos om naar over te stappen. Het lijkt erop dat ook van dat vak zelf een sterke motivatie uitging en dat

1. Het verhaal van Kruyts inspiratie in de trein is herhaaldelijk, vooral bij herdenkingsgelegenheden, naar voren gebracht; voor de eerste formuleringen zie Ernst Cohen, "Hugo Rudolph Kruyt 1908-1933" in: *Hugo Rudolph Kruyt 1908-1933. Ter Herdenking van Zijn 25-Jarig Doctoraat* (Amsterdam, 1933) 20-21 en H.R. Kruyt, "Afscheidscollege gehouden op Vrijdag 20 September 1946 in de Collegezaal van het Organisch Chemisch Laboratorium te Utrecht", *CW* 42 (1946) 264-270: 264. Hoewel er op zich geen reden bestaat om aan het waarheidsgehalte van het verhaal te twijfelen, vormt het natuurlijk geen volledige verklaring voor Kruyts *Werdegang* van fasenonderzoeker naar colloïdchemicus. Andere factoren die zijn overgang stimuleerden, worden in dit hoofdstuk besproken.

Kruyt er de nieuwe uitdagingen en onderzoeksmogelijkheden in zag, die hij in de fasenleer zozeer begon te missen. Maar wat was er dan zo aantrekkelijk aan die colloïdchemie? Met wat voor vraagstukken hield het vak zich eigenlijk bezig? Waar kwam de colloïdchemie vandaan en hoe stond zij er voor op het moment dat Kruyt zich erin verdiepte? Op deze vragen zal in dit hoofdstuk een antwoord worden gegeven. We zullen daartoe eerst de voorgeschiedenis van het vak behandelen, en zien hoe na de eeuwwisseling verschillende interesses convergeerden en zich een beeld aftekende van colloïdchemie als zelfstandige en zeer veelbelovende nieuwe tak van wetenschap. Vervolgens zullen de uiteenlopende benaderingen binnen dat vakgebied aan bod komen, die ontstaan waren als gevolg van de bonte verscheidenheid aan onderzoekers die het nieuwe terrein hadden betreden. Hierbij zullen we uiteindelijk het langst stilstaan bij de theorieën waarmee Kruyt in de trein kennismakte: die van Wolfgang Ostwald en van Herbert Freundlich - via hun respectievelijke leerboeken. Tenslotte zullen we nagaan wat er in Nederland al aan colloïdchemie bedreven werd vóórdat Kruyt ernaar overstapte, en in hoeverre zijn werk bij de bestaande tradities aansloot. Maar laten we beginnen bij de wortels van het vak.

1. Voorgeschiedenis

Historische terugblikken laten de geschiedenis van de colloïdchemie doorgaans aanvangen met het werk van Thomas Graham, de Schotse chemicus die in 1861 de term 'colloid' introduceerde. Dat startpunt ligt echter allerm minst vast, en bijvoorbeeld Kruyt zelf liet zijn vak liever beginnen bij Francesco Selmi, een Italiaanse vorser, die al zestien jaar eerder de kenmerkende eigenschappen van colloïdale systemen had herkend en beschreven.² Aan de andere kant valt er ook veel voor te zeggen om het begin juist naar later tijden te verplaatsen, bijvoorbeeld naar de periode vlak na de eeuwwisseling, want daarvóór was de 'colloïdchemie', als men daar al van spreken kan, nog nauwelijks herkenbaar als een zelfstandig vakgebied; de kans is ook klein dat een beginnend onderzoeker als Kruyt er toen erg warm voor zou hebben gelopen. Maar welk vertrekpunt we ook kiezen, het blijft een feit dat Graham de eerste was die colloïden expliciet definieerde, en als zodanig is zijn bijdrage aan de totstandkoming van de colloïdchemie ontegenzeggelijk relevant en onontkoombaar in elke historische behandeling ervan.

Graham had al bijna zijn hele loopbaan achter zich toen hij in bovengenoemd jaar voorstelde om in de gehele chemie een onderscheid in te voeren tussen twee hoofdklassen van substanties: 'colloïden' en 'kristalloïden'.³ Deze tweedeling kwam recht-

2. Zie onder andere H.R. Kruyt, *De Weg der Wetenschap* (Kruyts rectoraatsrede, uitgesproken op 26 maart 1941) (Amsterdam, 1941) 20-24. Kruyt zag in de Fransman A. Baudrimont een tweede grondlegger, maar zijn grootste voorkeur ging uit naar Selmi, die volgens hem de colloïdale karakteristieken het scherpst doorzien had. Overigens wenste hij zich verre te houden van het "onappetijtelijk prioriteitskrakeel", zoals dat bij tijd en wijle opdook onder colloïdchemici van verschillende nationaliteiten. Selmi's werk is, samen met dat van andere pioniers, uitgegeven in de Engelse vertaling in de bundel: Emil Hatschek (ed.), *The Foundations of Colloid Chemistry. A Selection of Early Papers Bearing on the Subject* (London, 1925).

3. Over Graham zie: G.B. Kaufmann, "Graham, Thomas" in: C.C. Gillispie (ed.), *Dictionary of Scientific Biography* (18 dln.; New York, 1970-1990) V, 492-495; M.D. Swords, *The Chemical Philosophy of Thomas Graham*, proefschrift Case Western University, microfilmuitgave (Ann Arbor, 1975) (Swords behandelt onder meer

streeks voort uit het werk waarmee hij zich zijn leven lang had beziggehouden: het onderzoek van diffusie. Vanaf 1829 had hij dit verschijnsel in gassen en vloeistoffen bestudeerd, ervoor wetten opgesteld, en vaak geconstateerd dat de snelheden waarmee verschillende stoffen diffunderen enorm uiteen kunnen lopen. Dat laatste had hem op het idee gebracht dat het mogelijk moest zijn een nieuwe methode te ontwikkelen om mengsels te scheiden - naar analogie met distillatie, maar dan niet op grond van kookpuntverschillen, maar gebaseerd op de uiteenlopende tijden die stoffen nodig hebben om zich in oplossing van A naar B te verplaatsen. Voortbouwend op dat idee ontwierp hij een toestel waarbij die verplaatsing nog een extra barrière kreeg opgevoerd: het zogenaamde dialyse-apparaat - in zijn simpelste vorm niet meer dan een tweetal vaten, de één in de ander geplaatst en van elkaar gescheiden door een halfdoorlatend perkamentmembraan. Bij proeven met het dialysetoestel bleek het Graham dat er één klasse van stoffen was die niet in staat waren het membraan te passeren en dat dit precies die substanties waren, die ook zeer langzaam diffundeerden en die bovendien buiten de oplossing geen kristallen konden vormen: stoffen zoals zetmeel en eiwitten. Voor Graham bood dit verschijnsel de mogelijkheid tot een eerste hoofdingeling van alle chemische substanties en hij noemde de stoffen met de genoemde eigenschappen 'colloids', vanwege hun lijmachtige voorkomen ('kolla' (κόλλα) is Grieks voor lijm), terwijl hij hun tegenhangers, die dus wel het membraan konden passeren en die tevens konden kristalliseren, 'crystalloids' doopte.⁴

Wat Graham beoogde had nog weinig te maken met het creëren van een nieuwe tak van wetenschap die zich speciaal zou moeten toeleggen op het bestuderen van colloïden. Hij wilde slechts een analytisch onderscheid invoeren tussen groepen chemische substanties en zijn tweedeling was min of meer een bijproduct van de nieuwe scheidingsmethode die hij in de eerste plaats wilde introduceren. Niettemin was Graham ervan overtuigd dat het verschil tussen colloïden en kristalloïden een fundamentele betekenis had en terugging op de microscopische samenstelling van de stoffen. Hij probeerde het dan ook te verklaren op grond van zijn eigen materiëtheorie. Graham hield er nogal ongebruikelijke, om niet te zeggen tamelijk esoterische opvattingen omtrent de bouw van substanties op na, waarin hij elke stoffelijke verschijningsvorm in essentie beschouwde als een bewegingstoestand van de oermaterie. Colloïden correspondeerden volgens hem met een metastabiele toestand tussen vast en vloeibaar in, waarin de oermaterie zich buitengewoon hevig roerde: "The colloid is, in fact, the dynamical state of matter, crystalloidal being the statical condition. The colloid possess *ENERGIA*. It may be looked upon as the probable primary force in the phenomena of vitality."⁵

Graham's filosofische wortels in de Schotse 'School of Common Sense', alsmede zijn persoonlijke chemische wereldbeschouwing); en A.W. von Hofmann, *Zur Erinnerung an vorangegangene Freunde. Gesammelte Gedächtnissreden* (2dln.; Braunschweig, 1888) I, 1-41 (een contemporaine beschrijving van leven en werk van Graham).

4. Th. Graham, "Liquid Diffusion Applied to Analysis", *Philosophical Transactions of the Royal Society* 151 (1861) 183-224. Een Duitse vertaling hiervan verscheen als "Anwendung der Diffusion der Flüssigkeiten zur Analyse" in: *Abhandlungen über Dialyse (Kolloide)*, Ostwald's Klassiker der exakten Wissenschaften No. 179 (Leipzig, 1911) 3-64.

5. Graham (n. 4), "Liquid Diffusion", 183. Over Grahams materiëtheorie en zijn bespiegelingen over colloïden, zie: E. Glas, *Chemistry and Physiology in their Historical and Philosophical Relations* (Delft, 1979) hoofdstuk 4, m.n. 82-83.

Deze uitspraak is later nogal eens aangehaald door historici van de biochemie, om Graham als 'vitalist' te ontmaskeren en hem vervolgens, al of niet samen met de gehele verdere colloïdchemie, terzijde te schuiven als onverhoopte aberratie in de vooruitgang van de levenswetenschap.⁶ Nu zijn er zeker subtielere manieren om historische gegevens af te handelen, maar het moet gezegd worden dat Grahams ideeën inderdaad een soort curiositeit bleven. Zijn materietheorie vond in het algemeen weinig weerklank en zijn opvattingen over de aard van colloïden werden al helemaal niet overgenomen.

Maar de afwijzing door tijdgenoten van Grahams theorieën betekende niet dat ook zijn tweedeling van de materie zou verdwijnen. Integendeel: als analytische categorieën raakten de begrippen colloïd en kristalloïd wijd verbreid. In 1899 schreef de fysioloog Max Verworn in zijn leerboek: "proteids and a host of other substances which behave similarly do not diffuse through membranes (...). In 1861 Graham contrasted these bodies as *colloid* substances from *crystalloid* substances; and this distinction has been handed down and been generally accepted."⁷ Verworns opmerking gold met name zijn eigen vakgebied en de reden waarom Grahams categorieën juist in de fysiologie zo aansloegen, is dat zij het onderscheiden karakter van biologisch relevante substanties (zoals Verworns 'proteids') tot uitdrukking brachten. In een scheikundig laboratorium werkte men doorgaans vooral met kristalloïde stoffen, en daarmee konden organisch- en anorganisch-chemici ook het best uit de voeten. Maar de voortbrengselen van de levende natuur hadden vaak een colloïdaal karakter en waren daardoor een stuk problematischer. Zo was de zuiverheid van colloïden moeilijk vast te stellen omdat ze niet kristalliseerden, hun samenstelling was hoogstens grofweg bekend, hun molecuulgewicht viel (hoewel het ongetwijfeld bijzonder groot was) nauwelijks te meten, en dat kwam weer doordat ze de daartoe benodigde eigenschappen, zoals vriespuntsdaling en osmotische druk, vrijwel niet vertoonden. 'Colloïd', met andere woorden, werd al gauw het etiket voor stoffen die voor de bioloog belangrijk waren, maar voor de scheikundige onbegrepen, onhandelbaar, en in feite ongewenst. Oftewel, zoals de colloïdchemicus William Bate Hardy het later zou uitdrukken: "the only place for colloids in chemistry was the sink."⁸

Toch zou ook onder chemici de belangstelling voor colloïden groeien, met name na de opkomst van die nieuwe tak van scheikunde: de fysische chemie. Vertegenwoordigers van deze discipline raakten geïnteresseerd in colloïdale oplossingen, onder meer omdat

6. Zie speciaal Marcel Florin, *A History of Biochemistry* (Amsterdam etc., 1972) (dit is deel 30 in de reeks *Comprehensive Biochemistry* onder redacteurschap van Florin zelf) 279.

7. M. Verworn, *General Physiology: an outline of the science of life* (London etc., 1899) 105. Ook Nederlandse biologen namen Grahams onderscheid al gauw over: de latere Utrechtse hoogleraar F.A.F.C. Went behandelde al in 1892, in zijn functie als voorlichter voor suikerplanters op Java, de 'leer der colloïden' met betrekking tot de chemische samenstelling van de cel; en nog in 1921 hield de Groningse hoogleraar Th. Weevers zijn inaugurele rede over *De Beteekenis van de Kolloïdchemie voor de Plantenphysiologie* (Groningen en Den Haag, 1921). Kruyt zou zijn leven lang colloïdchemie doceren aan medici en biologen. In algemeen chemische verhandelingen, zoals encyclopedieën en dergelijke, werden colloïden aanvankelijk ook slechts als analytische categorie behandeld - zie bijvoorbeeld M.M. Pattison Muir en H. Forster Morley, *Watt's Dictionary of Chemistry II* (2e ed.; London, 1894), waar het begrip colloïd opduikt onder de ingangen 'diffusie' en 'fysische scheidingsmethoden'.

8. Geciteerd in H.R. Kruyt, "Kennnis en Begrip. Rede uitgesproken bij de aanvaarding van de Francquileerstoel 1935-1936 aan de Universiteit te Gent op 16 October 1935", *NT* 17 (1935) 139-147.

die een uitdaging stelden aan het toepassen van hun overigens zo succesvolle theoretische voorstellingen. Het ontbreken van vriespuntsdaling, kookpuntsverhoging en osmotische druk, bijvoorbeeld, leek lastig te verenigen met de theorie der verdunde oplossingen.⁹ En de elektrische eigenschappen die colloïden vertoonden, sloten zo mogelijk nog slechter aan bij de hypothese van elektrolytische dissociatie. Zo was het bijvoorbeeld gebleken dat alle opgeloste colloïddeeltjes (zelf vaak 'colloïden' genoemd) doorgaans een lading droegen van hetzelfde teken, en bovendien dat die lading kon veranderen, en zelfs om kon keren, door toevoeging van kleine hoeveelheden elektrolyt. Werd daarvan teveel toegevoegd, dan was van een oplossing al helemaal geen sprake meer: alle deeltjes kleefden dan samen en 'vlokten uit' naar de bodem van het vat - een verschijnsel dat bekend werd als coagulatie. Met dergelijke eigenschappen weken colloïdale oplossingen volkomen af van die van normale moleculen en ionen en het was duidelijk dat er nieuwe concepten nodig waren om ze te beschrijven, alsmede nieuwe methoden om ze te bestuderen. Een techniek die daarbij in belangrijke mate kon helpen was die van de 'kataforese': de beweging van colloïden in een elektrisch veld die, naar men aannam, een indicatie gaf van hun lading. In de handen van onderzoekers als de genoemde Hardy en Eli Franklin Burton zou de kataforesetechniek tot belangrijke conclusies leiden aangaande het verband tussen de lading van colloïden en hun stabiliteit.¹⁰

Maar er was ook een geheel andere reden waarom colloïden op het terrein van de fysische chemie terecht kwamen, en die kwam voort uit hun toenemend aantal. In 1882 was een oplosbare en colloïdale vorm van arseensulfide ontdekt en daarmee was een reeks syntheses van nieuwe colloïden in gang gezet. Niet alleen zetmeel en albumine, maar ook metalen, allerhande zouten en organische verbindingen wist men in colloïdale oplossingen te bereiden. Onderzoekers als Georg Bredig, Theodor Svedberg en Peter Petrovic von Weimarn (die meer dan 200 nieuwe colloïden synthetiseerde) ontwikkelden steeds nieuwe synthesemethoden en uiteindelijk verschenen zelfs keuzenzout, water en ijs in colloïdale vorm. Deze haast onbeperkte mogelijkheden maakten het aannemelijk dat het colloïd-zijn niet zozeer een klasse van substanties betrof (zoals voordien was aangenomen), maar veeleer een bepaalde toestand waarin in principe elke stof te brengen

9. Uitzonderingen op de wetten voor verdunde oplossingen werden rond de eeuwwisseling in het algemeen intensief onderzocht door fysisch-chemici; de meeste aandacht ging daarbij uit naar de zogenaamde sterke elektrolyten. Overigens was het nog een punt van discussie of colloïdale oplossingen überhaupt als 'ware' oplossingen konden worden beschouwd of dat ze in feite mechanische mengsels vormden. Carl Barus en E.A. Schneider van de Geological Survey in Washington DC kwamen in 1891 tot de laatstgenoemde conclusie, die vervolgens weer aangevochten werd door de Engelse onderzoekers Harold Picton en S. Ernest Linder. Die concludeerden, na een lange reeks onderzoeken in de loop van de jaren 90, dat de waarheid uiteindelijk in het midden lag, en dat colloïden voorkwamen in "[both] lower and higher grades of solution". Zie ook de discussies tussen Bakhuis Roozeboom en Lobry de Bruyn in paragraaf 7 van dit hoofdstuk.

10. Rond de eeuwwisseling bestond er al een heel aantal empirische regels aangaande het verband tussen lading en stabiliteit van colloïden. H. Schulze had in 1882 reeds vastgesteld dat de mate waarin een elektrolyt doet uitvlokken alleen afhangt van de valentie van zijn ionen (de zogenaamde valentieregel van Schulze). Franz Hofmeister vond later echter wel degelijk verschillen tussen ionen, ook die van dezelfde valentie, in hun effect op eiwitten; de hiërarchie van ionen die hij waarnam, werd bekend als de 'Hofmeister-reeks'. William Hardy, tenslotte, vond via zijn kataforese-experimenten dat ionen de lading van het colloïd doorgaans verlagen; dat alleen het aan het colloïd tegengesteld geladen ion effect heeft; en dat het colloïd uitvlokt op het moment dat zijn lading nul geworden is: het zogenaamde iso-elektrisch punt.

was. En doordat het colloïdbegrip aldus het stofspectifieke ontsteeg was het binnen het domein van de fysische chemie terecht gekomen: fysisch-chemici onderzochten geen colloïdale substanties, maar colloïdale systemen.¹¹

Wolfgang Ostwald, zoon van de fysisch-chemicus Wilhelm Ostwald en één van de latere leiders van het colloïdchemische vakgebied, nam deze generalisatie zelfs nog een stap verder. Volgens hem was het niet eens noodzakelijk dat colloïden zich in een vloeibare oplossing bevonden, maar correspondeerde de colloïdale toestand primair met een zekere (zeer fijne) verdelingsgraad, die in iedere fase te bereiken was. In zijn zienswijze viel bijvoorbeeld ook rook, dat opgevat kan worden als een fijne verdeling van vaste deeltjes in een gas, onder de colloïdale systemen. En zoiets als schuim (minuscule gasballetjes in een vloeistof) was voor Ostwald evengoed een colloïd. In 1907 ontwierp hij een algemeen indelingsschema voor colloïdale systemen, waarin alle combinaties van twee fasen voorkwamen: vast verdeeld in vast, vast in vloeistof, vloeistof in gas, etc. Alleen de mate van dispersie bepaalde of er sprake was van een colloïdaal systeem en geestverwanten van Ostwald vervingen de term 'colloïd' dan ook soms door 'dispersoïd' en 'colloïdchemie' door 'dispersoïdchemie'.¹²

Ostwalds indeling werd vrij algemeen overgenomen, maar over het geheel zou het onderzoek zich toch concentreren op colloïden in een vloeibaar oplosmiddel, en daarvan weer het meest op die in water. Binnen die categorie had men ook al met genoeg variatie te kampen, want het was bijvoorbeeld al van begin af aan duidelijk dat systemen als goudsolen ('sol' was de naam voor colloïdale oplossing) grote verschillen vertoonden met zoiets als een eiwitoplossing. Men onderscheidde colloïdale oplossingen dan ook al gauw in twee categorieën: de 'suspensoiden' en de 'emulsoiden'. Suspensoiden waren colloïdale systemen zoals dat van goud, die veelal (maar niet altijd) een anorganische samenstelling hadden en over het algemeen niet zeer stabiel waren; bij toevoegen van een kleine hoeveelheid elektrolyt vlokten een suspensoid bijvoorbeeld al uit. Emulsoiden waren meestal organisch van aard (zoals eiwitten), bezaten een grotere stabiliteit en kenmerkten zich vooral door de enorme hoeveelheid water die de opgeloste colloïddeeltjes aan zich bonden (om deze reden noemde men ze ook wel 'hydrofiel' en de suspensoiden 'hydrofoob'). Soms kon die hoeveelheid zelfs zo groot worden dat de vloeibaarheid van de oplossing erdoor verloren ging en het sol als het ware stelde tot een zachte maar vaste massa: een 'gel' - een verschijnsel dat het bekendst was bij gelatine.

Een andere eigenschap waarover men zich al vroeg een denkbeeld had gevormd was de afmeting van de deeltjes waaruit colloïdale stoffen c.q. systemen bestonden. Al vanaf de tijd van Graham was eenieder ervan overtuigd dat die deeltjes (die zelf vaak colloïden werden genoemd) een aanzienlijke omvang bezaten - daarom diffundeerden ze zo traag, daarom gingen ze niet door een perkamentmembraan en daarom gaven ze een nauwelijks meetbare vriespuntsdaling, kookpuntsverhoging en osmotische druk. Colloïden waren zonder twijfel groter dan normale moleculen, maar desalniettemin kon men ze

11. Het idee dat het colloïd-zijn een toestand was, werd versterkt door claims als die van Hofmeister, die in 1889 beweerde een eiwit te hebben laten kristalliseren; daarmee was immers een bij uitstek colloïdale stof in kristalloïde toestand gebracht. De meeste fysisch-chemici zagen de herdefinitie van 'colloïd' als een toestand als één van de belangrijkste stappen in de richting van een moderne colloïdchemie.

12. Wolfgang Ostwald, "Zur Systematik der Kolloide", *Zeitschrift für Chemie und Industrie der Kolloide* 1 (1907) 291-300, 331-340.

met een filter niet afvangen en was er onder de microscoop hoegenaamd niets van ze te zien. Ze bewoonden blijkbaar een schemerige tussenwereld. Dit veranderde echter aan het begin van de twintigste eeuw na de ontwikkeling van de 'ultrafiltratie'-techniek door Heinrich Bechhold, maar vooral, en al eerder, door de uitvinding van de zogenaamde ultramicroscoop. Tussen 1900 en 1903 werkten Richard Zsigmondy en Henry Friedrich Wilhelm Siedentopf, in samenwerking met de optische firma Zeiss in Jena, aan een methode om colloïden microscopisch te onderzoeken. Daarvoor ontwierpen zij een nieuwe belichtingstechniek, de zogenaamde *Dunkelfeldbeleuchtung*, waarbij het benodigde licht niet in de kijkrichting maar zijdelings op het object viel; men bekeek dus in feite het strooilicht van de colloïdale oplossing, het zogeheten Tyndall-licht. Zsigmondy was aan deze onderneming begonnen omdat hij hoopte aan te tonen dat het strooilicht slechts van verontreinigingen afkomstig was en men de colloïddeeltjes zelf, net als opgeloste moleculen, niet zou kunnen waarnemen. Maar dat pakte anders uit, want voor het objectief van de ultramicroscoop verscheen geen kalme achtergrond met wat verdwaalde stofjes, maar een krioelende massa van colloïden: "A swarm of dancing gnats in a sun-beam will give one an idea of the motion of the gold particles in the hydrosol of gold! They hop, dance, jump, dash together, and fly away from each other, so that it is difficult in the whirl to get one's bearings."¹³

De bewegingen die Zsigmondy had waargenomen zouden als zodanig het onderzoeksobject gaan vormen van een volgende groep geïnteresseerden: de fysici. Want colloïden vertoonden daarmee in hevige mate een verschijnsel dat uit zou groeien tot de *test-case* voor de kinetische warmtetheorie: de Brownse beweging. In 1905 had de toen nog vrij onbekende Albert Einstein een theoretisch model gepubliceerd waarin de Brownse beweging werd beschreven als het resultaat van botsingen van omringende vloeistofmoleculen tegen de deeltjes. Einstein had zijn verhandeling besloten met de opmerking dat, mochten zijn vergelijkingen geverifieerd worden, dit een belangrijke steun zou betekenen voor de moleculair-kinetische voorstelling van warmte (de realiteit van die voorstelling stond indertijd ter discussie). Ongeveer tegelijkertijd en met een hierbij aansluitende motivatie was de Fransman Jean Perrin begonnen aan een serie experimentele onderzoeken van de Brownse beweging bij colloïddeeltjes. Zijn experimenten met de ultramicroscoop bezaten een grote precisie en de resultaten bleken achteraf prachtig overeen te komen met Einsteins voorspellingen. Perrin wist vervolgens nog een aantal andere verificaties te bewerkstelligen en zijn werk werd algemeen ontvangen als het definitieve bewijs voor de moleculair-kinetische voorstelling van warmte en materie - en in feite voor het werkelijk bestaan van moleculen en atomen in het algemeen. Intussen hadden ook andere onderzoekers zich op dit terrein begeven en het werk van Perrin en Einstein kreeg onder meer een parallel in de experimenten van de Zweed The Svedberg en de

13. Zsigmondy, geciteerd in H.R. Kruyt, *Colloids. A Textbook* (New York, 1927) 137. Het citaat is vertaald overgenomen uit Zsigmondy's eerste uitgebreide rapportage over zijn ultramicroscopische bevindingen: *Zur Erkenntnis der Kolloide - über irreversible Hydrosole und Ultramikroskopie* (Jena, 1905). Over de uitvinding van de ultramicroscoop, zie Richard A. Zsigmondy, "Properties of Colloids. Nobel Lecture, december 11, 1926" in: *Nobel Lectures. Chemistry. 1922-1941* (Amsterdam etc., 1966) 45-57; over Zsigmondy zelf, zie M. Kerker, "Zsigmondy" in: Gillispie (n. 3), *Dictionary XIV*, 632-634; over ultramicroscoop, ultrafiltratie en Siedentopfs bijdrage: J. Eric Elliott, "Instrumentation and Colloid Chemistry in Germany, 1900-1930" (ongepubliceerde lezing, Leipzig, 1988) 4-8.

theoretische exercities van de Pool Marian von Smoluchovski.¹⁴ De studie van de bewegingen van colloïdale deeltjes, ook bijvoorbeeld in samenhang met eventuele veranderingen die ze ondergingen, werd een vast onderdeel van de ontluikende colloïdchemie.

2. Colloïdchemie als Discipline

Zo waren omstreeks het eerste decennium van de twintigste eeuw colloïden in de belangstelling komen te staan van verschillende groepen onderzoekers. Fysici waren geïnteresseerd in de bewegingen die colloïddeeltjes uitvoerden, fysisch-chemici onderzochten colloïdale oplossingen en hun elektrochemische gedrag, een enkele organisch-chemicus speurde naar de moleculaire structuur van colloïden en veel fysiologen zagen in colloïdale substanties de chemische basis van belangrijke levensprocessen. Bij al deze wetenschappelijke aandacht voegde zich bovendien nog belangstelling vanuit niet-academische hoek. Artsen raakten geïnteresseerd in de colloïdale structuur van zieke versus gezonde cellen en weefsels, farmaceuten experimenteerden met met colloïden verrijkte lotions en zalf en vooral in de industrie ontstonden steeds grotere verwachtingen van speciaal op colloïden gericht onderzoek.¹⁵ Dat laatste is ook niet zo verwonderlijk als we bedenken dat veel industriële producten colloïdaal van karakter waren: rubber, papier, leer, verf, kunstzijde - talloze materialen waren uit colloïden samengesteld en konden, zoals we hebben gezien, met de gangbare chemische methoden niet goed worden begrepen en beheerst.

Verskillende interesses convergeerden, maar op zich zorgden die er nog niet voor dat er ook sprake was van een samenhangend en op zichzelf staand vakgebied. Om de colloïdchemie als zelfstandige discipline herkenbaar te maken was ook een zekere mate van integratie en organisatie noodzakelijk, en een eerste stap in die richting was de oprichting van een speciaal colloïdchemisch tijdschrift. Al vóór de eeuwwisseling hadden de Duitse uitgevers Steinkopff en Springer een plan daartoe opgevat, omdat zij het idee hadden dat wetenschappers en fabrikanten gebaat zouden zijn bij een gebundelde informatievoorziening over colloïden. Het nieuwe vaktijdschrift zou niet moeten leiden tot verdere wetenschappelijke specialisering maar juist colloïdchemische kennis uit diverse bronnen samen moeten brengen, om daarmee "die gesamte Kolloidal-Industrie auf technisch-wissenschaftlichen Grundlagen zu stellen". Men hoopte op bijdragen uit academische laboratoria zowel als uit de praktijk en zocht een bekende 'Kautschuk-Chemiker' aan om die bijeen te brengen. Helaas echter overleed deze nog voor hij de taak op zich kon nemen, maar in 1906 kon het blad uiteindelijk, onder redacteurschap van een nieuwe rubberspecialist, van start gaan onder de titel: *Zeitschrift für Chemie und Industrie*

14. Ook Perrins onderzoeken vóór die van de Brownse beweging waren al ingegeven door het verlangen bevestiging te vinden van de realiteit van de moleculaire voorstelling van materie. Zie Mary Jo Nye, *Molecular Reality. A Perspective on the Scientific Work of Jean Perrin* (London en New York, 1972), m.n. 53, 85-91 en 97-136. Zie ook Roger H. Stuewer, "Perrin, Jean Baptiste" en Stig Claesson en Kai O. Pedersen, "Svedberg, The (Theodor)" in Gillispie (n. 3), *Dictionary X*, 524-526; resp. XIII, 158-164, en Milton Kerker, "The Svedberg and Molecular Reality", *Isis* 67 (1976) 190-216.

15. Volgens Eric Elliott paste men al in de jaren 1890 zalven toe die metaalcolloïden bevatten om 'onzuiverheden' in of op het lichaam weg te nemen, vermoedelijk via hun adsorberende werking. Elliott, "Colloid Technology and Process Engineering in Germany" (ongepubliceerde lezing, Jeruzalem, mei 1990) 5.

der Kolloide. *Technische und wissenschaftliche Rundschau für alle Industrien, welche mit anorganischen und organischen Kolloiden arbeiten*.¹⁶ Het *Kolloid-Zeitschrift*, zoals het al gauw kwam te heten, werd een groot succes en reeds drie jaar later moest het worden uitgebreid met de *Kolloidchemische Beihefte*, een uitgave met een zuiver-wetenschappelijk karakter waarin uitsluitend onderzoekspublikaties werden opgenomen. Deze expansie was tot stand gekomen onder Wolfgang Ostwald, die in 1907 het redacteurschap had overgenomen en deze functie, voor zowel *Zeitschrift* als *Beihefte*, zou bekleden tot zijn dood in 1943.¹⁷

Ostwald droeg ook bij aan een heel ander soort publikaties die ervoor zorgden dat de colloïdchemie als zelfstandig en samenhangend vakgebied herkenbaar zou worden: specifiek colloïdchemische leerboeken. Vlak na de eeuwwisseling kwam er een ware stroom van zulke werken op gang - aanvankelijk ook sterk met het karakter van een informatie verzamelende *Rundschau*, maar tegen 1910 ook wel in de vorm van monografieën die het hele vakgebied vanuit één gezichtspunt trachten te omvatten, waaronder Ostwalds eigen *Grundriss der Kolloidchemie* (1909).¹⁸ De colloïdchemie kwam hierdoor steeds duidelijker op de kaart te staan en zou ook als onderzoeksterrein steeds herkenbaarder worden, met name door de oprichting, in de loop van de jaren 10 en 20, van een reeks laboratoria speciaal voor colloïdenonderzoek. Het Berlijnse *Kaiser Wilhelm Institut für physikalische und Elektrochemie* opende bijvoorbeeld na de Eerste Wereldoorlog een omvangrijk colloïdchemisch laboratorium (lange tijd één van de grootste ter wereld), terwijl al daarvoor het initiatief was genomen tot een speciaal *Institut für Kolloidforschung* in Frankfurt am Main, door de op medisch onderzoek gerichte *Neubürgerstiftung*. Ook grote bedrijven stichtten colloïdchemische laboratoria, zoals het Amerikaanse concern DuPont, dat bij de oprichting van zijn *Fundamental Research Laboratory* meteen een groot deel daarvan (één van de vier hoofdafdelingen) reserveerde voor colloïdenonderzoek. Maar bovenal waren het natuurlijk de hogescholen en universiteiten waar laboratoria voor colloïdchemie werden ingericht - bijvoorbeeld aan de

16. Zie "Zur Einführung", *KZ* 1 (1906) 1-3 en Ed. Marckwald en Fr. Frank, "Dem Andenken Carl Otto Webers", *ibid.*, 4-10. De oprichters hadden zich al direct verzekerd van een grote schare medewerkers, onder wie elf professoren uit verschillende takken van wetenschap. De doelgroep omvatte naast industriëlen uit de genoemde branches ook fabrikanten van lijm, eiwit, gummi, cellulose, zeep, zetmeel, glas en fotografische materialen, onder het motto "Was heute eine wissenschaftliche Kuriosität ist, wird morgen ein Handelsartikel".

17. Ook de *Kolloidchemische Beihefte* zouden tot 1943 blijven bestaan. Na de oorlog werd het *Kolloid-Zeitschrift* voortgezet onder wisselende titels en sinds 1973 als *Colloid and Polymer Science*. Overigens zouden er buiten Duitsland niet gauw en niet veel andere specifiek colloïdchemische tijdschriften worden opgericht. In Frankrijk verscheen tussen 1923 en 1929 de *Revue Générale des Colloïdes*, dat daarna opging in het *Journal de Chimie Physique*; Rusland kende sinds 1935 zijn *Kolloidnyi Zhurnal*, later ook gepubliceerd in vertaling als het *Colloid Journal*; en in Amerika startte pas in 1946 (40 jaar na het *Kolloid-Zeitschrift*) het *Journal of Colloid Science*. Wel bestonden al daarvoor, sinds 1923, de jaarlijkse *Colloid Symposium Monographs*, die qua omvang zeker met de jaargangen van een regelmatig verschijnend tijdschrift konden wedijveren.

18. Wo. Ostwald, *Grundriss der Kolloidchemie* (Dresden, 1909). Tot de eerste categorie leerboeken kunnen bijvoorbeeld gerekend worden: Alfred Lottermoser, *Anorganische Kolloide* (Stuttgart, 1901), Arthur Müller, *Allgemeine Chemie der Kolloide* (Leipzig, 1907) en Viktor Pöschl, *Einführung in die Kolloidchemie. Ein Abriss der Kolloidchemie für Lehrer, Fabriksleiter, Ärzte und Studierende* (Dresden, 1908); tot de tweede groep behoort zeker ook Herbert Freundlich, *Kapillarchemie. Eine Darstellung der Chemie der Kolloide und Verwandter Gebiete* (Leipzig, 1909).

XXXI. Band

Oktober 1922

Heft 4

Kolloid-Zeitschrift		
Zeitschrift für wissenschaftliche und technische Kolloidchemie (früher „Zeitschrift für Chemie und Industrie der Kolloide“)		
Organ für das Gesamtgebiet der reinen und angewandten Kolloidchemie		
Herausgegeben von Prof. Dr. Wolfgang Ostwald in Leipzig, Brandvorwerkstraße 77		
Erscheint monatlich 1 mal	Verlag von THEODOR STEINKOPFF Dresden und Leipzig	Preis für den Band M. 200.—

Am Freitag, dem 15. September, erfolgte im überfüllten Großen Hörsaal des Physikalisch-chemischen Instituts der Universität Leipzig die

GRÜNDUNG DER KOLLOID-GESELLSCHAFT

Das ausführliche Protokoll der Gründungssitzung, ein Bericht über den Verlauf der sechs Sitzungen und über die beschlossenen Satzungen, ferner die Wiedergabe der allgemeineren Vorträge über die Bedeutung der reinen und angewandten Kolloidchemie folgt im nächsten Hefte der „Kolloid-Zeitschrift“.

Der geschäftsführende Vorstand setzt sich zusammen aus den Herren

Prof. Dr. Wo. OSTWALD, 1. Vorsitzenden	
Prof. Dr. E. ABDERHALDEN	}
Prof. Dr. E. STIASNY	
Th. STEINKOPFF, Schatzmeister	
Dr. A. KUHN, Geschäftsführer.	

Alle Anfragen betreffend Mitgliedschaft sind zu richten an
Herrn Dr. A. KUHN, LEIPZIG, Linnéstraße 2.

11

Figuur 7. Institutionaliserings van de colloïdchemie. Nadat in 1906 het *Kolloid-Zeitschrift* van start was gegaan, werd in 1922 het *Kolloid-Gesellschaft* opgericht. Instellingen als deze zorgden er niet alleen voor dat het vakgebied een eigen gezicht kreeg, maar ook dat de colloïdchemici een onderscheiden en herkenbare gemeenschap gingen vormen.

Rijksuniversiteit Utrecht, in de vroege jaren 10.¹⁹ Ook academisch gezien verwierf het vakgebied zodoende zijn eigen positie en het zou niet lang duren of ook de eerste leerstoelen in de colloïdchemie werden hier en daar ingesteld. Tenslotte kreeg de discipline ook nog formeel gestalte door speciale vakorganisaties, zoals het Duitse *Kolloid-Gesellschaft*, opgericht in 1922 (zie Figuur 7), en de Sectie voor Kolloïdchemie van de Nederlandsche Chemische Vereeniging, die een jaar daarna werd ingesteld.²⁰

Vaktijdschriften, boeken, leerstoelen, laboratoria en organisaties zorgden niet alleen voor de herkenbaarheid van het nieuwe vakgebied maar gaven het tegelijk ook een stevige institutionele basis. Doordat de op zichzelf vrijblijvende interesses in colloïden nu waren samengebracht in een enigszins formeel verband zat de colloïdchemie een stuk vaster in het zadel: haar voortbestaan als zelfstandige discipline was beter gegarandeerd. Maar die succesvolle institutionalisering was natuurlijk niet vanzelf tot stand gekomen: zij was vooral een reflectie van een zeker vertrouwen in het nieuwe vakgebied dat in dezelfde periode gegroeid was - een breed gedragen overtuiging dat de colloïdchemie een alleszins belangrijke en veelbelovende tak van wetenschap was. Men stelde zich veel voor van het nieuwe onderzoeksterrein en de verwachtingen die hier en daar verkondigd werden lijken, zeker als we terugkijken, vaak bijzonder hooggespannen. Zo stelden de oprichters van het *Kolloid-Zeitschrift* hun lezers in het vooruitzicht dat de colloïdchemie de scheikunde van de twintigste eeuw ging worden. En zo riep Wolfgang Ostwald dat er in geen jaren een vakgebied ontstaan was, dat zich wat betreft het bereik van zijn toepassingen ook maar vergelijken kon met het zijne. De reikwijdte die men het nieuwe vak toedichtte, blijkt bijvoorbeeld ook uit de "Ueberblick über die Bedeutung der Kolloidchemie", die op de oprichtingsvergadering van het *Kolloid-Gesellschaft* ten beste gegeven werd en die bestond uit een reeks van 27 lezingen over werkterreinen die van colloïdenonderzoek zouden profiteren. De titels varieerden van "Kolloidchemie und Meteorologie" en "Kolloidchemie und Seifenindustrie" tot "Kolloidchemie und Pflanzenphysiologie", "Kolloidchemie und Chirurgie", "Kolloidchemie und Metallurgie" en "Kolloidchemie und innere Medizin". Met name voor de levenswetenschappen gold het vak letterlijk als 'het beloofde land' en er verschenen regelmatig boeken met titels als "Die Kolloidchemie des Lebens" of in Frankrijk: "La Vie, la Maladie et la Mort: Phénomènes Colloïdaux". Volgens een auteur als Heinrich Bechhold behoorde zelfs de fysiologie van buitenaardse wezens tot de colloïdchemie, want, zoveel was zeker:

19. Andere vroege, specifiek colloïdchemische laboratoria waren: Ostwalds Kolloidforschungs-Institut in Leipzig, Jacques Duclaux' Laboratoire de Chimie Colloïdale te Parijs, Alfred Lottermosers Laboratorium für Kolloidchemie in Dresden, Wolfgang Pauli's Institut für medische Kolloidchemie in Wenen, en het Kolloïdchemisches Laboratorium van de *Metallgesellschaft A.G.* in Frankfurt. Al deze instellingen werden in de jaren 10 en 20 opgericht. Hamburg had een Kolloïdbiologische Station in het Eppendorf-ziekenhuis.

20. Ook van het *Kolloid-Gesellschaft* werd Wo. Ostwald de leider en jarenlange voorzitter. Kruyt was de eerste voorzitter van de 'Kolloïdsectie', zoals zij aanvankelijk genoemd werd (na de 'Leerarensectie' de tweede sectie van de vereniging). Hij had het initiatief tot de oprichting daarvan overigens genomen naar aanleiding van de gang van zaken rond de oprichting van de Duitse organisatie. Kruyt had, daarbij aanwezig, voorgesteld om die 'Internationale' *Kolloid-Gesellschaft* te noemen, maar zijn verzoek had weinig instemming gevonden; daarom moest Nederland ook maar een nationaal orgaan hebben. Zie H.A.J. Pieters, "Een Kring van Leeraren in de Chemie", *CW 20* (1923) 614-615; H.R. Kruyt, "De Instelling van Vaste Secties in de Nederlandsche Chemische Vereeniging", *ibid.*, 631; en het verslag van de eerste vergadering op 24 april 1924 (14 leden) in *ibid.*, 21 (1924) 230-231.

"welches auch immer die stoffliche Zusammensetzung jener Lebewesen sein mag: es müssen Kolloide sein."²¹

Er is met betrekking tot dit soort uitingen wel eens gesproken van een 'colloidal craze' in de jaren 10 en 20.²² Maar ondanks dat men zich aan die indruk soms inderdaad moeilijk kan onttrekken, moeten we ons wel realiseren dat het toenmalige enthousiasme voor *ons* misschien op een gekte lijkt, maar dat veel tijdgenoten de grootse vooruitzichten van de colloïdchemie wel degelijk ernstig namen. Dat het vak serieus genomen werd mag ook blijken - naast de al genoemde oprichting van laboratoria en dergelijke - uit het feit dat invloedrijke chemici als Fritz Haber, Carl Duisburg en Richard Willstätter zich aansloten bij het *Kolloid-Gesellschaft*. Dat telde anno 1930 niet minder dan duizend leden - ter vergelijking: de algemene Duitse chemische vereniging (waar dus alle disciplines onder vielen) had er toen vijfduizend. Ook veel Amerikanen raakten in de ban van de colloïdchemie, vooral nadat Wolfgang Ostwald het nieuwe vakgebied in 1913 en '14 bij hen bekend had gemaakt door middel van een grootscheepse lezingentour (zie Figuur 8). In de jaren daarna werd het *Journal of Physical Chemistry* soms voor meer dan de helft met colloïdchemische artikelen gevuld.²³ Maar de officiële erkenning komt het duidelijkst naar voren in de drie Nobelprijzen die halverwege de jaren 20 aan colloïdenonderzoekers werden toegekend: aan Svedberg (scheikunde 1926), aan Perrin (fysica 1926) en aan Zsigmondy (scheikunde 1925) - de laatste zelfs expliciet voor het ontwikkelen van "the methods (...) which have laid the foundation of modern colloid chemistry". Zsigmondy's prijs werd overigens ook pas in 1926 uitgereikt en daardoor stapelde de waardering voor het vak zich zo zeer op dat de secretaris van de Zweedse Academie zich afvroeg: "In view of the fact that this year not less than three Nobel Prizes have been awarded for work in the field of colloid research, some people may ask whether this field really has a corresponding importance «for mankind»." Zijn antwoord was natuurlijk bevestigend, maar het kostte hem ook weinig moeite om de argumenten ervoor bijeen te brengen; voor de fysiologie en de medische wetenschappen achtte hij het belang van het vak zelfs al "obvious." Anno 1926 waren grote woorden kennelijk

21. (n. 16), "Zur Einführung", 1; Wo. Ostwald, *Die Welt der vernachlässigten Dimensionen. Eine Einführung in die Kolloidchemie mit besonderer Berücksichtigung ihrer Anwendungen* (Dresden en Leipzig, 1921) 107; KZ 31 (1922) 160-164, 225-239, 329-330 (verslag van de oprichting van het *Kolloid-Gesellschaft*); Raphael Ed. Liesegang, *Beiträge zu einer Kolloidchemie des Lebens* (2e ed.; Dresden en Leipzig, 1922); Auguste Lumière, *La Vie, la Maladie et la Mort. Phénomènes Colloïdaux* (Paris, 1928); H. Bechhold, *Die Kolloide in Biologie und Medizin* (Dresden, 1912) 194 (cursief origineel). Overigens stond Kruyt, die bij de oprichting van het *Kolloid-Gesellschaft* aanwezig was, enigszins sceptisch tegenover het gepresenteerde scala aan toepassingen; de grote praktische betekenis van de colloïdchemie stond echter ook voor hem vast. H.R. Kruyt, "Wetenschappelijk Onderzoek en Algemeen Belang" CW 20 (1923) 541-544, m.n. 542.

22. Robert E. Kohler, "The History of Biochemistry: A Survey", *Journal of the History of Biology* 8 (1975) 275-318, m.n. 290-294 en 306-308.

23. John W. Servos, *Physical Chemistry from Ostwald to Pauling. The Making of a Science in America* (Princeton, 1990) 305. Over de opkomst van colloïdchemie in Amerika, zie ook Andrew Gair Ede, *Colloid Chemistry in North America. The Neglected Dimension*, proefschrift University of Toronto, microfilmmuitgave (Ann Arbor, 1993).

niet meer nodig en was de relevantie van de colloïdchemie evident.²⁴

Toch is die evidentie zo'n driekwart eeuw later ontegenzeggelijk verdwenen, en op ons, toeschouwers uit later tijden, komen de grootse voorstellingen die men zich van de colloïdchemie maakte, eerder bevreedend dan vanzelfsprekend over. De vraag waar die voorstellingen vandaan kwamen, lijkt echter vrij gemakkelijk te beantwoorden; de voornaamste voorwaarden ervoor zijn we namelijk al tegengekomen. Misschien is de belangrijkste grondslag voor de grote verwachtingen wel de ruimheid van het colloïdbegrip zelf, zeker in de definitie die Ostwald eraan had gegeven als 'fijndisperse toestand'. Binnen zo'n omschrijving vielen immers automatisch de meest uiteenlopende systemen, variërend van de druppeltjes waaruit wolken zijn opgebouwd tot de ijzer- en koolstofsegmentjes in staal. Zo bekeken leek de colloïdchemie ook inderdaad van belang voor de meteorologie, de metallurgie, en al die andere genoemde gebieden. En zelfs wanneer men niet Ostwalds definitie hanteerde en de aandacht beperkte tot colloïdale oplossingen en wat daaruit voortkwam, bleef het werkkterrein nog buitengewoon omvangrijk: papier, rubber, kunstzijde en zowat alle stoffen die zich in het plasma van de levende cel bevonden, behoorden ook dan nog onverminderd tot het domein. Een tweede grondslag voor de grote verwachtingen was dat, zoals we al zagen, veel colloïdale substanties met de gangbare chemische onderzoeksmethoden niet goed begrepen konden worden. De bestaande disciplines hadden ze, vrijwillig of omdat ze niet anders konden, min of meer links laten liggen. Daardoor was aan de colloïdchemie een onderzoeksveld toegevalen dat niet alleen groot en belangrijk was, maar ook nog volkomen braak lag. Het was dit aspect dat Ostwald met veel succes bij zijn Amerikaanse lezingen aan het publiek had voorgehouden: voor de colloïdchemicus opende zich een "World of Neglected Dimensions".²⁵ Tenslotte ligt het voor een deel ook aan onze eigen perceptie, dat het gebied dat tot de colloïdchemie behoorde, ons nu zo groot voorkomt. Wij zijn er inmiddels aan gewend dat onderzoek van rubber of van eiwitten onder de polymeerchemie, de moleculaire biologie en de biochemie valt. Maar die disciplines bestonden vóór 1930 nog niet, of hadden tenminste het primaat op die terreinen nog niet verworven. Misschien komt het dus ook doordat het onderzoeksveld nu over zoveel vakgebieden verdeeld is, dat het ons voor één discipline zo ongewoon groot lijkt.

3. Historiografie

De ruimheid van het colloïdbegrip, het nog braakliggen van het onderzoeksterrein, en de grote potentiële betekenis voor de levenswetenschappen en de industrie, maakten de colloïdchemie anno 1910 tot een buitengewoon aantrekkelijk nieuw vakgebied, zeker

24. H.G. Söderbaum in: (n. 13), 65-66. Overigens werd ook bij de toekenning van de Nobelprijs aan Einstein (fysica 1923) en aan de Zweedse fysisch-chemicus Arne Tiselius (scheikunde 1948) hun colloïdenonderzoek genoemd als één van de motivaties. Zie *Nobel Lectures. Physics. 1901-1921* (Amsterdam etc., 1966) 479-481, resp. *Nobel Lectures. Chemistry. 1942-1962* (Amsterdam etc., 1964) 191-194.

25. Dit was de titel waaronder Ostwald zijn gebundelde en Amerikaanse voordrachten publiceerde: *An introduction to Theoretical and Applied Colloid Chemistry: the World of Neglected Dimensions* (New York: John Wiley and Sons 1917). De strekking daarvan was ook zodanig geweest: Ostwald had het colloïdengebied in zijn lezingen steeds voorgesteld als een enorm uitgestrekt, belangrijk en onontgonnen terrein.



Figuur 8. In 1913 en '14 maakte Wolfgang Ostwald een grootscheepse tournee door de Verenigde Staten en Canada waarbij hij een lange reeks van lezingen gaf (in totaal 56) over de nieuwe colloïdchemie. Het was zijn expliciete doel propaganda te maken voor het vak als een veelbelovend en tot nog toe genegeerd onderzoeksterrein en voor de colloïdchemie als zelfstandige discipline. Ostwalds optreden was een groot succes en zijn voordrachten werden kort na thuiskomst gebundeld in het hier afgebeelde boek dat vele malen herdrukt zou worden. Ook de Engelstalige versie, *The World of Neglected Dimensions*, vond gretig aftrek en vormde het vertrekpunt voor vele colloïdchemici in Amerika. Ostwalds claims wekten echter ook weerstand op, onder andere bij zijn voormalige leermeester, de beroemde bioloog Jacques Loeb (zie Hoofdstuk 4, paragraaf 4.2).

voor een jong en beginnend onderzoeker. Ook Kruyt was direct diep onder de indruk en de veelbelovendheid die de colloïdchemie uitstraalde heeft zijn overstap zeker in hoge mate beïnvloed. Maar zijn keuze was niet alleen gebaseerd op oppervlakkige indrukken en voorsnog onduidelijke beloftes. Zoals we gezien hebben maakte hij ook inhoudelijk grondig kennis met het nieuwe vakgebied, via de twee leerboeken die hij in de trein bestudeerde. Voor we daar de aandacht op richten en ook de inhoud van de colloïdchemie wat diepgaander behandelen, is het goed om eerst een blik te werpen op de bestaande geschiedschrijving over het vakgebied, al was het maar om enige misverstanden uit de weg te ruimen.

De prominente aanwezigheid en de uitstraling van de colloïdchemie aan het begin van deze eeuw zijn aan wetenschapshistorici geenszins voorbijgegaan en er is over de ontwikkeling van het vak gedurende de periode 1900 - 1930 zelfs vrij veel geschreven. Dat is echter wel bijna altijd gebeurd in verhandelingen die primair de geschiedenis van de biochemie, de moleculaire biologie of de polymeerchemie tot onderwerp hadden, en die zich niet in eerste instantie op de colloïdchemie zelf concentreerden. Reden daarvoor is dat veel van de stoffen die colloïdchemici bestudeerden (eiwitten, rubber) tegenwoordig vooral tot die andere vakgebieden gerekend worden; de 'colloïdenperiode' verschijnt in de bedoelde studies dan ook vaak als een soort prehistorie van die disciplines. Dit heeft echter al gauw tot gevolg dat de colloïdchemie ook wordt afgeschilderd als niets meer dan een primitieve voorganger van de moleculaire biologie, polymeerchemie, etcetera, of als een vak dat 'in de weg heeft gestaan' van de opkomst van die terreinen. Marcel Florkin, chroniqueur van de biochemie, spreekt zelfs over een "Dark Age of Biocolloidology" die overwonnen moest worden vóór het ware licht van zijn eigen vak kon doorbreken. Nu hebben de meeste historici deze plumpe veroordeling niet van Florkin overgenomen, maar desondanks is hun perspectief op de colloïdchemie over het algemeen veelal hetzelfde - helaas, want dat leidt maar al te vaak tot een zekere vertekening.²⁶

Die vertekening komt wellicht het duidelijkst naar voren in het werk van respectievelijk Robert Olby, auteur van *The Path to the Double Helix*, en Yasu Furukawa, historicus van de polymeerchemie. Hoewel zij zich op zich niet negatief uitspreken over de colloïdchemie in het begin van de eeuw, bezien zij haar wel zeer sterk in het licht van latere ontwikkelingen. Centraal in beider uiteenzettingen staat de opkomst van het begrip macromolecuul, dat in 1922 door Hermann Staudinger werd geformuleerd, en dat zowel in de moleculaire biologie (denk aan de dubbele helix) als in

26. Zie Florkin (n. 6), *History*, hoofdstuk 14 ("The Dark Age of Biocolloidology") en 15 ("The Recognition of the Proteins as Truly Defined Macromolecules") 279-294.

Tot de literatuur waarin de colloïdchemie vanuit het terugblikkend perspectief van de biochemie, moleculaire biologie of polymeerchemie wordt bekeken, behoren ook: Pierre Laszlo, *A History of Biochemistry* (Amsterdam etc., 1986) (dit is deel 34A in de reeks *Comprehensive Biochemistry*), hoofdstuk 8 ("Schizoid Tale of Two Schools") 129-159; Joseph Fruton, *Molecules and Life. Historical essays on the interplay of chemistry and biology* (New York etc., 1972) m.n. 131-148 ("From Colloids to Macromolecules"); Garland Allen, *Life Sciences in the Twentieth Century* (2e druk; Cambridge, 1981); Robert Olby, "The Macromolecular Concept and the Origins of Molecular Biology", *Journal of Chemical Education* 47 (1970) 168-174; "The Significance of the Macromolecules in the Historiography of Molecular Biology", *History and Philosophy of the Life Sciences* 1 (1979) 185-198; en *The Path to the Double Helix* (London, 1974) hoofdstuk 1 en 2; en Yasu Furukawa, "Hermann Staudinger and the Emergence of the Macromolecular Concept", *Historia Scientiarum* 22 (1982) 1-18; *Staudinger, Carothers, and the Emergence of Macromolecular Chemistry*, proefschrift University of Oklahoma, microfilmuitgave (Ann Arbor, 1983).

In een aantal andere verhandelingen worden de colloïdchemische ontwikkelingen veel beter in hun eigen tijd geplaatst: Pauline M.H. Mazumdar, "The Antigen-Antibody Reaction and the Physics and Chemistry of Life", *Bulletin of Medical History* 48 (1974) 1-21; Kohler (n. 22), "History"; Kerker (n. 14), "The Svedberg"; en Neil Morgan, "The Strategy of Biological Research Programmes: Reassessing the 'Dark Age' of Biochemistry, 1910-1930", *Annals of Science* 47 (1990) 139-150.

Er zijn bij mijn weten slechts twee wetenschapshistorici die zich met de colloïdchemie als zodanig hebben beziggehouden: J. Eric Elliott (zie noot 13 en 15) en Andrew G. Ede (zie noot 23), maar alleen de laatste van hen heeft iets gepubliceerd: Andrew Ede, "When is a tool not a tool? Understanding the role of laboratory equipment in the early colloid chemistry laboratory", *Ambix* 40 (1993) 11-24, en "Colloids and Quantification: The Ultracentrifuge and its Transformation of Colloid Chemistry", *Ambix* 43 (1996) 32-45.

de polymeerchemie (synoniem voor macromolecuulchemie) een prominente rol zou gaan spelen. Staudingers these dat stoffen als rubber en cellulose uit macromoleculen bestonden, stuitte aanvankelijk op nogal wat weerstand, en in de jaren 20 en 30 moest er behoorlijk strijd geleverd worden om het idee geaccepteerd te krijgen. Eén van de rivaliserende opvattingen was de zogenaamde aggregaattheorie: het idee dat de moleculen die Staudinger aaneengeregen zag tot lange macromoleculen, in wezen in een veel losser verband aan elkaar kleefden - oftewel aggregaten vormden. Nu doen auteurs als Olby en Furukawa het voorkomen alsof het begrip 'colloïd', dat eveneens voor de deeltjes van rubber, cellulose en dergelijke gebruikt werd, identiek was aan dit begrip 'aggregaat', en alsof de hele colloïdchemie in feite niets anders en niets meer was dan een aggregaattheorie. Eenieder die enigszins van het vak op de hoogte is weet echter dat deze weergave de zaak veel te eenvoudig voorstelt en dat de colloïdchemie op zijn minst een stuk veelzijdiger was dan een opvatting over deeltjesstructuur. Hoeveel veelzijdiger, dat zal in de rest van dit hoofdstuk (en van dit proefschrift) wel blijken, maar het is wellicht verhelderend de belangrijkste bezwaren tegen de onstane voorstelling hier vast op een rijtje te zetten.²⁷

Ten eerste blijkt uit de reductie van de gehele colloïdchemie tot een aggregaattheorie hoezeer de bedoelde geschiedschrijving zich blind staart op het macromolecuul. Omdat dat begrip betrekking had op de structuur van de deeltjes waaruit rubber en dergelijke bestonden, gaat men er vanuit dat dat ook geldt voor alle alternatieve beschrijvingen van die deeltjes. Dat is correct voor de aggregaattheorie, maar zeker niet voor het colloïd-begrip, dat slechts de totale omvang van de deeltjes aangaf en hun inwendige structuur (aggregaat of macromolecuul) in principe in het midden liet. Het is waar dat veel colloïdchemici (zoals bijna iedereen aanvankelijk) geloofden dat die structuur er één van aggregaten was, maar die opvatting vormde zelden de essentie van hun beschouwingen en bovendien waren er ook velen, onder wie Wolfgang Ostwald al in 1923, die een macromoleculaire structuur expliciet toelieten. Ook Staudinger zelf zag trouwens geen tegenstelling tussen het begrip colloïd en het begrip macromolecuul en hij presenteerde zijn eigen theorieën zelfs bij voorkeur als een onderdeel van de colloïdchemie. Colloïd en macromolecuul waren in ieder geval geen tegenpolen in de zin dat aggregaat en macromolecuul dat waren.²⁸

27. Ook veel andere historici reduceren het colloïdbegrip tot een aggregaattheorie, die slechts de tegenpool vormt van de macromoleculaire opvatting; zie bijvoorbeeld: Laszlo (n. 26), *History*, 145 ("The controversy: proteins as molecules or as colloids?"), Fruton (n. 26), *Molecules and Life*, 140, en Allen (n. 26), *Life Sciences*, 164. De gebrekkige basis voor deze interpretatie mag blijken uit het feit dat de genoemde auteurs nauwelijks naar originele colloïdchemische publikaties refereren (Olby noemt zeer summier Hardy en Svedberg; Furukawa verwijst naar vier publikaties van Wo. Ostwald, maar stoelt zijn visie op diens opvattingen verder op de anorganische chemie van Werner en Thiele) en daarbij soms aandoenlijke vergissingen maken (Florkin bijvoorbeeld noemt de bekendste colloïdchemicus "W.O. Ostwald"; volgens Allen is dat Wilhelm Ostwald).

28. Staudinger vatte nog in 1941 zijn ideeën samen in een leerboek getiteld *Organische Kolloidchemie*, en hij presenteerde zijn macromolecuulchemie daarin als die tak van de colloïdchemie waarin de moleculaire structuur van de deeltjes de eigenschappen bepaalde. Hermann Staudinger, *Organische Kolloidchemie* (2e ed.; Braunschweig, 1941). Wo. Ostwald noemde colloïden die uit één molecuul bestonden "Eukolloïde", een term die ook een tijdje door Staudinger gebezigd werd; zie Wolfgang Ostwald, "Kolloide und Ionen", *KZ* 32 (1923) 1-12. Ondanks de formele compatibiliteit van hun theorieën ontbrandde er tussen Ostwald en Staudinger in de jaren 30 toch een hevige strijd maar die draaide niet zozeer om de tegenstelling macromolecuul/aggregaat als wel om welke van de twee benaderingen (fysisch-chemisch of organisch-chemisch) het beste was. Veel van de

Een tweede vertekening die ontstaat door het macromoleculaire gezichtspunt, is dat men er vanuit gaat dat de colloïdchemie alleen betrekking had op stoffen die later als macromoleculen werden opgevat - dat wil zeggen: op rubber, cellulose, eiwitten, DNA, etcetera. Dat veel colloïdchemici zich ook intensief bezighielden met anorganische systemen, zoals goudsolen en silicagelen, wordt daardoor volkomen over het hoofd gezien, evenals het feit dat sommigen van hen een geünificeerde behandeling van beide soorten nastreefden, of anorganische colloïden als model probeerden te gebruiken om bijvoorbeeld eiwitten te leren begrijpen. Ook hier blijkt hoeveel geweld het vak wordt aangedaan wanneer het wordt teruggebracht tot niets meer dan een voorbode van de macromoleculchemie.²⁹

Maar de meest drastische vertekening in de bedoelde geschiedschrijving is het feit dat de diversiteit binnen de colloïdchemie erin uit beeld is verdwenen. Juist doordat alle alternatieven voor het macromolecul over één kam zijn geschoren, is het gaan lijken of ook alle colloïdchemici één geloof aanhingen en eendrachtig achter de aggregaattheorie aanliepen. Niets is echter minder waar, en de uiteenlopende achtergronden van de colloïdenonderzoekers, die we eerder tegenkwamen, hebben dat wellicht al doen vermoeden. Doordat fysici, fysisch-chemici, industriëlen en fysiologen met zeer verschillende motivaties het colloïdenterein betraden, liepen ook hun interesses en de onderwerpen die ze bestudeerden, sterk uiteen. En zelfs wanneer het gekozen onderwerp hetzelfde was, kon hun invalshoek nog in hoge mate verschillen. De begrippen die men hanteerde, de feiten die men als essentieel beschouwde, het soort verklaringen dat men nastreefde - kortom de hele benadering van bijvoorbeeld een fysisch-chemicus was heel anders dan die van een fysioloog. De uiteenlopende benaderingen resulteerden vanzelfsprekend ook in verschillende theorieën, en, bij tijd en wijle, in stevige meningsverschillen tussen de colloïdchemici.³⁰

Binnen het bestek van dit hoofdstuk ontbreekt de ruimte om die laatste vertekening te herstellen en de verscheidenheid in de colloïdchemie weer volledig zichtbaar te maken. Het zou ook eerder een heel boek vergen dan enkele pagina's om werkelijk recht te doen aan alle verschillende stromingen en benaderingen die het vak beheersten. Bovendien is ons doel hier primair om te achterhalen welke indruk Kruyt van de colloïdchemie kreeg toen hij ermee kennismaakte, en ook zijn overzicht was op dat moment natuurlijk nog verre van volledig. De boeken die Kruyt in de trein doornam behoorden zelfs beide tot dezelfde richting: die van de fysisch-chemici binnen de colloïdchemie. De auteurs, Wolfgang Ostwald en Herbert Freundlich, waren ook beide afkomstig uit de

aanhangers van de aggregaattheorie (zoals Rudolph Pummerer en Max Bergmann) waren overigens geen colloïd- maar organisch-chemici.

29. Florkin gaat niet voorbij aan de anorganische colloïden, maar hij verbaast zich er wel hogelijk over dat "substances that have nothing in common with proteins were defined as colloids, such as gold sols, soap solutions, colloidal solutions of tannic acid, etc." Zie Florkin (n. 6), *History*, 279.

30. Zie bijvoorbeeld het eerste deel van Ostwalds leerboek van 1909, waarin hij reeds ten strijde trekt tegen de geheel andere, "rein" chemische Auffassung der Kolloidchemie" van onder anderen J. Duclaux en E.F.A. Jordis. Ostwald (n. 18), *Grundriss*, 44-46. Overigens waren ook de macromoleculchemici aanvankelijk zeer verdeeld. Eind jaren 20 ontstond er bijvoorbeeld een hevige polemiek tussen Staudinger en Hermann Mark en Kurt Meyer aangaande de precieze structuur van de deeltjes. De huidige opvatting van macromoleculen als flexibele ketens stamt pas van na de Tweede Wereldoorlog.

fysisch-chemische school van Wilhelm Ostwald in Leipzig, de kweekvijver van vele colloïdchemici van het eerste uur. Hun specifieke benadering en de theoretische raamwerken die zij in hun boeken ontwikkelden, zullen in paragraaf 6 nader besproken worden. Om echter te grote eenzijdigheid te voorkomen wil ik hier kort ook een andere soort van colloïdchemie behandelen, waarmee Kruyt overigens eveneens, zij het wat later, kennis zou maken.³¹ De vrij kleine groep onderzoekers van deze richting zal ik, bij gebrek aan een zelfgekozen etiket, de 'klassiek-chemici' noemen, omdat hun benadering aansloot bij die van de klassieke organische en anorganische chemie: zij probeerden eigenschappen van colloïdale stoffen volledig terug te voeren op de chemische samenstelling ervan. Hun aanpak verschilde daarmee hemelsbreed van die van de fysisch-chemici en de bespreking van beide benaderingen kan dan ook misschien iets weergeven van de contrasten die de vroege colloïdchemie beheersten.

4. De 'Klassiek-Chemici' in de Colloïdchemie

De 'klassiek-chemici' vormden een kleine en weinig invloedrijke minderheid in de colloïdchemie. Hun bestaan was hardnekkig, maar blijvend marginaal en in feite bevestigden ze dat zelf wanneer ze met gesperde taal van leer trokken tegen meer gevestigde theorieën en benaderingen. Zo schreef de belangrijkste vertegenwoordiger, Jacques Duclaux, in het voorwoord van zijn leerboek *Les Colloïdes*:

Ceux qui ont l'habitude de les [de gangbare theorieën] voir citées à chaque instant comme constituant la vérité définitive s'étonneront peut-être de ne les trouver dans aucun Chapitre (...). [S]i le mode d'exposition adopté [ici] diffère en plus d'un point de celui qui tendait à devenir classique, ce n'est pas sans de très bonnes raisons.³²

Duclaux mag goede redenen voor zijn verzet gehad hebben, maar zijn eigen alternatieve benadering zou nooit veel weerklank vinden en omgekeerd kon hij zich ook op weinig onderzoek van anderen baseren. In de bibliografie moest hij verwijzen naar dissertaties uit Buenos-Aires en Pisa - voorwaar niet de wereldcentra van de colloïdchemie - terwijl hij invloedrijke werken als de leerboeken van Freundlich, Ostwald en Zsigmondy juist geheel ongenoemd liet. Niettemin bouwde Duclaux voort op een kleine nationale traditie van voorgangers die al eerder hadden geprobeerd de chemische structuur van colloïddeeltjes te achterhalen. Zo hadden zijn landgenoten Wyruboff en Verneuil vanaf 1899 de chemische samenstelling van colloïdaal ijzeroxide onderzocht en daarvoor ingewikkelde molecuulformules opgesteld. En een andere collega, Nicolardot, had in 1905 voorgesteld, dat dit colloïd zich vormde uit een groot ijzerhydroxidecomplex, dat zich met HCl verbond tot $\text{Fe}_{24}\text{O}_{16,5}(\text{OH})_{33}\text{Cl}_6 \cdot 6\text{HCl}$, terwijl de grotere colloïddeeltjes, die bij langdurige dialyse ontstonden, van hem de overweldigende formule

31. Jacques Duclaux, de voornaamste vertegenwoordiger van de bedoelde richting zou betrokken zijn bij de uitgave van de Franse vertaling van Kruyts leerboek *Colloids*, als *Les Colloïdes*, in 1933. In het voorwoord daarvan zou Duclaux Kruyts werk overigens aanprijzen, niet omdat het aansloot bij het zijne, maar omdat het een eigen gezichtspunt durfde in te nemen, iets dat Duclaux zelf ook deed, maar met aanmerkelijk minder weerklank.

32. J. Duclaux, *Les Colloïdes* (Paris, 1920) vi-vii.

$\text{Fe}_{600}\text{O}_{448,5}(\text{OH})_{897}\text{Cl}_6 \cdot 6\text{HCl}$ meekregen. Achterliggende gedachte bij dit werk was dat de veranderende eigenschappen bij het ontstaan van colloïdaal ijzeroxide wezen op een veranderende chemische samenstelling. Het sol was, volgens onderzoekers als Nicolardot, geen bijzondere toestand van Fe_2O_3 , maar een andere stof die bestond uit andere moleculen. En de opheldering van samenstelling en structuur van die colloïdale moleculen was het doel van het colloïdchemisch onderzoek.³³

Duclaux' benadering sloot aan bij die van zijn directe voorgangers, maar anders dan hen kwam hij niet met ingewikkelde molecuulformules, maar met een wat geavanceerdere theorie.³⁴ De basis daarvoor had hij al in zijn dissertatie van 1904 gelegd, maar zijn ideeën kregen meer bekendheid via de verschillende drukken van zijn leerboek *Les Colloïdes*. Centraal in Duclaux' beschouwingen stond het begrip 'partie active'. Het was sinds het werk van de Britse onderzoekers Picton en Linder uit de jaren 1890 bekend, dat colloïdale oplossingen altijd een kleine hoeveelheid van een tweede stof bevatten, en dat het door dialyse wegnemen van die verontreiniging ten koste ging van de stabiliteit van het colloïd, dat daarbij tenslotte uitvlokte. Duclaux stelde nu, dat die zogenaamde verontreiniging een essentieel onderdeel van het colloïd was zonder welk het colloïd niet kon bestaan: het 'partie active'. Niet alleen dialyse, maar ook toevoeging van een elektrolyt nam het partie active weg, in dat geval doordat dat *reageerde* met het elektrolyt. Het gevolg was echter hetzelfde: teloorgang van de stabiliteit van het colloïd, oftewel coagulatie. Met het 'partie active' kon Duclaux de stabiliteit van colloïden en de verschillende uitvlokkingsverschijnselen goed verklaren, en hij stelde dan ook met tevredenheid vast dat "Il n'y a donc aucune absurdité à admettre que la coagulation puisse avoir pour cause une réaction chimique entre le sel précipitant et la partie active de la micelle [het colloïddeeltje]."³⁵

Maar waarom zou het überhaupt 'absurd' geweest zijn om coagulatie met een chemische reactie te verklaren? Het antwoord hierop ligt in Duclaux' typische aanpak van colloïdchemische problemen. Die week af van de meer gangbare fysisch-chemische benadering, waarin het colloïd-zijn als een bijzondere toestand van een stof werd gezien en waarin coagulatie dan ook een toestandsverandering was: een fysisch proces, zoals

33. Voor een samenvatting van het werk van Wyruboff, Verneuil en Nicolardot, zie Müller (n. 18), *Allgemeine Chemie*, 164-168. Een andere belangrijke vertegenwoordiger van de klassiek chemische stroming was E.F.A. Jordis, hoogleraar anorganische chemie in Erlangen. Zijn invloed was echter gedoemd minder hardnekkig te zijn dan die van Duclaux, omdat hij reeds in 1917 overleed. Voor een samenvatting van zijn werk zie eveneens Müller, *ibid.*, 174-178. Een typisch voorbeeld van Jordis' aanpak is het artikel "Beitrag zur Chemie der Kolloide" in: H.A. Lorentz e.a. (eds.), *Gedenksboek aangeboden aan J.M. van Bemmelen* (Helder, 1910) 214-225.

34. Jacques Duclaux promoveerde in 1904 op "Recherches sur les substances colloïdales". Hij publiceerde de in zijn proefschrift ontwikkelde ideeën, waaronder dat van het 'partie active', voor het eerst in "Recherches sur les Substances Colloïdales", *Journal de Chimie Physique* 5 (1907) 29-56, en vervolgens in de verschillende edities van zijn leerboek *Les Colloïdes* (1920, 1924, 1929). Overigens was Jacques Duclaux, net als Wolfgang Ostwald, een 'zoon van', namelijk van Emile Duclaux, een leerling van Pasteur en later diens opvolger als directeur van het *Institut Pasteur*. Ook Jacques werkte daar geruime tijd na zijn promotie, maar werd in 1929 leider van het door Edmond de Rothschild gefinancierde Laboratoire de Chimie Colloïdale aan het Institut de Biologie Physico-Chimique van het *Collège de France*, waar hij tevens hoogleraar algemene biologie was. Christoph Charle en Eva Telkès, *Les Professeurs du Collège de France. Dictionnaire Biographique 1901-1939* (Paris, 1988).

35. Duclaux (n. 32), *Les Colloïdes*, 94.

stolling of condensatie. Duclaux' verklaring met een chemische reactie was dus een ongebruikelijke interpretatie. Maar behalve ongewoon had zijn chemische verklaring ook haast onmogelijk geleken door een levensgroot probleem waarvoor Duclaux zich aanvankelijk geplaast had gezien. In het tweede deel van *Les Colloïdes* schreef hij:

Nous avons reconnu, dans toute la première partie de cette étude, que l'un des caractères des colloïdes était de pouvoir être coagulés par des quantités très faibles de sels. Un des exemples donnés était celui d'un hydrosol d'oxyde ferrique dans lequel un certain poids d'ammoniaque pouvait coaguler un poids de micelles 1300 fois supérieur au sien. A ce moment, une aussi énorme disproportion semblait exclure toute possibilité d'explication de ce phénomène par une réaction chimique ordinaire.³⁶

Het verschil tussen het spoortje elektrolyt en de enorme colloïdmassa leek iedere voorstelling van een chemische reactie tussen beide op voorhand compleet uit te sluiten. Maar met de introductie van het 'partie active' had Duclaux dit probleem opgelost: het elektrolyt hoefde alleen met *dat* bestanddeel te reageren, en dat kon wel in meerdere proporties: de hoeveelheid 'partie active' was immers even klein als de hoeveelheid elektrolyt. De chemische reactie was zodoende gered.

De invoering van het 'partie active' maakte Duclaux' theorie wat subtieler dan die van zijn voorgangers en de spectaculaire en ingewikkelde molecuulformules bleven achterwege. Toch vinden we bij hem hetzelfde streven naar chemische verklaringen en dezelfde koppeling van eigenschappen aan moleculaire structuur, en van de verandering van die eigenschappen aan chemische reacties. Het doel van de colloïdchemie was volgens Duclaux uiteindelijk de beantwoording van twee simpele vragen: wat is de chemische samenstelling van de colloïddeeltjes, en hoe verklaart die samenstelling de eigenschappen?³⁷ We hoeven voor 'colloïddeeltjes' maar 'stoffen' in te vullen, om te zien dat deze benadering rechtstreeks afkomstig was uit de klassieke organische en anorganische chemie. Het was Duclaux' uitgangspunt en overtuiging, dat die benadering, die in de scheikunde van kristalloïde stoffen haar waarde bewezen had, ook moest voldoen in de chemie van colloïden:

En généralisant à tous les autres cas, nous sommes donc conduits à considérer les micelles comme des molécules chimiques, assujetties aux mêmes règles que les molécules chimiques ordinaires des cristalloïdes, et n'en différant que par la complexité de l'une de leurs parties³⁸

Binnen de klassiek-chemische benadering werden colloïden beschouwd als gewone moleculen, die alleen wat betreft hun grootte verschilden van de moleculen uit de 'normale' scheikunde.

36. *Ibid.*, 93.

37. Zie *ibid.*, 79: "Quelle est la constitution intime des particules du colloïde? Comment cette constitution en explique-t-elle les propriétés?"

38. *Ibid.*, 100.

5. De Leipziger School

Duclaux streed onvermoeibaar voor acceptatie van zijn ideeën, maar hij moest uiteindelijk erkennen dat zijn visie gedoemd was een minderheidsstandpunt te blijven. De tegenstanders tegen wie hij het voornamelijk moest afleggen, al was het maar vanwege hun veel groter aantal, waren de fysisch-chemici. Hun benadering van colloïdale verschijnselen was totaal anders dan die van de klassiek-chemici en het lijkt opmerkelijk dat zij zo'n overheersende positie innamen binnen de colloïdchemie, want zij bouwden voort op een veel kortere traditie. In hoofdstuk 1 (met name paragraaf 3) hebben we gezien wat de belangrijkste trekken van de fysisch-chemische benadering waren (thermodynamica, onderzoek gericht op chemische systemen in plaats van stoffen) en ook hoe die benadering was voortgekomen uit het werk van Van 't Hoff, Arrhenius en Wilhelm Ostwald. Van die drie was Ostwald het belangrijkste voor de colloïdchemie, niet omdat hij dat vak zelf bedreef (de 'Kolloid-Ostwald' was zijn zoon Wolfgang), maar omdat veel colloïdchemici bij hem hun opleiding hadden genoten.

Anders dan Van 't Hoff en Arrhenius maakte Ostwald namelijk op grote schaal school in de fysische chemie, vanuit zijn instituut in Leipzig. Niet alleen via zijn colleges, maar met name via het onderzoek dat hij in zijn laboratorium liet uitvoeren, wist hij velen in te wijden in het nieuwe vakgebied. Van begin af aan trok Ostwald grote aantallen studenten, niet alleen uit Duitsland, maar ook uit Engeland en Amerika en zelfs uit Egypte en Japan. Ostwald begeleidde hen allen intensief, bracht ze regelmatig samen op speciale *Studentensonntage* bij hem thuis, en zorgde er zodoende voor dat wie bij hem gestudeerd had, grondig was opgeleid in de fysisch-chemische benadering. Na hun periode in Leipzig zwierven de meeste studenten weer uit en velen van hen kwamen daarbij op invloedrijke posities terecht. Anno 1903 telde Ostwald al 147 leerlingen van wie er 34 hoogleraar geworden waren, voor een groot deel in Amerika. De fysische chemie raakte zodoende wijd verspreid, en niet alleen naar andere landen, maar ook naar aangrenzende vakgebieden. Want de nieuwe benadering kon op een scala van terreinen worden toegepast, van de analytische chemie tot de petrologie, en van de chemische technologie tot de fasenleer. Een vakgebied dat bij uitstek gevormd zou worden door de fysisch-chemische aanpak, en ook vaak gezien werd als een tak van de fysische chemie, was de colloïdchemie.³⁹

Veel en vooral belangrijke colloïdchemici van het eerste uur waren afkomstig uit de school van Ostwald. Frederick G. Donnan, later hoogleraar op University College, London en bekend geworden door zijn studies van membraanevenwichten, had bijvoorbeeld gestudeerd bij Ostwald. Wilder D. Bancroft, hoogleraar aan Cornell University en de meest vooraanstaande Amerikaanse colloïdchemicus, evenzo. Ook James W. MacBain en Alfred Lottermoser, colloïdenonderzoekers in respectievelijk Bristol (later Stanford) en Dresden, hadden hun opleiding in Leipzig genoten. En Georg Bredig en Herbert Freundlich tenslotte, waren zelfs beiden Ostwalds hoofddassistent geweest en hadden hun

39. Over Ostwalds school en de verspreiding van de fysische chemie, zie Servos (n. 23), *Physical Chemistry*, 47-70 en ook Grete Ostwald, *Wilhelm Ostwald. Mein Vater* (Stuttgart, 1953).

(colloïdchemische) *Habilitationsschrift* onder hem voltooid.⁴⁰ Wolfgang Ostwald had zoölogie gestudeerd in Leipzig, maar ook hij kan moeiteloos tot de school van zijn vader gerekend worden. Zijn wetenschappelijke loopbaan was van jongs af aan intensief door het thuisfront begeleid en Wilhelms stempel is bij zijn zoon misschien nog duidelijker herkenbaar dan bij zijn echte studenten. Samen met Freundlich was Wolfgang Ostwald ook de eerste om de fysisch-chemische benadering in de colloïdchemie systematisch uit te werken. Beiden trachtten het hele gebied vanuit één gezichtspunt te overzien en beiden kwamen daarbij tot grote overkoepelende theorieën. Het waren deze theorieën waarmee Kruyt in de trein kennismakte toen hij de leerboeken, waarin ze uiteen werden gezet, doornam. Aan de hand van die leerboeken zullen we daarom de fysisch-chemische benadering in de colloïdchemie nader bespreken.

6. De Fysisch-Chemici in de Colloïdchemie

De hele benadering van de fysisch-chemici is misschien wel daarop terug te voeren, dat zij colloïden niet zagen als speciale stoffen met een specifieke chemische samenstelling, maar dat zij het colloïd-zijn beschouwden als een fysische *toestand* die elke stof kon aannemen - zoiets als de vaste of de vloeibare fase. De veranderingen die colloïden ondergingen zagen zij ook niet als chemische reacties, maar als fysische processen waarbij de samenstelling van de betrokken stoffen hetzelfde bleef - net als bij de condensatie van een gas de moleculen daarvan ook geen omzettingen ondergaan. Voor Wolfgang Ostwald was deze fysische-toestandsdefinitie van colloïden al zo vanzelfsprekend, dat hij zich nauwelijks nog kon voorstellen dat men de zaken ook anders kon zien, en hij vond Duclaux' pogingen om bijvoorbeeld uitvlokingsverschijnselen als chemische reacties te duiden, "vollkommen unverstündlich":

ein Koagulationsvorgang [ist] *unter allen Umständen*, nämlich per definitionem, ein *physikalischer* Vorgang, ebenso wie jeder Kristallisationsvorgang als solcher bezeichnet wird. (...) [E]ine Verallgemeinerung wie die, nach der "es sich bei der Wirkung der Salze auf die Kolloide um rein chemische Vorgänge handelt", [hat] auch nur den Anschein einer Berechtigung.⁴¹

Ostwald trok in zijn leerboek over het algemeen fel van leer tegen wat hij enigszins spottend "reine' Chemiker" noemde, en hij vond dat hun "rein' chemische" benadering van de colloïdale verschijnselen op alle fronten tekortschoot.

Maar als de chemische samenstelling van colloïden hun eigenschappen en hun bijzondere gedrag niet kon verklaren, wat kon dat dan wel? Het antwoord daarop lag in het *soort* van toestand dat colloïden hadden aangenomen, namelijk die van een zeer hoge dispersie. Fysisch-chemici zagen colloïdale systemen primair als systemen waarin één fase zeer fijn verdeeld was in een andere, en in die fijne verdeling school volgens hen de essentie. Die bracht namelijk met zich mee dat er tussen de twee fasen een gigantisch

40. Deze 'Habilitationschriften' waren: Georg Bredig, *Anorganische Fermente. Darstellung kolloidaler Metalle auf elektrischem Wege und Untersuchung ihrer katalytischen Eigenschaften* (Leipzig, 1901) en Herb. Freundlich, *Ueber die Adsorption in Loesungen* (Leipzig, 1906).

41. Ostwald (n. 18), *Grundriss*, 45-46, oorspronkelijk cursief.

grensvlak was ontstaan, dat voor een oplossing van enkele milliliters soms al enige vierkante kilometers groot kon worden. Processen die zich aan normale, macroscopische grensvlakken afspeelden, zouden bij colloïden dus een ongekeerde intensiteit krijgen, en het was hierin, dat volgens de fysisch-chemici de sleutel lag tot het begrijpen van de eigenaardige colloïdale gedragingen.

Herbert Freundlich werkte deze grensvlakvisie systematisch uit in zijn leerboek, dat hij *Kapillarchemie* noemde, hoewel het, zo verklaarde hij in de inleiding, nog beter "Grenzflächenchemie" had kunnen heten, als dat tenminste een gangbare term zou zijn geweest.⁴² Maar beide titels gaven goed aan dat het boek niet slechts colloïdale verschijnselen op zich behandelde, maar capillaire, oftewel grensvlakverschijnselen in het algemeen. Het eerste deel ging zelfs alleen over de processen die zich aan macroscopische scheidingslagen afspeelden en pas daarna, en in het licht daarvan, werden in de tweede helft de colloïdale gedragingen besproken. Zo behandelde Freundlich in het eerste gedeelte het fenomeen van de oppervlaktespanning: de kracht die het grensvlak tussen bijvoorbeeld water en lucht zo klein mogelijk probeerde te houden. In deel twee liet hij vervolgens zien hoe die eigenschap ook voor colloïden grote betekenis kon krijgen. In disperse systemen zou de oppervlaktespanning zich namelijk uiten in een neiging van de colloïddeeltjes om zich te verenigen tot grotere vlokken met een kleiner gezamenlijk oppervlak. Met andere woorden: de oppervlaktespanning vormde de drijvende kracht achter coagulatie. Eén van de redenen waarom colloïden toch konden blijven bestaan was dat zij in voortdurende Brownse beweging verkeerden, die hen er enigszins van weerhield om rustig te verkleven. Bovendien droegen de colloïddeeltjes over het algemeen nog een lading van hetzelfde teken, die een zekere onderlinge afstoting garandeerde.

Een capillair fenomeen bij uitstek, dat ook licht wierp op colloïdale verschijnselen, was dat van adsorptie: het zich hechten van de moleculen of ionen van een derde stof aan een grensvlak. Volgens Freundlich moest men de uitvlokking van colloïden door toevoeging van elektrolyten als het gevolg van een adsorptieproces beschouwen. Positief geladen colloïddeeltjes zouden negatieve ionen adsorberen, waardoor hun netto lading daalde, hun onderlinge afstoting verdween, en ze tenslotte verkleefden en uitvokten. Deze voorstelling sloot volledig aan bij hetgeen onderzoekers als Hardy hadden gevonden met betrekking tot het verband tussen lading en stabiliteit van colloïden. Bovendien kon de theorie verklaren waarom er zo weinig elektrolyt nodig was voor coagulatie: niet alleen was de te neutraliseren oppervlaktelading betrekkelijk klein, het was ook juist bij de laagste elektrolytconcentraties dat daarvan het grootste gedeelte adsorbeerde. Dat laatste bleek uit een door hem gevonden empirische vergelijking, die het verband gaf tussen concentratie en geadsorbeerde hoeveelheid van toegevoegde stoffen, en die bekend zou worden als Freundlichs adsorptie-isotherm.⁴³

Met adsorptie kon Freundlich echter niet alleen het uitvlokkingsproces verklaren, maar ook een heel andere groep verschijnselen: die van de katalyse. Het was bekend dat adsorberende oppervlakken van met name metalen bepaalde reacties in een aangrenzende

42. Freundlich (n. 18), *Kapillarchemie*, 1. Freundlichs boek viel uiteen in twee nagenoeg even grote delen, waarvan het eerste "Die Eigenschaften und das Verhalten von Trennungsflächen im allgemeinen" heette, en het tweede "Disperse Systeme". Een zeer klein derde deel over toepassingen kwam nog daarna.

43. *Ibid.*, 65.

oplossing konden versnellen: platina bijvoorbeeld, katalyseerde de ontleding van waterstofperoxide. In het licht van de *Kapillarchemie* was het nu niet meer dan logisch dat deze metalen in colloïdale vorm, bijvoorbeeld het platinasol, een nog veel sterkere katalytische werking vertoonden: het specifiek oppervlak was in de colloïdale toestand immers enorm vergroot. Maar er was ook een heel andere soort van katalysatoren waarvan de werking op deze manier kon worden opgehelderd: de enzymen. Hoewel enzymen natuurlijk in veel opzichten verschilden van colloïdale metalen vormden ze, als eiwitten, evengoed colloïden en volgens Freundlich kon hun katalytische werking dan ook op eenzelfde manier begrepen worden. Ook bij enzymen waren "all die Faktoren maßgebend (...), die [auch] bei den durch Grenzflächen bezw. Solen beeinflussten Reaktionen aufgetreten sind: Adsorption, Brownsche Bewegung u.a.m."⁴⁴ De al eerder genoemde eenheid in de colloïdbeschouwingen kwam in dit soort redeneringen naar voren. Overigens kon Freundlich voor zijn conclusies verwijzen naar het werk van zijn Leipziger voorganger Georg Bredig, die al in 1901 over colloïdkatalysatoren had gepubliceerd, en die de analogie daarbij zelfs had omgekeerd: Bredig noemde zijn platinacolloïden "anorganische Fermente". In de late jaren 20 zou ook de Amerikaanse fysisch-chemicus Bancroft de colloïdchemische visie op enzymwerking overnemen en er zelfs een klinische toepassing van ontwikkelen. Hij behandelde psychiatrische patiënten met stoffen die de katalytische activiteit in hun zenuwcellen zouden reguleren, doordat ze het specifiek oppervlak van de daarin voorkomende enzymen vergrootten of verkleinden. Helaas bleek het medicijn nauwelijks te werken en Bancrofts ongeautoriseerde optreden had als belangrijkste resultaat dat er een groot schandaal in de pers ontstond, dat hem uiteindelijk zijn reputatie en zijn positie zou kosten. Maar de oorspronkelijke gedachte achter zijn therapeutische experimenten was voortgekomen uit een vrij gangbare colloïdchemie à la Freundlich.⁴⁵

Het zal inmiddels duidelijk zijn hoezeer Freundlichs benadering verschilde van die van Duclaux. Die zocht zijn verklaringen in de moleculaire constitutie van de colloïddeeltjes en in hun precieze chemische samenstelling. Daarover vinden we echter geen woord in een boek als *Kapillarchemie*, waarin de aandacht vooral gericht is op de thermodynamica van het grensvlak en nauwelijks op de inwendige structuur van de deeltjes. Na het kopje "Die chemische Natur der kolloiden Teilchen" leek dat wellicht te veranderen, maar ook dat bleek bij nader inzien schijn. In de bewuste paragraaf ging Freundlich weliswaar in op het feit, dat de disperse fase geen zuivere stof is (vanwege de altijd aanwezige verontreinigingen), en merkte daar zelfs bij op dat aan dit feit door Duclaux "mit Recht" een grote betekenis was toegekend, maar zijn uiteindelijke conclusie luidde slechts "dass man bei Gebilden mit grosser Oberfläche stets damit rechnen muss, Stoffe an ihnen adsorbiert zu finden." Wat leek een behandeling van chemische structuur te worden, werd door Freundlich moeiteloos vertaald in uitwijding over oppervlaktodynamica.⁴⁶

Voor we overgaan naar het werk van Ostwald, is het goed nog even stil te staan bij

44. *Ibid.*, 518.

45. Bredig (n. 40). Over Bancroft zie Servos (n. 23), *Physical Chemistry*, hoofdstuk 7, m.n. 312-315; en Geert Somsen, "Goed bedoeld geneesmiddel valt verkeerd", *Chemisch Magazine* (1994) 261-262. Freundlich behandelde de katalyse in (n. 18), *Kapillarchemie*, 173-174, 380-388 en 518-523.

46. Freundlich, *ibid.*, 321-324.

wat Kruyt precies uit *Kapillarchemie* overnam. In feite was hij onder de indruk van het hele leerboek, maar er was één hoofdthema dat in bijzondere mate zijn aandacht trok en dat ook centraal zou komen te staan in zijn eigen onderzoekingen, namelijk de adsorptie van elektrische lading. Dit fenomeen vormde de sleutel tot de stabiliteit van colloïden en kwam daarnaast ook naar voren in vele macroscopische grensvlakprocessen. Wat voor Kruyt bovendien heel bruikbaar bleek, was dat Freundlich in zijn boek ook de belangrijkste experimentele methoden behandelde, waarmee deze zogenaamde 'capillair-elektrische verschijnselen' onderzocht konden worden. Hij onderscheidde daarin vier hoofdtypen. De eerste was de kataforese, de techniek die Hardy had gebruikt, en die bestond uit het aanleggen van een spanning die de geladen colloïddeeltjes deed bewegen. Bij toevoeging van elektrolyt kon men de adsorptie van lading concluderen uit de versnelling of vertraging die de colloïden ondergingen. Een tweede methode was een macroscopische uitvergroting van dit verschijnsel, waarbij het grensvlak niet door colloïden gevormd werd, maar door een lang en dun buisje, een 'capillair'. Als men over een capillair een spanning zette, dan ging het buisje zelf daardoor natuurlijk niet bewegen, maar de eraan geadsorbeerde ionen wel, en die sleurden het oplosmiddel met zich mee. Uit metingen van de aldus ontstane vloeistofstroom kon men conclusies trekken aangaande de geadsorbeerde lading. Deze techniek werd 'elektro-endosmose' genoemd. Het omgekeerde ervan was de derde methode van de zogenaamde stromingspotentialen. Die kwam erop neer dat men de vloeistof zelf door het capillair perste, en dan de spanning observeerde die de meegesleurde ionen over het buisje deden ontstaan; deze techniek zou Kruyt met name verder ontwikkelen. De vierde methode tenslotte, was de colloïdale variant van stromingspotentialen en zou moeten berusten op het zelf voortbewegen van geladen colloïddeeltjes om dan een opgeroepen spanning waar te nemen. Deze techniek echter, hoewel principieel mogelijk, was praktisch zo goed als onuitvoerbaar.⁴⁷

Deze technieken en de hele aanpak van colloïdchemische problemen in *Kapillarchemie*, zetten Kruyt op het spoor dat hij binnen zijn nieuwe vakgebied het meest zou gaan volgen. Zijn grootste voorkeur ging daarbij uit naar het werk van Freundlich, maar zijn aanvankelijke enthousiasme voor de colloïdchemie zou ook heel goed kunnen zijn opgewekt door Wolfgang Ostwalds boek *Grundriss der Kolloidchemie*. Ostwald was wat propagandistischer dan Freundlich en hij sprak zich duidelijker uit over de positie van zijn vakgebied. Net als later in zijn Amerikaanse lezingen, probeerde hij in zijn leerboek aan het publiek te laten zien wat een interessant en aantrekkelijk onderzoeksterrein zijn vak vormde en hoezeer dat recht had op een eigen plaats binnen de wetenschap.⁴⁸ Inhoudelijk sloot de *Grundriss* echter grotendeels aan bij het boek van Freundlich: de nadruk lag ook op grensvlakken, de aanpak was fysisch-chemisch en verschijnselen als adsorptie en allerlei toestandsveranderingen werden uitgebreid besproken. Het grootste verschil zat misschien daarin, dat Ostwalds benadering nog sterker fenomenologisch

47. Capillair-elektrische verschijnselen werden ook wel elektro-kinetische verschijnselen genoemd, vanwege het steeds optredende verband tussen lading en beweging. Freundlich beschreef ze systematisch in *ibid.*, 223-249.

48. Met dat laatste doel nam Ostwald ook een uitgebreide historische inleiding in zijn leerboek op om daarmee de volwassenwording van het vakgebied aan te tonen. Ostwalds 'grondlegger' was Thomas Graham, wiens portret de binnenkant van de kaft sierde. Ostwald (n. 18), *Grundriss*, 3-76. Zie ook het "Vorwort", *ibid.*, v-viii.

georiënteerd was. Waar Freundlich de aandacht al verlegd had van de moleculaire structuur van colloïden naar de thermodynamische processen aan hun oppervlak, daar liet Ostwald vrijwel iedere voorstelling van moleculen en deeltjes het liefst achterwege. Die neiging komt bijvoorbeeld naar voren in zijn behandeling van de oorzaken van de stabiliteit van colloïden. Volgens Freundlich was er sprake van een evenwicht tussen oppervlaktespanning, de lading van de deeltjes (die overigens met de oppervlaktespanning verbonden was) en de Brownse beweging. Ostwald echter probeerde om al deze factoren terug te voeren tot verschillende vormen van energie - en als het kon zelfs tot alleen oppervlakteënergie: het soort energie dat voortkwam uit de oppervlaktespanning.⁴⁹

Energie was in het algemeen de centrale grootheid in de *Grundriss der Kolloidchemie* en Ostwald trachtte alle verschijnselen zoveel mogelijk in termen van energieomzettingen te beschrijven. Dat streven had hij overigens van niemand vreemd, want het sloot direct aan bij het soort van natuurbeschouwing dat zijn vader had ontwikkeld: het energeticisme. Wilhelm Ostwalds fysische chemie had altijd al geneigd naar een fenomenologische thermodynamica, maar in de jaren 1890 had hij die trek consequent doorgezet en zijn scheikundige theorieën tegelijk gegeneraliseerd tot een algemene energeticistische natuurfilosofie. In die zienswijze was energie de enige fundamentele realiteit: alle andere grootheden waren te herleiden tot vormen van energie, en alle natuurverschijnselen konden worden beschouwd als omzettingen van de ene energievorm in de andere.⁵⁰ Uit dit idee volgde onder meer ook een systematische classificatie van de natuurwetenschappen. Disciplines konden namelijk worden ingedeeld naar het soort van energieomzettingen dat erin centraal stond. De fysische chemie bijvoorbeeld was het vak dat zich richtte op de omzetting van chemische energie in andere energievormen, die vervolgens bij haar subdisciplines specifiek werden gemaakt. Zo hield de elektrochemie zich bezig met wisselwerkingen tussen elektrische energie en chemische energie, de thermochemie met de interactie tussen chemische energie en warmte, en de colloïdchemie tenslotte met de omzettingen van chemische energie in oppervlakteënergie en *vice versa*. Deze energetische indeling der wetenschappen werd overigens vrij algemeen overgenomen, niet alleen door Wolfgang Ostwald, maar ook bijvoorbeeld door Freundlich en zelfs door een niet-fysisch-chemicus als Viktor Pöschl.⁵¹ We kunnen nu ook beter begrijpen wat Wolfgang Ostwalds bezwaren waren tegen de eerdergenoemde "reine" Chemiker", zoals Duclaux. Zij betrokken, in Ostwalds visie,

49. *Ibid.*, 448-509. Ostwald achtte het ook het beste om de verschillende soorten van coagulatie in te delen op grond van de energievorm waarin de oppervlakteënergie daarbij werd omgezet. Freundlich (n. 18), *Kapillarchemie*, 345-364.

50. Over Wilhelm Ostwalds energeticisme zie Arie Leegwater, "The Development of Wilhelm Ostwald's Chemical Energetics", *Centaurus* 29 (1986) 314-337; Erwin N. Hiebert, "The Energetics Controversy and the New Thermodynamics" in: Duane H.D. Roller (ed.), *Perspectives in the History of Science and Technology* (Norman, 1971) 67-86; en N.R. Holt, "A Note on Wilhelm Ostwald's Energism", *Isis* 61 (1970) 386-389. Overigens bouwde Ostwald sr. zijn energeticisme uit tot een complete levensbeschouwing en levenswijze inclusief quasi-kerkelijke rituelen als 'Sonntagspredikten' en kerstliederen. Zie hierover C. Hakfoort, "Science Deified: Wilhelm Ostwald's Energeticist World-View and the History of Scientism", *Annals of Science* 49 (1992) 525-544.

51. Wilhelm Ostwald, *Grundriss der allgemeinen Chemie* (Leipzig, 1909) 270-277; Freundlich (n. 18), *Kapillarchemie*, 1; en Pöschl (n. 18), *Einführung*, 2.

uitsluitend de chemische energie in hun beschouwingen, en zo kon men volgens hem nooit een complete colloïdchemie opbouwen.

Bij Wilhelm Ostwald was het energeticisme ook heel duidelijk een anti-materialisme geweest. Dat wil zeggen: hij kon niet geloven dat ieder proces in de natuur is terug te voeren op bewegingen van microscopische materiedeeltjes. Voor hem vormde energie een beter verklarend principe, en hij bestreed de realiteit van kinetische voorstellingen en - uiteindelijk - van moleculen en atomen in het algemeen. Zoon Wolfgang deelde niet in dit anti-atomisme en hij wist zijn vader er naar aanleiding van het werk van Perrin zelfs van te overtuigen, dat die positie niet langer houdbaar was.⁵² Dit betekende echter niet dat men het hele energeticistische streven meteen moest laten varen en Ostwald jr. zag mogelijkheden voor een verzoening tussen energie- en atoomleer - juist door de colloïdchemie. Want als colloïdale systemen al door hun hoge dispersiteitsgraad gekenmerkt werden, dan gold dat voor systemen van moleculen en atomen (wat Ostwald wel "molekular-disperse Systeme" noemde) natuurlijk helemaal, en in nog veel sterkere mate. Misschien moest de discontinuïteit van materie, die door onderzoekers als Perrin geclaimd werd, gezien worden als niets anders dan een extreem hoge dispersiteit. En misschien speelde het 'grensvlak' van moleculen en atomen wel net zo'n grote rol als bij colloïden, en moesten hun gedragingen ook worden begrepen in termen van hun oppervlakteënergieën. In oktober 1909 schreef Ostwald aan Perrin, naar aanleiding van diens experimenten:

I am working from a somewhat different point of view, insofar as I find, for example, that the fact of discontinuity is synonymous with the existence of an immense curved surface, and therefore that surface (...) energies (...) are of the same general applicability and importance as discontinuity itself.⁵³

Ostwald voegde hieraan toe dat hij werkte aan een boek dat "Energetic Atomistics" zou moeten gaan heten en dat atoomleer en (oppervlakte-)energeticisme zou verenigen.

Ostwalds boek is nooit verschenen maar het is duidelijk dat de focus op oppervlakteënergie voor hem een betekenis had, die zich uitstrekte tot voorbij de colloïdchemie. In de *Grundriss* bleven de speculaties over een mogelijke energetische opvatting van moleculen en atomen echter op de achtergrond.⁵⁴ Daar werd zijn

52. Ostwald sr. werd door zijn zoon van de realiteit van moleculen overtuigd toen hij de vierde editie van zijn *Grundriss der anorganischen Chemie* voorbereidde, in 1909. Wilhelm Ostwald, *Lebenslinien. Eine Selbstbiographie* (3 dln.; Berlijn, 1926-1927) II, 115. Op jonge leeftijd was Wolfgang overigens nog wel anti-atomist geweest en hij had daarover zelfs gepubliceerd: "Ueber die Bildung Wissenschaftlicher Begriffe", *Annalen der Naturphilosophie* 1 (1902) 385-413. Over de theoretische discussies tussen vader en zoon Ostwald en Wolfgangs wetenschappelijke aanleg en vorming van huis uit, zie ook Grete Ostwald (n. 39), *Wilhelm Ostwald*, 147 resp. 62.

53. Wolfgang Ostwald aan Perrin, geciteerd in Nye (n. 14), *Molecular Reality*, 175; zie ook *ibid.*, 152.

54. Ostwald refereerde in de *Grundriss* wel enkele malen aan het feit dat hij enige ideeën had ontwikkeld omtrent een mogelijke energetische opvatting van moleculen en atomen, en noemde daarbij ook zijn te verschijnen boek. Het meest expliciet was hij aan het eind van de paragraaf "Specifiche Oberfläche und chemische Energie": "Haben wir mit maximalen Dispersitätswerten zu tun, d.h. mit 'unteilbaren' Molekülen oder Atomen oder gar Elektronen, so könnte man eine Auffassung entwickeln, nach der die chemischen Reactionen, die 'Vereinigungen' und 'Trennungen' der Moleküle oder Atome usw. nur durch die dieser Vorgängen entsprechenden Verkleinerungen und Vergrößerungen der Teilchenoberflächen hervorgerufen werden. Die Dynamik der Moleküle und Atome, im speziellen die Wirkungen der chemischen Energie

energeticisme meer praktisch uitgewerkt in een perspectief op colloïdale (of 'kolloïdaldisperse') systemen. Ostwald splitste het begrip oppervlakteënergie daartoe op in twee factoren, de oppervlaktetension en de dispersiteitsgraad (het totale oppervlak), en daarmee trachtte hij alle colloïdverschijnselen te beschrijven en in te delen. Zo bracht hij alle mogelijke toestandsveranderingen samen in een klein aantal hoofdcategorieën, waarbij het erop aankwam welke grootte zich in het proces wijzigde. Coagulatie bijvoorbeeld viel onder de verschijnselen waarbij zowel de dispersiteitsgraad als de ruimtelijke verdeling van het colloïd veranderde. En bij een fenomeen als gelvorming was het volgens Ostwald alleen de dispersiteitsgraad, die verandering onderging. Als drijvende kracht achter al deze processen gold nog steeds met name de oppervlaktetension, en de verschijnselen dienden dan ook uiteindelijk het liefst verklaard te worden als omzettingen van oppervlakteënergieën (Ostwald onderscheidde daarin een positieve en een negatieve vorm). Deeltjesvoorstellingen bleven in elk geval in de hele *Grundriss* zoveel mogelijk achterwege.⁵⁵

Hoewel een boek als de *Grundriss* voor Kruyt prima leesbaar was, en hij zich in de algemene, fysisch-chemische aanpak ook goed kon vinden, zal juist Ostwalds exclusieve nadruk op energie hem wat merkwaardig zijn voorgekomen. Kruyt was door de colleges van Van der Waals zelf geschoold in een thermodynamica mét moleculaire onderbouwing, en een fysisch-chemische benadering die zich van deeltjesbeschouwingen probeerde te ontdoen, was hem in feite wezensvreemd. Terwijl het energeticisme Ostwald met de paplepel was ingegoten, vormde het voor Kruyt vooral een vreemde leer uit Leipzig - of liever: uit Großbothen, het landgoed waar Ostwald sr. resideerde in zijn landhuis 'Energie'. Ook in een latere recensie gaf Kruyt er blijk van met diens energieleer weinig op te hebben, en hij prefereerde de normale fysische chemie van Wilhelm Ostwald boven zijn werk als "den energetischen filosoof".⁵⁶ Vandaar ook dat Kruyt zich meer aangesproken voelde door het colloïdchemische werk van Freundlich (dat in feite die eerste lijn volgde) dan door de benadering in de *Grundriss* van Wolfgang Ostwald, hoewel ook die altijd nog een stuk dichterbij hem stond dan de klassiek-chemische theorieën à la Duclaux. Maar het was op Freundlich's kompas dat Kruyt het meest zou gaan varen.

7. Colloïdchemie in Nederland

We zijn in dit hoofdstuk tot dusverre volledig voorbijgegaan aan het colloïdenonderzoek dat in Nederland had plaatsgevonden, voor pakweg 1910. Dat is zeker een grote omissie, want er was hier te lande al van vroeg af aan veel colloïdchemisch werk verricht, dat ook internationaal in hoog aanzien stond. De Leidse hoogleraar Van Bemmelen, die

könnten in diesem Sinne also als Äußerungen der Oberflächenenergien maximal disperser Teilchen angesehen werden." Ostwald (n. 18), *Grundriss*, 141.

55. Zie *ibid.*, 249-258, 446-509, 126-132.

56. Kruyt zag er niets in om te moeten kiezen tussen een puur materialistische of een puur energeticistische voorstelling van de wereld: "Waarlijk, de overal heerschende waarheid verstijft zoo min in het begrip energie als in het begrip materie." H.R.K., bespreking van *Die Energie* door Wilh. Ostwald (2e ed.), CW 10 (1913) 822.

vanaf 1888 een reeks van colloïdale systemen aan nauwkeurige onderzoeken had onderworpen, gold zelfs als één van de pioniers van het nieuwe vakgebied. Sinds diens experimenten hadden colloïden blijvend in de belangstelling gestaan, en tegen 1910 waren ze uitgegroeid tot een waar *hot topic*, ook onder Nederlandse chemici. De verwachtingen die werden uitgesproken ten aanzien van de nieuwe "kolloïdchemie" waren hier ook nauwelijks minder hooggespannen dan in het buitenland.⁵⁷ Toch hebben we het Nederlandse colloïdenwerk tot nu toe straffeloos kunnen negeren en de voornaamste reden daarvoor is dat het weinig invloed gehad lijkt te hebben op Kruyt. Hij raakte pas enthousiast voor het vak tijdens het lezen van de leerboeken van Ostwald en Freundlich en niets wijst erop dat hij daarvoor al grote interesse voor colloïden had. Toch was Kruyt wel degelijk op de hoogte van wat er in Nederland over het onderwerp te doen was, maar kennelijk ontbrak er aan dat werk iets dat nodig was om hem ook zelf naar de colloïdchemie te doen omschakelen. Juist om de motivatie van zijn overstap beter te begrijpen, is het zinvol om aan het eind van dit hoofdstuk een korte blik te werpen op het Nederlandse colloïdenonderzoek. Want door vast te stellen wat daaraan ontbrak, kunnen we beter inzien wat het wel was in het werk van Ostwald en Freundlich, dat Kruyt zou doen kiezen voor het nieuwe onderzoeksterrein.

De beroemdste Nederlandse colloïdenonderzoeker vóór Kruyt was ongetwijfeld Jacob Maarten van Bemmelen, die we in hoofdstuk 1 al even hebben leren kennen als de hoogleraar bij wie Bakhuis Roozeboom werkte in zijn Leidse tijd. In diezelfde periode, en ook nog daarna, verrichtte Van Bemmelen een serie onderzoeken naar het vermogen van allerhande gelen en neergeslagen colloïden om water en kristalloïde stoffen te absorberen. Dit werk kwam voort uit zijn landbouwchemische interesses (Van Bemmelen had veel bodemonderzoek gedaan, met name naar het absorptievermogen van akkerarde), maar het zou later door veel Duitse colloïdchemici geïnterpreteerd worden als een voorbode van hun eigen soort onderzoek, hetgeen Van Bemmelen de eretitel "der Altmeister der Kolloïdchemie" opleverde. Vooral veel fysisch-chemische colloïdchemici herkenden hun eigen opvattingen in het oudere werk van Van Bemmelen. Zo zag Wolfgang Ostwald in Van Bemmelen's absorptiecurves voorlopers van Freundlich's latere adsorptie-isotherm, en beschouwde hij Van Bemmelen als een grondlegger van de *Kapillarchemie* in het algemeen.⁵⁸ Maar hoewel er zeker overeenkomsten bestonden tussen de "Altmeister" en de nieuwe colloïdchemici, deed hun verlangen naar een beroemde voorganger hen ook enigszins de ogen sluiten voor

57. Niet alleen werd er colloïdchemisch onderzoek verricht, het vak stond ook steeds vaker centraal in bijvoorbeeld boekbesprekingen, waarin men de enorme groei ervan constateerde en toekomstverwachtingen uitsprak. Met name de ultramicroscopie sprak tot de verbeelding. In 1905 werd er één gedemonstreerd op het Nederlandsch Natuur- en Geneeskundig Congres te Arnhem (waarbij Bakhuis Roozeboom toelichting gaf) en enige tijd later een ander exemplaar bij de bierbrouwerij Oranjeboom in Rotterdam. Zie *CW* 2 (1905) 256, 267-268, 464-471.

58. Volgens Wolfgang Ostwald stond Van Bemmelen bekend als de "Begründer der Lehre von der Absorption (Adsorption)" (waarbij de toevoeging tussen haakjes vermoedelijk van Ostwald zelf afkomstig was). Ter gelegenheid van Van Bemmelen's tachtigste verjaardag verzorgde Ostwald een gebundelde uitgave van diens 'colloïdchemische' artikelen, onder de titel *Die Absorption. Gesammelte Abhandlungen über Kolloide und Absorption* (Dresden, 1910). Zie met name zijn voorwoord daarin. De kwalificatie "Altmeister der Kolloïdchemie" was van Arthur Müller, die zijn eigen leerboek aan Van Bemmelen opdroeg. Zie Müller (n. 18), *Allgemeine Chemie*.

enkele grote verschillen. Want wat Van Bemmelen 'colloïden' genoemd had, waren vaak in feite de coagulatieprodukten van colloïden en de absorptie van water in zulke systemen was toch wezenlijk iets anders dan de adsorptie van elektrolyten aan de deeltjes van een sol. Bovendien had Van Bemmelen heel eigen bedoelingen gehad met zijn onderzoek. Dat beoogde namelijk onder meer aan te tonen dat de 'absorptieverbindingen' die zijn colloïden met water en andere stoffen vormden, een variabele samenstelling hadden en niet aan de wetten van de stoichiometrie gehoorzaamden. Van Bemmelen was altijd sceptisch geweest over de scherp gedefinieerde formules die de organische structuurtheorie voorschreef, en met zijn absorptieverbindingen wilde hij voorbeelden leveren van het tegendeel. Zijn onderzoek reageerde zodoende in zijn eigen ogen eerder op de structuurchemie van Kekulé dan dat het vooruitliep op de colloïdchemie van Ostwald en Freundlich.⁵⁹

Het is niet duidelijk wanneer Kruyt kennismakte met het werk van Van Bemmelen, maar in elk geval zou hij er pas na het lezen van de boeken van Ostwald en Freundlich een voorloper van de colloïdchemie in herkennen. Toch had hij daarvoor al zeker gehoord van andere colloïdchemische onderzoeken, en van het bestaan van colloïden en hun eigenaardige eigenschappen was hij al sinds zijn vroege studententijd op de hoogte, onder meer omdat Bakhuis Roozeboom het onderwerp ter sprake bracht in zijn eerstejaarscollege. Roozeboom liet daarin vooral zien hoe colloïden zich aan de wetmatigheden van de gangbare takken van de scheikunde leken te onttrekken, en hij placht daarbij schertsend op te merken dat het maar goed was dat Graham ze een aparte positie had gegeven, want daardoor konden scheikundigen ze voortaan met een gerust hart negeren.⁶⁰ Of colloïdale systemen wel een plaats konden krijgen in de fasenleer, was een heel ander vraagstuk en daarover wist Roozeboom ook niet direct uitsluitsel te geven. Ten eerste leek dat problematisch vanwege de hoge dispersiteitsgraad van colloïden. In principe was de ruimtelijke verdeling van fasen irrelevant voor de beschouwingen in de fasenleer, maar wanneer die verdeling zeer fijn werd, dan bleken er extra effecten aan de dag te treden waardoor de fasenregel niet meer opging. Zo was het bekend dat een vloeistof een hogere dampspanning kreeg wanneer zij in zeer kleine druppeltjes verdeeld was, en iets dergelijks gebeurde bij zeer kleine kristalletjes met hun oplosbaarheid. Het was dus heel wel mogelijk dat colloïden juist op grond van hun hoge graad van dispersie van fasenleerbeschouwingen zouden moeten worden uitgesloten.⁶¹

Maar zelfs wanneer dat niet zo was, dan diende zich vervolgens nog de vraag aan uit hoeveel fasen colloïdale systemen eigenlijk bestonden. Moest men zulke systemen opvatten als suspensies, die duidelijk twee fasen in zich hadden, of diende men ze te zien als

59. Zie onder andere J.M. Van Bemmelen, "Über die Natur der Kolloide und ihren Wassergehalt" in: (n. 58), *Absorption*, 13-80, en verder: W.P. Jorissen, "Jakob Maarten van Bemmelen. 3 Nov. 1830 bis 3. Nov. 1910" in: *ibid.*, en H.W. Bakhuis Roozeboom, "In Memoriam Prof. Lobry de Bruyn. Rede, uitgesproken bij de hervatting van de colleges op 26 September 1904", *CW* 1 (1904) 957-971, m.n. 958.

60. Zie bijvoorbeeld H.R. Kruyt, *Algemeene Theorie en Bijzondere Ervaring. Rede uitgesproken bij de aanvaarding van het ambt van buitengewoon hoogleraar aan de rijks-universiteit te Utrecht op 17 mei 1916* (Amsterdam, s.a.) 18.

61. Volgens Roozeboom verloor de fasenregel zijn geldigheid wanneer het aantal moleculen dat deel uitmaakt van de grenslaag vergelijkbaar werd met de hoeveelheid daarachter. H.W. Bakhuis Roozeboom, *Die heterogenen Gleichgewichte vom Standpunkte der Phasenlehre* (5 dln; Braunschweig, 1901-1918) I 14.

een soort van oplossingen, die men doorgaans als eenfasig beschouwde. Over deze problematiek ontspan zich vlak na de eeuwwisseling een discussie tussen Roozeboom en Kruyts andere Amsterdamse leermeester Lobry de Bruyn. De Bruyn had vanaf 1900 zelf onderzoek verricht aan colloïdale systemen, en hij was daarbij tot de overtuiging gekomen, dat het bovenstaande vraagstuk in wezen niet beantwoord kon worden. Uit molecuulgewichtbepalingen, experimenten met Tyndall-licht en centrifugeproeven was hem niet alleen gebleken, dat colloïden tussen suspensies en normale oplossingen in stonden, maar ook dat men aan beide kanten geen scherpe grenzen kon trekken. Er was blijkbaar sprake van een continue overgang van homo- naar heterogeniteit.⁶² Voor Roozeboom was deze conclusie moeilijk te accepteren: hij kon zich voorstellen dat colloïdale systemen een- dan wel tweefasig waren, maar 'anderhalf-fasig' - dat was binnen de fasenleer eenvoudigweg ondenkbaar. Bovendien kon volgens Lobry de Bruyn het aantal fasen geleidelijk veranderen en dat zette in feite het hele fasebegrip op losse schroeven. Roozeboom had dan ook bedenkingen bij de conclusies van zijn collega en hij achtte de gevolgtrekkingen uit diens experimenten "ietwat voorbarig".⁶³

Overigens zouden de twee professoren hun verschil in inzicht nooit op de spits drijven, maar voor de studenten was het debat natuurlijk hoogst interessant en zij waren zeer wel op de hoogte van de tegenstelling tussen hun beide coryfeeën.⁶⁴ Het vraagstuk of en hoe de fasenleer op colloïdale systemen kon worden toegepast leefde sterk binnen de Amsterdamse leiders en verschillende leerlingen van Roozeboom zouden ook zelf nog een bijdrage aan de discussie leveren. Zo nam J.J. van Laar stelling tegen Lobry de Bruyn door vol te houden dat eenfasigheid bij colloïden slechts schijn was, omdat deze als slecht oplosbare stoffen nooit tot individuele moleculen uiteen zouden kunnen vallen. Kruyts studievriend Jonker sloot zich hierbij aan en hij wijdde zelfs een experimenteel onderzoek aan de kwestie, dat hij publiceerde in het *Kolloid-Zeitschrift*. Zijn hoofdvraag "Ist die Phasenregel auch für die Kolloidchemie anwendbar?" beantwoordde hij bevestigend, en hij stelde dat eerdere moeilijkheden bij de toepassing van de fasenleer op colloïden waren voortgekomen uit een verkeerd gebruik van begrippen. Zo hielden veel colloïdchemici uitvloeking voor een ontmengingsverschijnsel,

62. Lobry de Bruyn had tussen 1900 en 1904 een reeks colloïdchemische onderzoeken verricht, die alle tot doel hadden aan te tonen, dat eigenschappen die men als typerend voor colloïden beschouwde ook bij suspensies, respectievelijk gewone oplossingen, konden voorkomen. Zo liet hij zien dat gewichtsbepalingen van moleculen en van colloïdale deeltjes op vergelijkbare getallen konden uitkomen, en ook dat sommige moleculaire oplossingen het Tyndall-effect vertoonden. Uit experimenten met een centrifugetoestel, uitgevoerd in het privélab van R.P. van Calcar, bleek dat niet alleen de deeltjes in suspensies, maar ook colloïden en zelfs opgeloste moleculen bij het draaien naar buiten werden geslingerd. C.A. Lobry de Bruyn, "Quelques remarques sur la grandeur des particules présentes dans les solutions colloïdales ou pseudosolutions", *Rec.* 19 (1900) 251-258; met L.K. Wolff, "L'application de la méthode optique de Tyndall permet-elle la démonstration de la présence des molécules dans les dissolutions?", *ibid.*, 22 (1904) 155-168 (hierin bekritiseerden de auteurs expliciet het fasebegrip); en met R.P. van Calcar, "Sur les variations de concentration de solutions et sur la cristallisation de substances dissoutes sous l'influence de la force centrifuge", *ibid.*, 218-223; zie ook *CW* 1 (1904) 518.

63. Roozeboom (n. 59), "Lobry de Bruyn", 969. Met name op De Bruyns centrifugeproeven bestond kritiek; zie ook Ernst Cohen en J.J. Blanksma, "Cornelis Adriaan Lobry de Bruyn", *CW* 1 (1904) 971-999, m.n. 996.

64. Zie E.H. Buchner, *Vervloeiing van Begrippen*, inaugurele oratie Universiteit van Amsterdam (Groningen, 1946) 6.

terwijl het colloïdale systeem als zodanig al uit twee ongemengde fasen had bestaan. Deze opvatting werd vervolgens weer bestreden door een andere promovendus van Roozeboom en een toekomstig actief colloïdchemicus: E.H. Büchner. Büchner publiceerde een artikel in hetzelfde tijdschrift en stelde daarin dat men colloïdale systemen net zo goed als eenfasig kon opvatten en dat die interpretatie zelfs te prefereren was, omdat zij tot eenvoudiger gevolgtrekkingen leidde. Kruyt volgde al dit werk van zijn studiegenoten met grote belangstelling en ook hij zou door de vraag naar het fasenaantal gefascineerd raken. Maar niettemin vormde die interesse voor hem onvoldoende aanleiding om zich ook zelf aan colloïdenonderzoek te gaan wijden, en toen hij die overstap uiteindelijk wel maakte, was dat ook niet meer om zich met het fasenvraagstuk bezig te gaan houden.⁶⁵

Wat er ontbrak aan het Nederlandse onderzoek om Kruyt de overstap te laten maken, en wat hij wel aantrof in de boeken van Ostwald en Freundlich, wordt wellicht het best geïllustreerd door het werk van de laatste colloïdchemicus die ik hier wil noemen: Herman Wijbe Woudstra. Woudstra had zijn eerste colloïdchemische experimenten nog onder Van Bemmelen uitgevoerd en was in 1905 bij diens opvolger Schreinemakers gepromoveerd - waarschijnlijk als de eerste Nederlandse promovendus in de colloïdchemie. Ook daarna bleef hij zich nog op het colloïdenterrein bewegen en hij publiceerde met enige regelmaat over nieuwe onderzoeken. Al vóór zijn promotie had hij artikelen gewijd aan colloïdale synthesesmethoden en aan de zogenaamde inwendige wrijving in colloïdale oplossingen. Later onderzocht hij onder andere het merkwaardige chroomoxidesol, en, in samenwerking met zijn vroegere Leidse docent Jorissen, het effect van de pas ontdekte "radiumstralen" op colloïden. Woudstra bestreek een scala aan onderwerpen maar zijn hoofdthema bleef het onderwerp van zijn dissertatie: de werking van elektrolyten op colloïdale oplossingen en hun uitvlokking als het gevolg daarvan. Vanaf 1908 schreef hij hierover vier lange artikelen in het *Chemisch Weekblad* en in het *Zeitschrift für physikalische Chemie*. Hierin besprak hij uitgebreid de voor handen zijnde experimentele methoden, verzamelde zelf een massa aan gegevens, en gaf in de conclusie een overzicht van alle factoren die bij coagulatie een rol konden spelen: de lading, de beweeglijkheid en het gewicht van het elektrolyt, alsmede de aard, de grootte en de osmotische druk van de soldeeltjes, en nog vele andere oorzaken. Het was niet zozeer Woudstra's bedoeling om al met een afdoende theorie over coagulatie te komen maar veel meer om de feiten vooralsnog 'naast elkaar te stellen'. In de laatste verhandeling, zo beloofde hij, zou dan de geschiktste theoretische voorstelling worden uitgekozen. Dat lukte echter maar slecht, want Woudstra vond dat in feite alle bestaande verklaringen, inclusief die van Ostwald en Freundlich, in gebreke bleven en dat er geen enkele theorie was die alle feiten volledig dekte. Het slotartikel had dan ook uiteindelijk meer weg van een opsomming van alle bestaande standpunten dan van een ontwikkeling van één

65. J.J. van Laar, *Over den Gibbs'schen Phasenregel* (Amsterdam, 1907) 27-29. W.P.A. Jonker, "Kolloidchemie und Phasenlehre", *KZ* 8 (1911) 15-18 en *ibid.* 10 (1912) 126-131. E.H. Büchner, "Kolloide und Phasenlehre" *ibid.* 14 (1914) 2-8. Jonker had zijn visie ook gepresenteerd in een voordracht, waarop door Kruyt commentaar was geleverd; zie W.P.A. Jonker, "Ternaire Stelsels, waarvan één der componenten een kolloïd is", *NNGC* 13 (1911) 209-213. In zijn afscheidscollege gaf Kruyt te kennen dat ook hij zich aanvankelijk de vraag had gesteld uit hoeveel fasen een colloïdaal systeem bestond, maar dat hij vervolgens meer gegrepen was door "zuiver kolloïdchemische problemen". Zie H.R. Kruyt, "Afscheidscollege, gehouden op Vrijdag 20 September 1946 in de Collegezaal van het Organisch Chemisch Laboratorium te Utrecht", *CW* 42 (1946) 264-270, m.n. 264.

bepaalde zienswijze, en voor een definitieve keuze zou men eerst verder experimenteel onderzoek moeten afwachten.⁶⁶

Uitvlokking door elektrolyten was precies het onderwerp waaraan ook Kruyt zijn eerste colloïdchemische experimenten zou gaan wijden en dat zou uitgroeien tot misschien wel het hoofdthema van zijn hele onderzoeksprogramma. Het lijkt achteraf dus verbazend dat Kruyt zich niet door het werk van Woudstra tot zulk onderzoek had laten inspireren, en dat hij er later ook zelden of nooit aan zou refereren - evenmin trouwens als aan dat van de andere Nederlandse colloïdenonderzoekers. Toch verdwijnt die verbazing wanneer we terugdenken aan de manier van onderzoek bedrijven die Kruyt zich bij Roozeboom had eigen gemaakt en die we hebben leren kennen aan het eind van hoofdstuk 1. Want wat Kruyt boven alles van zijn leermeester had meegekregen, was dat de vraagstelling voor een experiment altijd moest voortkomen uit een "algemeen achtergrond", dat men pas relevante onderzoeksvragen kon formuleren vanuit een enigszins omvattende, algemene theorie. Zo'n theorie hoefde nog niet volmaakt te zijn - integendeel: juist de zwakke plekken wezen uit waar nog nader onderzoek noodzakelijk was, en juist daarom was het bestaan ervan voorwaarde voor het zinvol verrichten van onderzoek. Een dergelijk algemeen gezichtspunt ontbrak echter geheel in het werk van de Nederlandse colloïdchemici en het diende zich zeker niet aan in dat van Woudstra, wiens aanpak zo ongeveer de omgekeerde was van die van Roozeboom en Kruyt. Woudstra richtte zich in de eerste plaats op het bijeenbrengen van feitenmateriaal, en besprak theorieën slechts om na te gaan hoe zeker ze waren. In geval van twijfel nam hij liever helemaal geen standpunt in en achtte het beter te wachten op nadere experimentele gegevens.⁶⁷

Een algemene theorie was nu wat Kruyt bij uitstek wel aantrof in de boeken van Ost-

66. H.W. Woudstra, *Over de Werking van Electrolyten op Kolloïdale zilveroplossingen en over het Proces der Coagulatie*, proefschrift Rijksuniversiteit Leiden (Zalt-Bommel, 1905); "Een en ander over kolloïdaal zilver", *CW* 1 (1904) 603-609; "Over de inwendige wrijving van kolloïdale oplossingen", *ibid.* 5 (1908) 303-312 en 62-623; "Over den sol van chromoxyde", *ibid.* 6 (1909) 375-377; "De werking van electrolyten op kolloïde oplossingen", *ibid.* 559-583; 8 (1911) 21-41; en 9 (1912) 288-311; "Die Wirkung einiger Elektrolyte auf kolloïde Silberlösungen und der Prozeß der Koagulation", *ZPC* 61 (1908) 607-632; "Ueber die innere Reibung kolloïder Silberlösungen", *ibid.* 63 (1908) 619-622; en met W.P. Jorissen, "Iets over de werking van radiumstralen op colloïden", *CW* 7 (1910) 941-948; en *ibid.* 9 (1912) 340-341. Woudstra gaf na zijn promotie enige tijd les aan de HBS in Zaltbommel, volgde in 1908 Jorissen op als leraar aan het Koninklijk Instituut voor de Marine in Den Helder, en vertrok enkele jaren later naar Nederlands-Indië. In de hier besproken periode recenseerde hij ook regelmatig colloïdchemische leerboeken voor het *Chemisch Weekblad*, waaronder dat van Ostwald.

67. Het verschil in benadering tussen Woudstra en Kruyt kwam ook tot uiting in een klein conflict in 1918. Kruyt had toen met zijn promovendus Van der Spek voor het eerst een belangrijke uitbreiding aan de theorie van Freundlich gegeven, door aan diens uitvlokkingmodel een kinetisch deel toe te voegen, waarin de rol van de Brownse beweging werd uitgewerkt. Op een eerste "voorloopige mededeeling" van deze uitbreiding had Woudstra gereageerd met de claim dat hijzelf het belang van de Brownse beweging voor de coagulatie al in 1912 onderkend en genoemd had. Kruyts reactie hierop was echter bijzonder sceptisch - het noemen van een 'factor' was toch wel wat anders dan het incorporeren ervan in een theorie: "Wij erkennen gaarne, dat Dr. Woudstra in 1912 een juiste opmerking heeft gemaakt (...). Maar het louter opmerken dat er tusschen twee dingen wel verband zal bestaan is toch niet hetzelfde als de onafhankelijke uitwerking van dat verband". H.R. Kruyt en Jac. van der Spek, "De Brownsche beweging en het mechanisme van het uitvlokkingproces", *CW* 15 (1918) 808-809, m.n. 809. Zie ook *ibid.* 14 (1917) 950-953. Overigens zou Kruyt hierna voor het eerst wel naar Woudstra's werk verwijzen in: H.R. Kruyt en Jac. van der Spek, "Zur Kenntnis des Flockungsvorganges", *KZ* (1919) 1-20: 7.

wald en Freundlich. Daarin werden niet alleen gegevens verzameld, maar heel duidelijk één gezichtspunt gekozen en systematisch uitgewerkt om de bestaande feiten te ordenen en betekenis te geven. Freundlich had dat in zijn voorwoord zelfs expliciet zo gesteld:

Es könnte (...) bedenklich erscheinen, daß man [die Kolloidchemie] jetzt schon von allgemeinen Gesichtspunkten aus darstellt und sich nicht damit begnügt, das bisher zusammengetragene Material an Versuchen und theoretischen Ideen zu sammeln. Wenn ich es doch versucht habe, so leitete mich dabei eine Gedanke: geht man von gewissen, allgemeinen Gesichtspunkten aus, so tritt klarer zur Tage, was man nach den bisherigen Arbeiten als gewonnenes Land, was als Neuland ansehen muß, und wo man wohl mit größten Aussicht auf Erfolg den Spaten frisch einsetzen soll.⁶⁸

Dit waren zonder twijfel woorden naar Kruyts hart want ze sloten naadloos aan bij de manier van wetenschap bedrijven zoals hij die bij Roozeboom had geleerd. Het lijkt trouwens ook geen toeval dat hij ze te lezen kreeg, want kort voordat hij voor de eerste maal in de trein naar Groningen stapte, had Ernst Cohen het boek van Freundlich aangeprezen om precies dezelfde redenen: wat de *Kapillarchemie* zo aantrekkelijk maakte waren de "algemeene gezichtspunten" die niet alleen de bestaande colloïdchemische kennis ordenden, maar ook voor toekomstig onderzoek aangaven "welke nieuwe banen kunnen worden ingeslagen".⁶⁹ In de jaren die volgden, zou Kruyt dit beeld op zijn beurt zelf weer uitdragen, via lezingen en publikaties waarin hij de colloïdchemie introduceerde bij een breder publiek.⁷⁰ Na zijn overstap trad hij regelmatig met zijn nieuwe vak naar buiten, en hij probeerde zijn toehoorders en lezers er met name van te overtuigen dat de colloïdchemie een weliswaar jong, maar niettemin al volwassen en volwaardig onderzoeksgebied vormde. En zijn belangrijkste argument daarbij was, dat er reeds een omvattende theorie bestond die verder onderzoek mogelijk maakte en kon begeleiden - oftewel, in Kruyts eigen woorden: "dat er algemeene gezichtspunten ontstaan zijn, waardoor wij de gerechtvaardigde hoop mogen hebben ook in dezen tak der physische chemie op den goeden weg te zijn."⁷¹

68. Freundlich (n. 18), *Kapillarchemie*, iii.

69. E[rnst] C[ohen], bespreking van *Kapillarchemie* door Herbert Freundlich, *CW* 7 (1910) 432. In hetzelfde nummer besprak Cohen ook een laboratoriumhandboek van The Svedberg en de pas gestarte *Kolloidchemische Beihefte*, en liet hij zich bijzonder positief uit over de mogelijkheden van de colloïdchemie in het algemeen: "De chemie staat in het teken der kolloïden". Overigens maakte Kruyt vlak voordat hij zich in de *Kapillarchemie* verdiepte ook nog op een andere manier met colloïden kennis, doordat hij bij zijn bezoek aan Gustav Tammann in de zomer van 1910 ook het naastgelegen lab van Richard Zsigmondy aandeed en een dag met hem en bij zijn ultramicroscop mocht doorbrengen. Zie Kruyt (n. 65), "Afscheidscollege", 264.

70. Kruyt gaf onder andere twee lezingen voor het Provinciaal Utrechtsch Genootschap van Kunsten en Wetenschappen, en zorgde ervoor dat ook Freundlich zelf een voordracht kwam houden, op een gezamenlijke bijeenkomst van het PUG en het Utrechtsch Studentencorps. Zie *PUG* (3 juni 1913) 76-77; de teksten van de laatste twee lezingen werden ook gepubliceerd in het *Chemisch Weekblad*: "Over de moderne opvattingen aangaande de stabiliteit van kolloïdale oplossingen" en "Die Adsorption und ihre Bedeutung für chemische und biologische Probleme", *CW* 10 (1913) 524-532 en 772-797. Verder trad Kruyt op voor het Nederlandsch Natuur- en Geneeskundig Congres met "Theorie en methode van het nieuwere onderzoek der disperse stelsels" en schreef hij een bespreking voor *De Indische Mercur*, een blad voor belanghebbenden in Nederlandsch Indië; zie *NGC* 15 (1915) 130-132 en "Moderne kolloïdchemie", *De Indische Mercur* (16 september 1913).

71. Kruyt, "Moderne opvattingen", *ibid.* 532.

Aan het eind van dit hoofdstuk is het goed nog even terug te keren naar de vraag die we ons aan het begin hadden gesteld: waarom schakelde Kruyt na 1910 zo plotseling en rigouzeus over naar het nieuwe werkterrein van de colloïdchemie? We hebben inmiddels verschillende antwoorden op die vraag de revue zien passeren. Ten eerste wilde Kruyt graag stoppen met de fasenleer, dat "al haast klassiek" geworden vakgebied waarin weinig eer meer te behalen viel. Ten tweede stond de colloïdchemie rond 1910 bekend als een buitengewoon veelbelovend nieuw onderzoeksgebied, waarin nog veel werk te doen was maar waarvan al vaststond dat de resultaten grote betekenis zouden hebben voor de fysiologie, de geneeskunde, en voor verscheidene takken van industrie. Ten derde lijkt Cohen het vak te hebben aangeprezen terwijl hij Kruyt later ook alle ruimte bood om colloïdchemisch onderzoek te kunnen verrichten. En tenslotte zag Kruyt zelf daartoe grote mogelijkheden, want in de boeken van Ostwald en met name Freundlich herkende hij een omvattende, "algemeene theorie" die een geschikt uitgangspunt vormde voor het opzetten en uitvoeren van een omvangrijk onderzoeksprogramma. Hoe dat programma zich zou ontwikkelen, wat voor onderzoek precies zou plaatsvinden en welke lijn Kruyt met zijn school zou gaan uitzetten in de colloïdchemie - dat alles is stof voor het volgende hoofdstuk.



Hoofdstuk 4

Kruyts Colloïdchemisch Onderzoeksprogramma

In de vorige drie hoofdstukken hebben we achtereenvolgens kunnen zien welke manier van onderzoek bedrijven Kruyt zich eigen maakte in de leerschool van Bakhuis Roozeboom, hoe hij terecht kwam in de stimulerende omgeving van Cohens Van 't Hoff-laboratorium in Utrecht, en naar wat voor een veelbelovend vakgebied hij als jong onderzoeker overstapte. Al deze ontwikkelingen samen zorgden er voor dat Kruyt zich begin jaren 10 in een zeer geschikte positie bevond om aan een ambitieus programma van nieuwe onderzoeken te beginnen. Aan alle voorwaarden was immers voldaan: Kruyt had een groot en braakliggend werkterrein voor zich liggen, hij wist hoe hij het onderzoek daarvan wilde aanpakken, en hij beschikte over een goed geoutilleerd colloïdchemisch laboratorium, vanaf 1915 zelfs gevestigd op een eigen verdieping. Kruyts vertreksituatie was gunstig en zijn colloïdchemisch onderzoeksprogramma zou, na een wat moeizame start, uitgroeien tot een even omvangrijke als succesvolle onderneming. In de dertig jaar die zijn hoogleraarschap zou gaan duren, leidde Kruyt niet minder dan 62 promovendi op, publiceerde hij meer dan 200 artikelen, en verwierf hij met zijn school een grote internationale reputatie binnen het vakgebied. Al vanaf de jaren 20 stond het Van 't Hoff-lab bekend als één van de belangrijkste centra voor colloïdchemie ter wereld.

Hoe was dit enorme succes tot stand gekomen? In welke richting zou Kruyts programma zich precies ontwikkelen? Wat waren de problemen die hij zijn leerlingen liet onderzoeken en hoe verwerkte hij hun resultaten? Waarnaar streefde Kruyt met zijn onderzoeken en in hoeverre wist hij zijn doel uiteindelijk te bereiken? Al deze vragen zullen beantwoord worden in het nu volgende hoofdstuk, dat een overzicht geeft van het colloïdchemisch werk, zoals dat tussen 1911 en 1946 in het Van 't Hoff-laboratorium verricht werd. Volledigheid is daarbij niet nagestreefd; er zijn, onvermijdelijk en doelbewust, keuzes gemaakt en accenten gelegd. De belangrijkste daarvan is misschien dat de nadruk meer ligt op het onderzoek zelf dan op het afgeronde produkt ervan - meer op de manier waarop het experimenteerwerk werd aangevat, dan op de eventuele eeuwigheidswaarde van de uitkomsten. Het hoofdstuk is geen *review*-artikel waarin de blijvende betekenis van de Utrechtse resultaten gepeild wordt, maar het tracht primair te analyseren hoe Kruyt zijn onderzoeksprogramma probeerde vorm te geven. Zoals in de inleiding al is aangegeven, wil ik niet zozeer een ideeëngeschiedenis presenteren als wel een geschiedenis van wetenschappelijk

onderzoek, en dat gaat beter wanneer we oog hebben voor alle keuzes die onderzoekers maken, dan wanneer we ons bij voorbaat neerleggen bij de onvermijdelijkheid van de uitkomsten van hun werk.¹

Los van deze keuzes en accenten is de opzet van het hoofdstuk grotendeels chronologisch: we beginnen met Kruyts eerste pogingen om de klassieke proeven van Hardy te repliceren en we besluiten met zijn laatste grote colloïdchemische activiteit: de samenstelling en publikatie van het overzichtswerk *Colloid Science*. Maar vóór we overgaan tot de reeks van opeenvolgende onderzoekingen is het goed om even stil te staan bij de belangrijkste trekken van de benadering die Kruyt onveranderlijk en van begin af aan in zijn onderzoek zou toepassen. We hebben in hoofdstuk 3 gezien dat er in het vakgebied uiteenlopende stromingen bestonden en onze eerste vraag hier moet dus ook luiden: wat was Kruyts richting in de colloïdchemie?

1. Kruyts Richting in de Colloïdchemie

Terugblikkend bij zijn afscheid als hoogleraar in 1946 op zijn vroegere overstap naar de colloïdchemie, merkte Kruyt op dat hij aanvankelijk gefascineerd was geweest door de vraag uit hoeveel fasen een colloïdaal systeem bestond, maar dat hij zich al gauw daarna was gaan interesseren voor "zuiver kolloïdchemische problemen".² Deze formulering, die hij niet nader toelichtte, is zowel typerend voor Kruyts stellingname als verhullend ten aanzien van de precieze aard daarvan. Want wat zou men moeten verstaan onder "zuiver kolloïdchemische problemen"? Zoals we in hoofdstuk 3 hebben gezien bestonden er op het moment van Kruyts toetreden vele verschillende stromingen binnen het vakgebied, en wie rond 1910 de zojuist genoemde vraag gesteld had, zou dan ook vele verschillende antwoorden hebben kunnen verwachten. Voor Jacques Duclaux was het zuiverste colloïdchemische probleem ongetwijfeld de opheldering van de chemische samenstelling van colloïdeeltjes, terwijl het voor Wolfgang Ostwald waarschijnlijk zou zijn neergekomen op het identificeren van de verschillende soorten energie die een colloïdaal proces of systeem beheersten. Toch is Kruyts formulering eveneens onthullend voor zijn opstelling, want zij toont dat hij ook zelf een uitgesproken opvatting had van wat de essentiële vraagstukken in zijn vakgebied waren. Bovendien blijkt eruit dat deze opvatting voor hem zo vanzelfsprekend was dat hij die vraagstukken zonder verdere uitleg als "zuiver kolloïdchemisch"

1. In deze taak weet ik mij gesteund door het bestaan van een aantal deskundige overzichten van het Utrechtse colloïdenonderzoek, door zowel Kruyt als zijn leerlingen geschreven, vaak voor speciale gelegenheden; zij vormen een waardevolle bron voor dit hoofdstuk. De belangrijkste zijn: H.R. Kruyt, "Twintig jaar kolloïdchemisch onderzoek in het van 't Hoff-laboratorium te Utrecht", *CW* 29 (1932) 266-267 (dit artikel ontbreekt in de bestaande bibliografie van Kruyt - zie Bronnen en Literatuur); H.J.C. Tendeloo, "Leidende Gedachten in het Kolloïdchemisch Onderzoek van H.R. Kruyt" in: *Hugo Rudolph Kruyt 1908-1933. Ter herdenking van zijn 25-jarig doctoraat* (Amsterdam, 1933) 49-64; H.G. Bungenberg de Jong, "Onderzoekingen aan Lyophiele Kolloïden van H.R. Kruyt" in *ibid.*, 65-110; J.Th.G. Overbeek, "Bij het Aftreden van Prof. Dr. H.R. Kruyt als Hoogleraar in de Physische Scheikunde", *CW* 42 (1946) 246-250; H.R. Kruyt, "Afscheidscollege gehouden op Vrijdag 20 September 1946 in de Collegezaal van het Organisch Chemisch Laboratorium te Utrecht", *CW* 42 (1946) 264-270, m.n. 265-267; H.R. Kruyt, "Colloid Chemistry" in: *Chemistry in Wartime in the Netherlands. A review of the scientific work done by Dutch chemists in the years 1940-1945* (Amsterdam, 1947) hoofdstuk 2, genummerd 1-45.

2. Kruyt (n. 1), "Afscheidscollege", 264.

bestempelde - waarmee alle andere problemen, zoals dat van het aantal fasen, automatisch in een categorie van secundair belang werden ingedeeld.

Kruyts benadering in de colloïdchemie zou achteraf gezien volkomen vanzelfsprekend lijken, en de richting die hij met zijn onderzoek was ingeslagen, leek later, voor eenieder die daaraan had deelgenomen, voor de hand liggend en welhaast onvermijdelijk te zijn geweest.³ Toch waren andere richtingen mogelijk geweest en Kruyts aanvankelijke oriëntatie was, bewust of onbewust, voortgekomen uit een zeer bepaalde keuze. Welke die keuze was, kunnen we opmaken uit de waardering die Kruyt in de beginperiode liet blijken voor het werk van andere colloïdchemici. We weten al dat zijn voorkeur met name uitging naar het werk van Freundlich, en in een bespreking van de tweede editie van diens *Kapillarchemie* maakte Kruyt ook duidelijk waarom.

Freundlich's *Kapillarchemie* is een fysisch-chemische colloïdchemie, ziedaar in enkele woorden geschetst, wat dit boek tot een monument in onze wetenschap maakt en het tevens onderscheidt van alle andere werken op dit gebied. Wij hebben leerboeken der colloïdchemie te over; maar geen enkel tracht zoo consequent het wezen der kolloïde systemen en hun stabiliteitscondities na te speuren als dit; noch algemeen morphologische onderscheidingen, noch chemisch systematiserende indeelingen, noch biochemische vraagstellingen kunnen ons in het hart der kwestie brengen. Alleen de fysisch-chemische probleemstelling kan ons het wezen der kolloïde systemen in hun onderscheid met de ware oplossingen en de uitgegroeide kristallen begrijpelijk maken.⁴

Dat Kruyt een "fysisch-chemische colloïdchemie" prefereerde, zal weinig verbazen, en dat hij Freundlich's "kapillarchemische" benadering zou volgen (met een focus op grensvlakverschijnselen), was ons eveneens bekend. Maar uit het citaat komt ook naar voren op welk probleem Kruyt zijn aandacht vrijwel uitsluitend zou gaan concentreren, namelijk op dat van de "stabiliteitscondities" van colloïdale systemen. Veel meer dan Freundlich beperkte Kruyt zijn interesse tot dat ene vraagstuk, dat ook het object zou gaan worden van het merendeel van zijn onderzoekingen en de hoofdlijn zou gaan uitmaken van zijn gehele programma.⁵ Vanaf zijn eerste zelf uitgevoerde proeven rond 1912 tot aan het werk van zijn belangrijkste promovendi in de jaren 30 en 40 vormde 'colloïdstabiliteit' de centrale problematiek. We kunnen ons ook wel voorstellen waarom Kruyt dit vraagstuk zo belangrijk achtte, want het stabiliteitsprobleem vormt in wezen het hart van de zaak: de

3. Dit gold bijvoorbeeld ook voor één van de eerste chroniqueurs van het Utrechtse colloïdenonderzoek, H.J.C. Tendeloo, die in 1933 ter gelegenheid van Kruyts vijftienvigtiëjarig doctoraat een terugblikkend overzichtsartikel schreef. Tendeloo was zelf een promovendus van Kruyt en voor hem was de richting die zijn leermeester had ingeslagen al zo vanzelfsprekend geworden, dat hij het feit dat deze ooit uit een keuze was voortgekomen vrijwel over het hoofd zag. Volgens Tendeloo had het simpelweg "voor de hand" gelegen dat Kruyt de benadering van Freundlich volgde, en was capillair-elektrisch onderzoek eenvoudig "aangewezen" als aanvullende experimenteermethode. Ook hij sprak van "de theorie Hardy-Schulze-Freundlich" - zie verderop in deze paragraaf. Tendeloo (n. 1), "Leidende Gedachten", 49, 51.

4. H.R. Kruyt, "Twaalf Jaar Kolloïdchemie", *CW* 19 (1922) 554-555: 554.

5. Freundlich besteedde ook veel aandacht aan de stabiliteit van colloïden en daarmee samenhangende onderwerpen, maar zijn focus was minder exclusief. Naast de factoren die het al of niet uitvlokken van colloïden bepaalde, bestudeerde hij ook uitgebreid andere zaken, zoals de vorm en structuur van colloïddeeltjes, de invloed van colloïden en oppervlakken op chemische reacties en de rheologie van colloïdale systemen. Ook verrichtte hij veel onderzoek naar de biologische en industriële betekenis van colloïdale verschijnselen. Voor een overzicht van Freundlich's werk (en leven), zie Wilfried Heller, *Herbert Freundlich. A Biographical Essay in Commemoration of His 100th Birthday* (Detroit, 1980).

vraag waarom colloïden eigenlijk bestaan. Van stoffen valt op thermodynamische gronden te verwachten dat zij zich in combinatie met een oplosmiddel òf volledig oplossen, uitgesplitst tot individuele moleculen of ionen, òf in het geheel niet. Maar bij colloïden leek het uiteenvallen ergens halverwege (op bovenmoleculair niveau) te zijn blijven steken en het was raadselachtig waarom die toestand plotseling stabiel was. Omdat de meeste colloïden uit vrijwel onoplosbare stoffen bestonden leek het met name vreemd dat ze niet direct weer aan elkaar kleefden en uitvlokten.

Het stabiliteitsvraagstuk was, aldus beschouwd, onmiskenbaar van fundamenteel belang binnen de colloïdchemie, maar het feit dat Kruyt zich er onmiddellijk en exclusief op concentreerde lijkt ook verband te houden met zijn achtergrond in de fasenleer. In dat vak draaide het immers eveneens steeds om de voorwaarden voor de stabiliteit van de toestanden die een systeem kon aannemen. Het opstellen van een fasendiagram was in wezen niets anders dan een onderzoek naar de bestaansgrenzen van de fasencombinaties die een stelsel kon vormen en wanneer men die gevonden had was daarmee het einddoel van het onderzoek bereikt. In de fasenleer stond het begrijpen van een systeem gelijk aan het kennen van de stabiliteitscondities ervan en het was voor Kruyt dus heel natuurlijk om ook colloïdale systemen op een dergelijke manier tegemoet te treden. Deze benadering was voor hem zo vanzelfsprekend dat hij haar eigenlijk nooit ter discussie zou stellen en in zijn beschouwingen bewoog hij doorgaans zonder onderbrekingen van "het wezen der kolloïde systemen" naar "hun stabiliteitscondities" - zie het bovenstaande citaat. Overigens zou Kruyt ook zelf wijzen op deze continuïteit in invalshoek tussen zijn oude en zijn nieuwe vakgebied. Hij zou zijn omschakeling naar de colloïdchemie later eens typeren als een overgang van de "phasentheoretische heterogene-evenwichtsleer naar de kapillair-chemische", met andere woorden: in zowel fasenleer als colloïdchemie stond voor Kruyt het heterogene evenwicht, en de voorwaarden daarvoor, centraal.⁶

Met de capillair-chemische benadering en het stabiliteitsvraagstuk waren zowel het perspectief als de focus van het onderzoek bepaald. Maar, zoals we aan het eind van hoofdstuk 3 hebben gezien, had Kruyt ook behoefte gehad aan een enigszins omvattende theorie die als vertrekpunt kon dienen voor nadere onderzoekingen. Aan die voorwaarde was voldaan met wat Kruyt wel "de theorie Hardy-Bredig-Freundlich" noemde, waarmee hij een zekere historische ontwikkelingsgang suggereerde, culminerend in het werk van de laatstgenoemde. Maar hoewel de bedoelde theorie zeker in diens *Kapillarchemie* besproken werd, was Kruyt de enige colloïdchemicus die haar deze naam gaf en ook de enige die haar als 'de' theorie karakteriseerde. Dat komt omdat zij betrekking had op het stabiliteitsvraagstuk en dat vormde bij Kruyt meer dan bij enige andere colloïdchemicus, inclusief Freundlich zelf, het exclusieve aandachtspunt. Kruyt betitelde de theorie ook wel met de twee woorden 'lading en adsorptie', want dat waren de kernbegrippen in de 'Hardy-Bredig-Freundlichse voorstelling'. Op zich was het model heel simpel: colloïden waren stabiel omdat ze elkaar afstootten en ze stootten elkaar af door de lading die ze aan hun oppervlak geadsorbeerd hielden. Deze lading was afkomstig van de ionen van een zogenaamd stabiliserend elektrolyt, waarvan altijd enige sporen in een colloïdale oplossing aanwezig waren. Voegde men echter een extra elektrolyt toe (het 'vlokkend elektrolyt'), dan adsorbeerden de colloïddeeltjes daaruit vooral het tegengesteld geladen ion, waardoor hun oorspronkelijke lading gecompenseerd werd, hun afstoting wegviel en hun stabiliteit verloren

6. H.R. Kruyt, "In Memoriam Dr. Gerald Hildebrand Leopold", *CW* 28 (1931) 619-620: 620.

ging. De mate waarin de deeltjes beide soorten ionen aan hun oppervlakte konden binden werd gegeven door Freundlich's adsorptie-isotherm. Hoewel het model dus betrekkelijk eenvoudig in elkaar stak, vormde het de kern van Kruyts gekoesterde 'theorie' en leverde het het uitgangspunt voor zijn eerste onderzoeken.⁷

2. Eerste Onderzoeken

2.1 *leren experimenteren*

In het cursusjaar 1911/1912, direct na zijn lectoraat in Groningen, verrichtte Kruyt zijn eerste colloïdchemische experimenten. Deze waren meteen al ten nauwste verbonden met de 'Hardy-Bredig-Freundlichse' stabiliteitstheorie en het lijkt er zelfs op dat Kruyt de belangrijkste proeven die aan de totstandkoming van die theorie hadden bijgedragen, nog eens probeerde over te doen - alsof hij de evolutie van de colloïdchemie versneld wilde herhalen. We weten vrij weinig van dit werk (het is vanzelfsprekend niet gepubliceerd), maar het is zeker dat één van zijn herhalingen een klassiek experiment van Hardy betrof, dat als het eerste bewijs gold voor het verband tussen colloïdstabiliteit en de lading op de deeltjes.⁸ Hardy had in 1900 een gezuiverde eiwitoplossing in een kataforesetoestel geplaatst en daar vervolgens elektrolyten bijgedruppeld. Hij vond daarbij dat de beweging van de colloïddeeltjes in het elektrisch veld door die toevoeging vertraagd werd, hetgeen moest duiden op een afnemende netto lading aan hun oppervlak. Op het moment dat de colloïden stil zouden gaan staan, klonterden ze plotseling samen en vlokte de hele oplossing uit. De conclusie uit het experiment luidde onder meer dat de stabiliteit van een colloïdaal systeem verloren ging wanneer de lading van de deeltjes nul werd, een toestand die Hardy het 'iso-elektrisch punt' noemde.⁹

Zo beschreven lijkt dit een eenvoudige proef, maar Kruyts herhaling ervan was niet bijzonder succesvol. Toen hij het experiment overdeed met verschillende elektrolyten vond hij soms al uitvlokking vóórdát de deeltjes stilstonden, dus bij colloïden die blijkbaar nog een lading droegen. Kennelijk leverden de klassieke experimenten geen onverdeelde

7. Zoals de naam aangeeft, was de 'theorie Hardy-Bredig-Freundlich' volgens Kruyt voortgekomen uit drie fundamentele bijdragen. Hardy had met zijn kataforeses-experimenten als eerste de cruciale connectie tussen lading en stabiliteit vastgesteld; Bredig had deze voorstelling vervolgens aangevuld met beschouwingen betreffende de oppervlaktespanning; en Freundlich had het geheel tenslotte gegoten in een afgeronde theorie waarin zijn adsorptie-isotherm het kwantitatieve verband leverde. Zie bijvoorbeeld H.R. Kruyt, "Theorie en methode van het nieuwere onderzoek der disperse stelsels", *NNGC* 15 (1915) 130-132 en ook H.R. Kruyt, *Colloids. A Textbook* (New York en London, 1927) hoofdstuk 11. Later zou Kruyt in plaats van Bredig ook wel Schulze noemen ('de theorie Hardy-Schulze-Freundlich'), die al vóór Hardy de invloed van allerlei elektrolyten op de colloïdstabiliteit in kaart had gebracht. Buiten de Utrechtse school werden dit soort lijnen echter niet altijd gezien. Arthur Müller behandelde in zijn overzichtswerk de "Theorien von Hardy und Bredig" afzonderlijk van de "Theorie von Freundlich" en zag daartussen zelf tegenstrijdigheden. Zie Arthur Müller, *Allgemeine Chemie der Kolloide* (Leipzig, 1907) 144-183.

8. Kruyt beschreef zijn replicatiepogingen pas zes jaar later in een artikel waarin hij het mislukken ervan ook probeerde te verklaren. H.R. Kruyt, "Over de Kritische Potentiaal", *Versl. KAW* 27 (1918) 669-673: 669. In zijn afscheidscollege noemde hij slechts het feit dat hij in het jaar 1911-1912 "alreeds getracht [had] wat kolloïdchemische methoden te leeren". Kruyt (n. 1), "Afscheidscollege", 264.

9. W.B. Hardy, "Eine vorläufige Untersuchung der Bedingungen welche die Stabilität von nicht umkehrbaren Hydrosolen bestimmen", *ZPC* 33 (1900) 385-400.

bevestiging voor de stabiliteitstheorie die zij zelf zouden hebben gegrondvest, maar desondanks gaf Kruyt zijn vertrouwen in die theorie niet zomaar op.¹⁰ Het zal hem vooral duidelijk zijn geworden dat aan replicatie talloze haken en ogen zaten - zeker in de colloïdchemie, waar men niet alleen de proefneming zelf moest zien te reproducieren, maar ook het colloïdale systeem waaraan men die proefneming deed. En het was bijzonder lastig om vast te stellen of men daarin ook inderdaad geslaagd was, helemaal zonder de hulp van de ultramicroscop. Had men dezelfde dispersiteitsgraad bereikt? Bezaten de colloïden dezelfde vorm? Was de verdeling over deeltjesgrootten hetzelfde, en wat was eigenlijk de concentratie van de colloïdale oplossing? Het was dit soort praktische problemen, waarvoor Kruyt als experimentator te staan kwam, maar waarmee hij geen enkele ervaring had. Zijn kennis was afkomstig uit de literatuur en zodoende miste hij de onuitgesproken *know-how* die nodig is voor het succesvol uitvoeren van experimenten.

Misschien was dit één van de redenen waarom Kruyt besloot enige praktijkervaring op te doen in een laboratorium waarin men al enkele jaren colloïdenonderzoek verrichtte, dat door hem ook zeer gewaardeerd werd. In de zomer van 1912 vertrok Kruyt voor een paar weken naar Braunschweig om daar van Freundlich zelf, die hij al eerder persoonlijk had leren kennen op een congres in Giessen, de praktische kneepjes van het vak te leren. Hij concentreerde zich op het werken met de ultramicroscop, die inderdaad veel gebruikt werd voor het controleren van de gemaakte oplossingen. Eén van de kneepjes, die Kruyt op zijn stage waarschijnlijk leerde, was het bepalen van de dispersiteitsgraad van een colloïdaal systeem. Men deed dat door zo vlug mogelijk (idealiter in één ogenblik) de deeltjes te tellen die voor het objectief van de microscoop verschenen en deze telling een flink aantal malen te herhalen. Die snelheid was nodig vanwege de voortdurende Brownse beweging, maar men moest er daarom wel voor zorgen dat steeds een aantal deeltjes zichtbaar werd, dat ook in één oogopslag te tellen viel. Dat kon men doen door de oplossing te verdunnen of door het zichtbare volume met een belichtingsspleet aan te passen. Dat volume (doorgaans een zeer dun 'plakje') moest ook steeds worden gemeten, en na bepaling van de totale colloïdmassa (door uitvlokking, filtratie, droging en weging van het sol) kon men de dispersiteitsgraad van het systeem berekenen, waarbij aangenomen werd dat de soortelijke massa van het colloïd gelijk was aan die van de moederstof. Het waren dergelijke handigheden die men bij een ervaren leermeester natuurlijk veel sneller onder de knie kon krijgen dan wanneer men op eigen houtje ging experimenteren.¹¹

Kruyt keerde als een volleerd colloïdchemisch experimentator van zijn stage in Braunschweig terug en hij was vastbesloten zich vanaf dat moment nog uitsluitend aan de colloïdchemie te wijden en de fasenleer, wat betreft het onderzoek, voortaan te laten voor wat zij was. Zijn Utrechtse chef Cohen stond sympathiek tegenover deze keuze en stelde zelfs een "belangrijk stuk" van het laboratoriumbudget aan Kruyt beschikbaar om het

10. Overigens nam Kruyt zijn oorspronkelijke resultaten wel degelijk serieus en hij zou ze later ook alsnog verklaren door aan te tonen dat Hardy's conclusies geen algemene geldigheid bezaten. Het was uiteindelijk dus toch de theorie die bijstelling behoeft. Zie Kruyt (n. 8), "Kritische Potentiaal".

11. Kruyt gaf (voor het eerst) zelf een beknopte beschrijving van de methode in: H.R. Kruyt en Jac. van der Spek, "Over het verband tusschen grenswaarde en concentratie van arseentrisulfidesolen", *Versl. KAW* 23 (1915) 1104-1109: 1107. Over zijn stage bij Freundlich zie Ernst Cohen, "Hugo Rudolph Kruyt 1908-1933" in: *Hugo Rudolph Kruyt 1908-1933. Ter Herdenking van Zijn 25-Jarig Doctoraat* (Amsterdam, 1933) 21 en Kruyt (n. 1), "Afscheidscollege", 264.

noodzakelijke instrumentarium voor colloïdenonderzoek bijeen te brengen.¹² Het eerste toestel dat Kruyt aanschafte was een ultramicroscoop, want het was hem inmiddels gebleken dat dat een onmisbaar hulpmiddel voor colloïdchemische proefnemingen. Sinds de uitvinding ervan door Zsigmondy en Siedentopf waren verschillende typen commercieel verkrijgbaar en Kruyt koos er daarvan twee uit: een spleet-ultramicroscoop, het oorspronkelijke model dat nog steeds het meest geschikt was voor het routinewerk in het laboratorium, en een cardoïd-ultramicroscoop, die een veel sterkere belichting mogelijk maakte maar minder praktisch was in het gebruik. Naast optische apparatuur voorzag Kruyt zich tevens van een zogenaamde ster-dialysator, om colloïdale oplossingen te bereiden of te zuiveren, een kataforesetoestel, en een opstelling voor experimenten met stromingspotentialen, welke laatste in het Van 't Hoff-lab zelf werd vervaardigd. Al met het ingaan van het cursusjaar 1912-1913 beschikte Kruyt over een "uitstekend geëquipeerd kolloïdchemisch laboratorium" en niets leek hem nog in de weg te staan om nu ook zelf experimentele bijdragen aan zijn nieuwe vakgebied te gaan leveren.¹³

2.2 *het eerste originele onderzoek*

Kruyts eerste originele colloïdchemische onderzoeken verraadden meteen al de onderzoeksaanpak die hij geleerd had en gewend was te volgen: in de bestaande theorie bespeurde hij een hiaat en aan de hand van een voorbeeldsysteem trachtte hij de daaruit voortvloeiende vraagstelling te beantwoorden. Die vraagstelling had in dit geval te maken met de invloed van niet-elektrolyten (stoffen die in oplossing geen ionen vormen) op de stabiliteit van colloïden. Het was Kruyt opgevallen dat de invloed van elektrolyten algemeen werd erkend, maar dat het effect van niet-elektrolyten, waaronder vele stoffen die uitermate sterk adsorbeerden, door de meeste colloïdchemici werd genegeerd of zelfs ontkend. Dit was vreemd, en van "het standpunt der fraaie theorie, door Freundlich ontwikkeld" volgens Kruyt zelfs "ongerijmd". Immers, niet-elektrolyten mochten colloïden dan misschien niet rechtstreeks kunnen doen uitvlokken, ze zouden wel degelijk invloed kunnen hebben op de colloïdstabiliteit door hun eigen adsorptie aan de deeltjes. Want als ze daarbij bijvoorbeeld het stabiliserend elektrolyt verdrongen, dan zou het sol automatisch een stuk gevoeliger worden voor de toevoeging van vlokkende elektrolyten. Die gevoeligheid nu was meetbaar door bepaling van de grenswaarde (de hoeveelheid elektrolyt die nodig was om juist coagulatie te bewerkstelligen) en Kruyt besloot om de verandering van deze grootte te meten bij toevoeging van verschillende niet-elektrolyten. Als voorbeeldsysteem koos hij het veel onderzochte arseensulfidesol, als vlokkingmiddel het tweewaardige bariumchloride, en met verschillende alcoholen in de rol van niet-elektrolyt nam hij de proef op de som. Het bleek dat alle alcoholen steeds de grenswaarde verhoog-

12. Ook na het ingaan van Kruyts hoogleraarschap leefde hij met Cohen steeds "van één pot", hetgeen, zoals beiden herhaaldelijk benadrukten, nooit enige problemen opleverde. Zie bijvoorbeeld H.R. Kruyt, "Ernst Cohen als Directeur van het Van 't Hoff-Laboratorium", *CW* 24 (1927) 477-478: 478 en Cohen (n. 11), "Kruyt", 26.

13. Dat Kruyt de genoemde instrumenten bezat, blijkt uit het feit dat hij ze ter demonstratie meenam naar verschillende voordrachten over zijn nieuwe vakgebied, die hij na zijn overstap hier en daar hield. Zie H.R. Kruyt, "Eenige kolloïdchemische apparaten, speciaal het Kardoïd microscoop", *PUG* (3 juni 1913) 76-77, m.n. 76; en Kruyt (n. 7), "Theorie en Methode", 132. Zie ook Kruyt, "Afscheidscollege", 264. Over werking en gebruik van de hier genoemde instrumenten, zie bijvoorbeeld Kruyt (n. 7), *Colloids*, 57-61, 125-130 en 147 en Herbert Freundlich, *Kapillarchemie. Eine Darstellung der Chemie der Kolloide und verwandte Gebiete* (2e ed.; Leipzig, 1922) 388-389 en 244-245. Overigens was het volgens Freundlich juist de cardoïd-ultramicroscoop die sneller werkte.

den, en wel des te meer naarmate ze sterker adsorbeerden. De conclusie luidde dan ook dat het vlokkend elektrolyt sterker van het deeltjesoppervlak verdrongen werd dan het stabiliserend elektrolyt en, meer algemeen, dat alcohol grote invloed kon uitoefenen op de stabiliteit. Het effect van niet-elektrolyten viel niet langer te ontkennen en Kruyt had een belangrijk hiaat in de stabiliteitstheorie blootgelegd.¹⁴

Om die leemte nader in te vullen besloot Kruyt vervolgens *niet* om hetzelfde experiment te gaan herhalen met een reeks van andere colloïden. Zoals gezegd was arseensulfide voor hem een voorbeeldsol en hij ging er vanuit dat de eraan geconstateerde verschijnselen een zekere algemene geldigheid bezaten. Kruyt koos er *wel* voor om het gevonden effect meer in de diepte te gaan onderzoeken - dat wil zeggen: hij ging proberen om een meer algemeen inzicht te krijgen in de wederzijdse verdringing van de geadsorbeerde stoffen, en besloot daartoe om na te gaan hoe het effect van de alcoholen uitpakte bij elektrolyten van verschillende valentie. Normaal gesproken hing de grenswaarde van ionen direct met hun valentie samen (hoe hoger hun waardigheid des te groter hun vlokkingkracht), maar uit het onderzoek dat Kruyt nu samen met zijn eerste student C.F. van Duin uitvoerde, bleek een totaal afwijkende rangorde. De grenswaarden zelf volgden nog wel de valenties, maar de verandering van de grenswaarden door de toevoeging van alcohol in het geheel niet: bij twee- en vierwaardige ionen bleken zij te stijgen, maar bij één- en driewaardige ionen juist te dalen.¹⁵ Dit merkwaardige effect was met de voorstelling van verdringing van de ionen door het niet-elektrolyt vooralsnog lastig te verklaren. De onregelmatige volgorde had waarschijnlijk meer te maken met de aard van de ionen zelf. Kruyt besloot dan ook om het proces van ionadsorptie nu eerst nader te gaan onderzoeken, en wel met een heel andere methode.

Geheel in de lijn van de 'Kapillarchemie' zou ook Kruyt proberen zijn inzicht in colloïdale verschijnselen te vergroten door onderzoek van macroscopische grensvlakken. Zoals we hebben gezien (zie hoofdstuk 3, paragraaf 6) bestonden daartoe volgens Freundlich vier soorten van capillair-elektrische technieken, en de methode waarop Kruyt zich ging toeleggen was die van de stromingspotentialen. Begin 1914 was de daarvoor benodigde opstelling gereed en Kruyt wendde deze aan om na te gaan welke invloed elektrolyten van verschillende valentie (dezelfde als bij het onderzoek met Van Duin) uitoefenden op de oppervlaktelading van het capillair. Hij mat daartoe de spanning die als gevolg van de vloeistofstroom over de lengte van het buisje ontstond (de stromingspotentiaal) en met een formule van Helmholtz kon hij daaruit de potentiaal over het grensvlak berekenen, en dus de lading van de wand vaststellen. Het bleek dat de elektrolyten die lading, net als bij colloïden, doorgaans verlaagden, maar dat het driewaardige ion van aluminium in die verlaging zozegged doorschoot, en de wand een omgekeerde lading bezorgde. Deze 'poolwissel', zoals Kruyt de omlading noemde, was een significant verschijnsel, en het leek

14. H.R. Kruyt, "De invloed van oppervlak-actieve stoffen op de stabiliteit van suspensioïden", *Versl. KAW* 21 (1913) 1324-1329.

15. H.R. Kruyt en C.F. van Duin, "Der Einfluß kapillaraktiver Stoffe auf suspensioide Hydrosolen", *Kolloidchemische Beihfte* 5 (1914) 269-298. C.F. van Duin, "Der Einfluss kapillaraktiver Stoffe auf die Stabilität eines Arsentrisulfidsols", *KZ* 17 (1915) 123-130. Van Duin was assistent bij de Utrechtse hoogleraar voor organische chemie P. van Romburgh bij wie hij ook zou promoveren op een proefschrift over explosieven. Hij trad na zijn promotie in dienst bij de Munitiefabriek 'Hembrug' bij Zaandam, maar bleef in Utrecht wonen en deed in de vroege jaren 20 nog een enkel colloïdchemisch onderzoek bij Kruyt.

de merkwaardige grenswaardedaling bij driewaardige elektrolyten, die hij met Van Duin had geconstateerd, inderdaad te kunnen verklaren. Want als ook bij colloïddeeltjes een dergelijke omlading plaatsvond, dan zou daardoor het vlokkend elektrolyt de rol van stabiliserend elektrolyt overnemen, en de verdringing dáárvan door het alcohol zou de stabiliteit natuurlijk verlagen. Het effect van de éénwaardige ionen was daarmee nog niet opgehelderd, maar Kruyt constateerde toch met tevredenheid, dat "[d]e hier verkregen resultaten (...) zich goed bij de algemeene theoretische gezichtspunten aan[sloten]."¹⁶

Behalve het verklaren van eerder geconstateerde effecten, bood het omladingsverschijnsel ook aanknopingspunten voor nieuwe onderzoekingen. Zo beredeneerde Kruyt dat men een omlading ook zou moeten kunnen bewerkstelligen met ionen van een lagere valentie die evenwel zeer sterk adsorbeerden. Met behulp van dezelfde inrichting voor stromingspotentialen als voorheen, en door gebruik van het organische elektrolyt p-chlooranilinechloride (dat aan de genoemde specificaties voldeed), vond Kruyt inderdaad bevestiging van deze verwachtingen.¹⁷ Een heel ander fenomeen dat hij met omlading probeerde te verklaren, was dat van de zogenaamde onregelmatige reeksen. Het was bekend dat sommige solen bij toevoeging van lage concentraties elektrolyten uitvlokten, bij wat hogere concentraties niet, en bij nog hogere concentraties weer wel - de stabiliteit volgde een merkwaardig, 'onregelmatig' patroon. Kruyts ervaring in zijn stromingspotentiaalexperimenten was geweest, dat ook de wandlading, bij toevoeging van het aluminium-elektrolyt, eerst was afgenomen, vervolgens van teken was gewisseld en weer toegenomen, om uiteindelijk langzaam tot nul terug te keren - geheel analoog aan het 'onregelmatige' stabiliteitsverloop. Samen met zijn studente H.G. Adriani ging Kruyt nu door middel van vlokkingsproeven na of deze analogie ook werkelijk vol te houden was en wederom vond hij experimentele bevestiging van zijn voorstelling van zaken: ook de onregelmatige reeksen waren binnen het beeld van 'lading en adsorptie' te brengen.¹⁸ Het succes van de capillairchemische benadering was groot en Kruyt constateerde met enige trots dat het Van 't Hoff-laboratorium reeds nu tot de wereldcentra voor capillair-elektrisch onderzoek was gaan behoren.¹⁹

In de eerste jaren na Kruyts omschakeling had zich zo al snel een hele reeks van onderzoekingen gevormd. Er was als vanzelf een soort keten van proefnemingen ontstaan

16. H.R. Kruyt, "Stroomingspotentialen van Electrolyt-oplossingen" en "Elektrische Lading en grenswaarde bij kolloïden", *Versl. KAW* 23 (1914) 252-260 en 260-266: 259. Overigens bleek al gauw dat vierwaardige ionen in nog sterkere mate oplading veroorzaakten, hetgeen weer moeilijker te verenigen was met de met Van Duin gevonden valentievolverde. Op dat probleem is Kruyt echter niet meer teruggekomen.

17. H.R. Kruyt, "Stroomingspotentialen van Electrolyt-oplossingen. (2e mededeeling)", *Versl. KAW* 25 (1917) 1038-1045.

18. H.R. Kruyt en Mej. H.G. Adriani, "Over onregelmatige reeksen", *Versl. KAW* 27 (1918) 658-664. Kruyt en Adriani hadden dit onderzoek al in de zomer van 1917 uitgevoerd, maar de publikatie ervan was "door bijzondere omstandigheden" vertraagd. Kruyts eerste formulering van zijn nieuwe verklaring van onregelmatige reeksen dateerde al uit 1914; zie Kruyt (n. 16), "Elektrische Lading en grenswaarde", 265-266.

19. Het Van 't Hoff-lab was volgens Kruyt vooral het centrum voor stromingspotentiaalonderzoek; de centra voor de overige technieken waren het laboratorium van Freundlich (elektro-endosmose) en dat van Donnan (kataforese). Nog niemand concentreerde zich vooralsnog op de vierde methode (de 'Erschütterungsströme'). H.R. Kruyt, "Nieuwere Onderzoekingen over Kapillair-Elektrische Processen in Verband met de Kolloïdchemie", *CW* 14 (1917) 766-776, m.n. 767.

doordat ieder experiment steeds niet alleen de vooraf bepaalde vraagstelling beantwoordde, maar ook weer nieuwe vragen opriep: de geconstateerde invloed van de niet-elektrolyten leek verklaard te kunnen worden met adsorptie-verdringing. Nader onderzoek dáárnaar toonde een merkwaardige volgorde in de valentie van de ionen. Bij een nauwkeuriger analyse van de invloed van ionen op de lading van een grensvlak bleek het genoemde omladings-effect op te treden. En aan de hand van die omlading, tenslotte, kon Kruyt zowel de vreemde valentievolvergorder als de bekende onregelmatige reeksen in grote lijnen verklaren. De gevolgde aanpak werkte bevredigend en alle resultaten bleken uiteindelijk goed te passen in het oorspronkelijke theoretisch beeld, dat daardoor dan ook tegelijk werd bevestigd en verrijkt. In een vergelijkend overzicht van recente Utrechtse en niet-Utrechtse capillair-elektrische onderzoekingen stelde Kruyt nog eens vast hoe goed de verschillende bevindingen met elkaar harmonieerden. "Het behoeft geen betoog," zo besloot hij het artikel, "dat de uitvlokkingstheorie der suspensoiden (Hardy-Bredig-Freundlich) door deze uitkomsten krachtig wordt bevestigd."²⁰ Die theorie vormde nog steeds de achtergrond van zijn hele onderzoek, en bleef zowel het uitgangspunt als het sluitstuk van alle experimenten uitmaken. Bij geen enkele proef draaide het om de specifieke eigenschappen van het colloïd dat men bekeek, maar altijd ging het om de algemene voorstelling van 'lading en adsorptie', die voor Kruyt de beste verklaring gaf voor de stabiliteit van colloïdale systemen.

2.3 onderbreking en doorbraak

Toch zou de continuïteit van Kruyts onderzoeks-aanpak in de beginperiode ook enigszins geschaad worden doordat het experimenteerwerk enkele malen ingrijpend werd onderbroken. In augustus 1914 brak de Eerste Wereldoorlog uit, en de Nederlandse regering besloot het leger in paraatheid te brengen waarbij ook Kruyt werd opgeroepen. De onvrijwillige overplaatsing van het Van 't Hoff-laboratorium naar een plattelandskazerne beviel hem maar weinig, en bij zijn collega Jorissen beklagde hij zich erover, dat hij zat "gemobiliseerd' d.w.z. weggestopt in deze negorij", waarvandaan contact met vakgenoten zo goed als onmogelijk was geworden.²¹ Naast persoonlijk ongemak betekende Kruyts afwezigheid echter ook dat zijn onderwijs een paar maanden stil kwam te liggen, terwijl de voortgang van het onderzoek verstoord raakte doordat vele studenten eveneens onder de wapenen werden geroepen. Bovendien werd in 1915 begonnen met de grootscheepse verbouwing van het Van 't Hoff-lab (waarbij de extra verdieping werd toegevoegd), en hoewel dit het onderzoek uiteindelijk natuurlijk ten goede zou komen, bracht de bouwactiviteit aanvankelijk een grote onderbreking met zich mee. Het lijkt niet toevallig dat Kruyt precies in deze tijd aan een onderzoek begon dat volkomen afweek van zijn gangbare aanpak - een serie experimenten die niets te maken had met zijn algemene gezichtspunten en volledig draaide om de speciale eigenschappen van één bepaald colloïd. Kruyt startte deze proefnemingen kort na terugkomst uit zijn mobilisatie en zij hadden als onderwerp het

20. *Ibid.*, 776. Kruyt schreef een dergelijk overzicht voor het *Kolloid-Zeitschrift*, en besprak daarin ook al het Utrechtse werk waarover eerder alleen in het Nederlands was gepubliceerd, zoals dat van Van Duin. H.R. Kruyt, "Strömungspotentiale und Kolloidstabilität", *KZ* 22 (1918) 81-98.

21. Kruyt aan Jorissen, Vreeland, 19 oktober 1914 (Archief KNCV, Den Haag). Deze brief lijkt betrekking te hebben op de activiteiten van de zogenaamde 'Lectorenvereniging' waarvan Kruyt en Jorissen beide lid waren, en die streefde naar een betere regeling van het lectoraat. Overigens verzocht Kruyt Jorissen verdere correspondentie voorlopig maar met Th. Strengers (een andere lector te Utrecht) te voeren, want "ik kan toch niets doen."

merkwaardige vanadiumpentoxidesol, dat bijzondere optische gedragingen vertoonde waaronder dubbele breking van het licht. Uitgebreide ultramicroscopische analyse van het colloïd, onder andere in een stromende oplossing en in een elektrisch veld, wees uit dat dat gedrag waarschijnlijk het gevolg was van de speciale vorm van de deeltjes: dunne staafjes die samen vloeibare kristallen konden vormen. Maar hoewel die conclusie op zich interessant was en bijvoorbeeld ook Freundlich zich voor het sol zou gaan interesseren, had zij niets met de stabiliteit van colloïden te maken, en nog minder met de theorie van lading en adsorptie. Het onderzoek betrof in feite een colloïdchemisch curiosum, waarover Kruyt losstaande feiten kon rapporteren. Het lijkt erop dat deze uitzonderlijke interesse voortkwam uit het feit dat Kruyt anticipeerde op mogelijke onderbrekingen van het experimenteerwerk. Het vanadiumpentoxidesol begon de genoemde eigenschappen namelijk pas na enkele maanden te vertonen, en dus kon men het synthetiseren, apart zetten, en te gelegener tijd nader onderzoeken - en dat was ook precies wat Kruyt deed.²²

Kruyt was door schade en schande wijs geworden, want een andere serie proefnemingen, die wel in het licht van de stabiliteitstheorie stonden, had door de "tijdsomstandigheden" abrupt afgebroken moeten worden. "Wij kunnen dus slechts op zeer voorloopige resultaten wijzen", meldde Kruyt en zijn medewerker Jac. van der Spek in februari 1915, en "[n]adere onderzoekingen (...) moeten wij tot vreedzamer tijden uitstellen."²³ Het zou ruim twee jaar duren voor beide onderzoekers het gestaakte werk konden hervatten, maar uiteindelijk zou die tijd het wachten meer dan waard blijken, want de voortzetting zou leiden tot zeer belangrijke resultaten, die 'de theorie Hardy-Bredig-Freundlich' niet slechts bevestigden, maar voor het eerst ook substantieel uitbreidden. De aanleiding voor de experimenten was, wederom, voortgekomen uit het vlokkingsonderzoek met Van Duin uit 1913. Daarin had het verschijnsel zich voorgedaan, dat een sol dat enigermate verdund werd, dezelfde grenswaarde bleef behouden. Dit was vreemd, want men zou verwachten dat als er minder colloïddeeltjes in een volume aanwezig waren, er ook minder elektrolyt hoefde te worden geadsorbeerd. Van der Spek was dit effect vervolgens nader gaan onderzoeken en hij had gevonden dat de grenswaarde soms niet eens gelijk bleef, maar zelfs behoorlijk kon stijgen met afnemende solconcentratie. Dit leek helemaal ongerijmd binnen het beeld van lading en adsorptie, maar de "merkwaardige anomalie" moest, door de onderbreking, onverklaard blijven liggen.

Bij de hervatting van het onderzoek in 1917 brak echter wel ineens het licht door. Kruyt had plots een verklaring voor het vreemde effect gevonden, en hij stuurde onmiddellijk een 'Voorloopige Mededeeling' naar het *Chemisch Weekblad*, met daarbij het verzoek om spoedige publikatie, want "[d]eze beschouwingswijze zit in de lucht en hoewel men zich over prioriteitsvragen niet te druk moet maken, wilde ik toch wel zelf de verklaring van

22. Kruyt had het sol in april 1915 aangemaakt om het pas verder te onderzoeken tussen januari en maart 1916. H.R. Kruyt, "Over het dubbelbrekende sol van vanadiumpentoxyde", *Versl. KAW* 24 (1916) 1664-1670; "Het dubbelbrekende sol van vanadiumpentoxyde", *CW* 13 (1916) 524-525 (dit artikel ontbreekt in de bestaande bibliografie van Kruyt - zie Bronnen en Literatuur); "Über das Vanadiumpentoxydsol", *KZ* 19 (1916) 161-165.

23. Kruyt en Van der Spek (n. 11), "Grenswaarde en Concentratie", 1109.



Figuur 9. Kruyts 'Privaatlaboratorium' in het Van 't Hoff-lab. Anders dan de naam doet vermoeden was deze werkplaats niet het exclusieve domein van Kruyt zelf; de ruimte werd voornamelijk, en in de loop van de jaren meer en meer, door zijn promovendi gebruikt. (Faculteit Scheikunde, Utrecht, J.L. den Boesterd)

een vroeger waargenomen verschijnsel geven, vóórdat een ander er mede komt.²⁴ Kruyts haast is begrijpelijk, want zijn voorstel was niet alleedaags en het voegde een geheel nieuwe dimensie toe aan de oude stabiliteitstheorie. "In onze oudere beschouwingswijze," zo schreef hij samen met Van der Spek, "stelden wij ons op het standpunt, alsof de vlokkingkans [uitsluitend] bepaald wordt door de per deeltje geadsorbeerde hoeveelheid a " (de hoeveelheid vlokkend elektrolyt).²⁵ In de nieuwe voorstelling speelde die hoeveelheid nog steeds een rol maar was er daarnaast een factor bijgekomen, die eveneens werd geacht van doorslaggevende invloed te zijn op de uitvlokking: de 'botsingskans'. Om de deeltjes te laten verkleven leek het immers niet alleen noodzakelijk dat ze elkaar niet meer afstootten, maar ook dat ze elkaar daadwerkelijk in botsingen ontmoetten. De kans daarop hing vanzelfsprekend af van het aantal deeltjes dat in een bepaald volume bijeen was, en zo

24. Kruyt aan Jorissen, 1 oktober 1917 (KNCV-Archief). Jorissen, de redacteur van het *Chemisch Weekblad*, gaf inderdaad gevolg aan Kruyts verzoek. Overigens bleek Kruyt (opnieuw) niet geheel ongevoelig ten aanzien van "prioriteitskrakeel", zoals hij het zelf noemde, toen H.W. Woudstra enige tijd later reageerde op het ingezonden artikel met de claim dat hij al in 1912 daarvan de hoofdzaak had gepubliceerd. Kruyts reactie dáárop is te vinden in: H.R. Kruyt en Jac. van der Spek, "De Brownsche Beweging en het Mechanisme van het Uitvlokkingproces", *CW* 15 (1918) 808-809. Zie ook hoofdstuk 3, noot 67.

25. H.R. Kruyt en Jac. van der Spek, "Het Mechanisme van het Uitvlokkingproces", *CW* 14 (1918) 950-953: 952.

beschouwd zou een geconcentreerd sol dus ook veel vlugger kunnen uitvlokken dan een verdund sol. Maar niet alleen de botsingskans kon variëren, ook wat Kruyt en Van der Spek de 'kleefkans' noemden, stond open voor verandering. In het oude model moesten alle colloïden geheel worden ontladen vóór er verkleving kon plaatsvinden, maar in de nieuwe voorstelling was die drempel minder absoluut. Ook deeltjes met een geringe lading konden zich soms al verenigen en het wegnemen van die lading vergrootte slechts de waarschijnlijkheid dat ze dat bij een botsing ook inderdaad zouden doen. Botsingskans en kleefkans konden elkaar wederzijds aanvullen, en het was om die reden dat de grenswaarde van een verdund sol soms steeg. De verminderde kans op botsing door de lage concentratie moest dan gecompenseerd worden door een verhoogde kans op kleving, en die werd bereikt door verdere ontlading van de deeltjes, oftewel door toevoeging van meer elektrolyt. Aldus kon het merkwaardige verschijnsel dat Van Duin en Van der Spek hadden waargenomen, op een bevredigende manier worden verklaard.²⁶

Maar, hoewel het zeker om dat effect begonnen was, behelsde het nieuwe model natuurlijk veel meer dan een *ad-hoc* verklaring van een enkele waarneming. Met de introductie van begrippen als 'botsingskans' en 'kleefkans' breidde Kruyt de 'theorie Hardy-Bredig-Freundlich' in het algemeen belangrijk uit, met een heel nieuw stelsel van kinetische beschouwingen. Bovendien viel in de door Kruyt geïntroduceerde voorstelling een aantal eerdere observaties van andere colloïdchemici prachtig op zijn plaats. Eén daarvan was een constatering van F. Powis, een medewerker van Donnan, die een paar jaar eerder al experimenteel had vastgesteld dat voor de uitvlokking van een sol volledige ontlading van de colloïden niet noodzakelijk was; er behoefde slechts een zekere 'kritische potentiaal' aan het deeltjesoppervlak te worden bereikt. Dit was nu vanuit Kruyts nieuwe gezichtspunt volkomen begrijpelijk, en het begrip kritische potentiaal kon op fraaie wijze in het nieuwe model worden geïncorporeerd. Wat ook plots begrijpelijk werd, was het falen van Kruyts eigen allereerste kataforese-experiment: in tegenstelling tot wat Hardy had gevonden, konden colloïden immers soms al uitvlokken wanneer zij nog een kleine lading droegen, en zij hoefden zij dus niet *per se* volledig stil te staan in het elektrisch veld.²⁷ Maar het belangrijkste resultaat van de nieuwe uitbreiding was dat de bestaande stabiliteitstheorie erdoor was verrijkt, en dat er een algemeen inzicht was ontstaan in een hele klasse van verschijnselen. De eerste chroniqueur van het Utrechtse colloïdenonderzoek, Kruyts leerling H.J.C. Tendeloo, schreef hierover later:

Eenerzijds bleek van hoe groot belang kennis en onderling verband van botsingskans, kleefkans en grensvlakpotentiaal is, anderzijds hoe verschillende solen toch in onderdeelen een ander gedrag vertoonen, doch door een juiste analyse van deze factoren werd het mogelijk voor de bijzondere gevallen met behulp der algemeene theorie een verklaring te geven.²⁸

26. Van der Spek zou bij Kruyt ook nog onderzoek doen naar het verproces en naar de warmteëffecten van uitvlokking. H.R. Kruyt en Jac. van der Spek, "Bijdrage tot de kennis van het verproces", *Versl. KAW* 27 (1918) 109-117; "Über Flockungswärme", *KZ* 24 (1918) 145-155; "Zur Kenntnis des Flockungsvorganges", *ibid.* 25 (1919) 1-20.

27. F. Powis, "Die Beziehung zwischen Beständigkeit einer Ölemulsion und der Potentialdifferenz an der Öl-Wassergrenzfläche und die Koagulation kolloider Suspensionen", *ZPC* 89 (1915) 186-212; Kruyt (n. 8), "Kritische Potential".

28. Tendeloo (n. 1), "Leidende Gedachten", 54.

3. Twee Getalenteerde Promovendi

Van der Spek was Kruyts eerste assistent geweest en hij werd ook de eerste leerling die bij Kruyt zou promoveren. Op 16 juni 1918 verdedigde hij, met succes, zijn dissertatie *Bijdrage tot de kennis van het uitvlokingsproces*, die in hoofdzaak draaide om de zojuist besproken theorie en experimenten.²⁹ In het assistentschap en als promovendus zou Van der Spek worden opgevolgd door twee in verscheidene opzichten bijzondere studenten, die ook een aantal belangrijke karakteristieken met elkaar deelden. Beiden waren onmiskenbaar bovengemiddeld begaafd, beiden waren hun studie begonnen in de levenswetenschappen maar hadden dat terrein verlaten omdat het in hun ogen exactheid ontbeerde, beiden gingen na hun periode in het Van 't Hoff-lab een glansrijke carrière tegemoet, en beiden eindigden als hoogleraar aan de universiteit van Leiden. Bovendien zouden Anton van Arkel en Hendrik Bungenberg de Jong ook beiden een eigen stempel drukken op het Utrechtse colloïdenonderzoek, waaraan zij omvangrijke bijdragen leverden. Maar in de manier waarop zij die bijdragen invulden, in hun wijze van onderzoek bedrijven, verschilden zij van elkaar, en sloten zij in verschillende mate aan bij de aanpak die Kruyt over het algemeen volgde. Daarom, en natuurlijk omdat de verrichtingen van Van Arkel en Bungenberg de Jong op zichzelf al hoogst relevant waren, is het de moeite waard het onderzoek van beiden wat nader te bekijken.³⁰

3.1 Anton Eduard van Arkel

Van Arkel kwam in het midden van 1918 bij Kruyt werken en zijn onderzoek zou direct aansluiten bij dat van de net vertrokken Van der Spek. Want de nieuwe theorie die naar aanleiding van diens bevindingen was ontwikkeld, verklaarde niet alleen oude feiten, maar opende ook weer mogelijkheden voor nieuwe onderzoeken. Er bestond namelijk een belangrijk en omvangrijk experimenteel hiaat met betrekking tot de nieuwe beschouwingswijze en dat hiaat had te maken met de vlokingskinetiek. Het nieuwe model was immers, in tegenstelling tot het oude, bij uitstek een kinetisch model: het beschreef niet zozeer onder welke omstandigheden uitvlokking wel of niet plaatsvond, maar meer welke factoren de uitvlokingsnelheid vergrootten of verkleinden. In plaats van een absolute drempel, de grenswaarde, draaide het om de veranderlijke grootheden van botsingskans en kleefkans, en zelfs het nieuwe begrip 'kritische potentiaal', zo toonde Kruyt in een aparte be-

29. Jac. van der Spek, *Bijdrage tot de kennis van het uitvlokingsproces*, proefschrift Rijksuniversiteit Utrecht, (Amsterdam, 1918). Van der Spek was tussen september en december 1917 tijdelijk assistent geweest bij Kruyt. Na zijn promotie werd hij aangesteld bij het Derde Rijkslandbouwproefstation (later Bodemkundig Instituut) te Groningen.

30. Van Arkel was begonnen aan een studie medicijnen in Leiden, maar schakelde al tijdens zijn eerste jaar over naar scheikunde in Utrecht. Na zijn promotie werkte hij lange tijd aan het Natuurkundig Laboratorium van Philips in Eindhoven tot hij in 1934 werd aangesteld als hoogleraar Anorganische en Fysische Chemie te Leiden. Bungenberg de Jong (die vóór een naamswijziging in 1922 nog alleen De Jong heette) behaalde zijn kandidaatsexamen biologie in Utrecht en stapte daarna over naar de scheikunde. In 1926 werd hij benoemd op de nieuwe leerstoel Medische Chemie, eveneens te Leiden. E.W. Gorter en F.C. Romeyn, "A.E. van Arkel. On the occasion of his retirement from the chair of inorganic chemistry at Leyden University", *CW* 60 (1964) 297-308. E.J.W. Verwey, "Levensbericht van Anton Eduard van Arkel (19 november 1893 - 14 maart 1976)", *KNAW-Jaarboek 1976* (Amsterdam etc., 1976) 184-192. J.Th.G. Overbeek, "Levensbericht van Hendrik Gerard Bungenberg de Jong (27 mei 1893 - 7 mei 1977)", *KNAW-Jaarboek 1977* (Amsterdam etc., 1977) 158-163.

schouwende verhandeling, gaf niet zozeer een grens aan voor het al of niet coaguleren, als wel een waarde waarboven een bepaalde (afgesproken) coagulatesnelheid werd bereikt.³¹ Nu had Van der Spek in zijn proeven de vlokkiningskinetiek eigenlijk via een omweg benaderd: hij had de solconcentratie (gerelateerd aan de botsingskans) en de grenswaarde (gerelateerd aan de kleefkans) in hun onderlinge samenhang bekeken, maar hij had nooit de uitvlokkiningsnelheid zelf gemeten, laat staan dat hij het proces van de coagulatie in de tijd had gevolgd. Enkele buitenlandse colloïdchemici hadden zich echter wel aan dergelijke experimenten gewaagd en de belangrijkste van hen was Zsigmondy, die het verloop van de coagulatie ultramicroscopisch had geanalyseerd via observatie van de afname van het aantal onverkleefde deeltjes.³² In het kader van de nieuwe theorie lag het voor de hand om de vlokkiningskinetiek ook op zo'n directe manier experimenteel te onderzoeken, en dat is dan ook precies wat Kruyt en Van Arkel zouden gaan doen.

Vóórdat zij aan de echte kinetische experimenten konden beginnen, moesten ze echter een geschikt voorbeeldsol zien te vinden, dat voldeed aan een aantal specifieke eisen. Zo dienden de deeltjes alle goed zichtbaar te zijn onder de ultramicroscop en mochten ze niet teveel in grootte verschillen. Zsigmondy had zijn proeven succesvol ten uitvoer gebracht met het goudsol, en dus lag het voor de hand om daarmee te beginnen. Maar Kruyt stelde meer eisen aan het colloïd dan Zsigmondy, omdat zijn experimenten in het teken stonden van zijn eigen nieuwe theorie, en dus was het zaak om vooraf te controleren of het goudsol ook ten aanzien daarvan wel een typisch voorbeeld leverde. Bij een herhaling van de proeven van Van der Spek, bleek het sol in elk geval ook het verdunningseffect te vertonen, en zelfs in nog veel sterkere mate dan eerder bij arseensulfide was geconstateerd. Maar uit de manier waarop dat effect aan de dag trad, kon Kruyt afleiden dat het goudsol om andere redenen absoluut niet geschikt was voor het beoogde doel. Het bleek namelijk, dat de kleefkans van het goudsol zeer abrupt veranderde bij de toevoeging van elektrolyten - zodanig zelfs dat zij bij een enkel extra druppeltje al zowat van nul naar honderd procent schoot. Het enige uitvlokkiningsproces dat men zodoende met het sol kon bestuderen (en dat Zsigmondy ook had bekeken) was dat waarbij alle deeltjes bij iedere botsing direct verkleefden: de zogenaamde snelle uitvlokking. Op zich was die interessant, maar Kruyt was nieuwsgieriger naar de 'langzame' uitvlokking, waarbij de deeltjes zich niet onmiddellijk verenigden en er nog een zekere balans bestond tussen hun onderlinge afstoting en hun neiging tot verkleving. Kruyts focus lag nog steeds op de 'stabiliteitscondities' van solen, en die kon men beter aftasten als de kleefkans geleidelijk veranderde dan wanneer die meteen al honderd procent werd. Als alle deeltjes onherroepelijk zouden verkleven, dan was er van stabiliteit eigenlijk al helemaal geen sprake meer en onderzocht men, om met Kruyt te spreken, "the dead body of a colloidal solution".³³

31. Kruyt (n. 8), "Kritische Potentiaal"; zie ook H.R. Kruyt, "Sur le Potentiel Critique", *Rec.* 39 (1920) 618-622.

32. R. Zsigmondy, "Über Koagulation und Teilchenkonzentration", *ZPC* 92 (1918) 600-639; A. Westgren en J. Reitstötter (medewerkers van Zsigmondy), "Zur Koagulation grobdisperser Goldhydrosolen", *ibid.*, 750-762. Lottermoser, Freundlich en anderen hadden de vlokkiningskinetiek met minder directe methoden bestudeerd, bijvoorbeeld door de kleurverandering tijdens het uitvlokken te volgen.

33. Kruyt (n. 7), *Colloids*, 114. Voor de herhaling van Van der Speks werk met het goudsol zie H.R. Kruyt en A.E. van Arkel, "Over het verband tusschen grenswaarde en concentratie bij goudsolen", *Versl. KAW* 27 (1918) 665-668 en "Sur la relation entre la valeur limite et la concentration des sols d'or", *Rec.* 39 (1920) 615-617. Over de achtergrond van Kruyts interesse in langzame uitvlokking zie H.R. Kruyt en A.E. van Arkel, "Over

Langzame uitvlokking was wel te bewerkstelligen bij het seleensol en het was dan ook daarmee dat Kruyt en Van Arkel hun kinetische experimenten gingen verrichten. Die waren eigenlijk heel simpel van opzet: aan een buisje gevuld met het sol werd een bepaalde hoeveelheid elektrolyt toegevoegd, en het verloop van de coagulatie werd vervolgens geobserveerd door op gezette tijden het aantal overgebleven deeltjes te tellen. Dat gebeurde overigens niet door één maal langdurig door de ultramicroscopie te kijken (in verband met de voortdurende Brownse beweging was zo'n manier van tellen natuurlijk onmogelijk), maar juist door een flink aantal keren, vijftienvintig maal doorgaans, een snelle blik te werpen en het aantal deeltjes in één oogopslag vast te stellen. Per buisje moest er gemiddeld tussen de vijf en tien keer zo'n serie van tellingen afgewerkt worden (afhankelijk van hoe vlug de uitvlokking voltooid was) en bij elkaar moesten er vele verschillende buisjes worden bekeken, want Kruyt wilde de hoeveelheid en aard van het toegevoegde elektrolyt immers variëren. In totaal verrichtten Kruyt en Van Arkel meer dan tweehonderdduizend tellingen, en om het werk nog enigszins draaglijk te houden, wisselden ze elkaar daarbij af achter de ultramicroscopie. Maar geestverheffend was deze arbeid natuurlijk allerm minst, en Kruyt waarschuwde andere onderzoekers later voor de "very tiresome and rather dull procedure" van het deeltjestellen.³⁴

In het laboratorium hadden Kruyt en Van Arkel zodoende zij aan zij gewerkt maar het lijkt erop dat de laatste wat betreft de theorie meer zijn eigen weg zou zoeken. Want ook op theoretisch gebied leverde Van Arkel substantiële bijdragen, die evenwel wat verschilden van hetgeen zijn leermeester eerder zelf had geproduceerd. Om dit verschil te kunnen appreciëren moeten we teruggaan naar Kruyts doorbraak in september 1917 met betrekking tot de verklaring van het concentratie-effect dat Van der Spek had waargenomen. Die doorbraak was namelijk niet uit het niets ontstaan, maar geïnspireerd door twee theoretisch-fysische artikelen, die kort daarvoor verschenen waren en min of meer toevalligerwijze aansloten bij Kruyts colloïdchemische interesses. Het eerste was een verhandeling van Marian von Smoluchowski, een Poolse theoreticus, die een wiskundig model had opgesteld betreffende hypothetische deeltjes die in Brownse beweging verkeerden en bij hun botsingen aan elkaar kleefden. Het tweede artikel kwam van H.C. Burger, een promovendus en medewerker van L.S. Ornstein, de hoogleraar theoretische natuurkunde te Utrecht. Burger had in zijn verhandeling de vergelijkingen van Von Smoluchowski verder uitgewerkt, onder andere voor het geval waarin de deeltjes niet bij iedere botsing zouden verkleven. Kruyt was zeer onder de indruk van beide artikelen en hoewel een term als 'kleefkans' daar nog niet letterlijk in voorkwam, zal het duidelijk zijn dat hij zijn nieuwe kinetische beschouwingen voornamelijk aan Von Smoluchowski en Burger ontleend had. Een belangrijk verschil met het werk van laatstgenoemden was echter, dat Kruyts theorie vooral een kwalitatief beeld probeerde te geven van de gang van zaken tijdens het uitvlokkingsproces, terwijl Burger en Von Smoluchowski een mathematisch model hadden opgebouwd, uitgaande van een beperkt aantal hypothesen waaruit een heel systeem van

Uitvlokkingsnelheid", *CW* 16 (1919) 220-224, bijvoorbeeld op pagina 221: "de ontwikkeling der kinetiek bij gevarieerde lading zou (...) het begrip der stabiliteitscondities aanmerkelijk kunnen bevorderen."

34. H.R. Kruyt, "The Mechanism of Coagulation" in: Jerome Alexander (ed.), *Colloid Chemistry Theoretical and Applied* (7 dln.; New York, 1926-1950) I, 306-322: 312. Over de keuze van het seleensol, zie Kruyt en Van Arkel (n. 33), "Uitvlokkingsnelheid".

wiskundige vergelijkingen werd afgeleid.³⁵

Ook Van Arkel kreeg interesse voor het werk van Von Smoluchowski en Burger, maar zijn persoonlijke belangstelling lag wat dichterbij de theoretische fysica dan die van Kruyt. Hij vond überhaupt dat zijn scheikunde-opleiding te weinig natuurkunde bevatte en om zich op dit onderdeel bij te scholen ging hij direct te rade bij Ornstein en Burger zelf.³⁶ Die stelden zich welwillend op en hielpen Van Arkel onder meer om het mathematisch bouwwerk van Von Smoluchowski beter te begrijpen en op zijn waarde te leren schatten. Van Arkel raakte dan ook niet zozeer geïnspireerd om met een eigen kwalitatieve voorstelling te komen, maar reproduceerde in zijn proefschrift Von Smoluchowski's model in de oorspronkelijke (zij het wat ingekorte) wiskundige vorm. Ook de kritische kanttekeningen die Van Arkel bij het model plaatste, hadden een zuiver theoretisch karakter. Zijn belangrijkste bezwaar betrof een formule van Von Smoluchowski die de afname van het totaal aantal deeltjes in de tijd beschreef voor het geval dat niet iedere botsing tot verkleefing leidde - een vergelijking voor de langzame uitvlokking dus. Von Smoluchowski had die betrekking echter afgeleid uit een vergelijking voor de snelle uitvlokking, simpelweg door daar een extra vermenigvuldigingsfactor in te bouwen. Deze zet nu, zo liet Van Arkel in navolging van Ornstein en Burger zien, beruiste vanuit theoretisch-fysisch oogpunt op dubieuze gronden. "Voorloopige berekeningen" toonden aan dat de correcte afleiding op geheel andere vergelijkingen zou uitkomen, al was de precieze vorm daarvan nog niet bepaald.³⁷

Van Arkels persoonlijke aanpak kwam echter niet alleen naar voren in de eigen manier waarop hij Von Smoluchowski's theorie verwerkte, maar ook in de wijze waarop hij die theorie vervolgens relateerde aan het experiment. Want anders dan Kruyt, die doorgaans probeerde de leemtes in een theoretische voorstelling 'in te vullen' of de zwakke punten ervan aan te vullen, zocht Van Arkel naar mogelijkheden om de betrekkingen van Von Smoluchowski zo ondubbelzinnig mogelijk te toetsen. Dat deed hij door uit diens theorie grootheden te distilleren, die logischerwijze aan bepaalde criteria zouden moeten voldoen. Zo zou de 'kleefstraal' R , die Von Smoluchowski gebruikte om de onderlinge afstand aan te geven waarbinnen twee deeltjes direct zouden verkleven, onmogelijk kleiner kunnen worden dan de diameter van die deeltjes zelf. En evenzo zou de 'halveringstijd' T (de periode waarna nog maar de helft van de deeltjes was overgebleven) voor iedere uitvlokking een constante moeten zijn en niet in de loop van het proces behoren te veranderen. Om

35. M. von Smoluchowski, "Versuch einer mathematischen Theorie der Koagulationskinetik Kolloider Lösungen", *ZPC* 92 (1917) 129-168; H.C. Burger, "Over de theorie der Brown'sche beweging en de proeven van Brillouin", *Versl. KAW* 25 (1917) 1482. Burger nam Von Smoluchowski's model steeds als uitgangspunt en bouwde daarop voort door er extra condities aan toe te voegen, bijvoorbeeld een wand die de deeltjes adsorbeerde of een krachtveld waarin de deeltjes bewogen. Overigens noemde Kruyt beide artikelen expliciet als zijn inspiratiebronnen; zie Kruyt en Van der Spek (n. 25), "Mechanisme", 951.

36. Zie Verwey (n. 30), "Van Arkel", 185. Burger was Ornsteins eerste promovendus (31 mei 1918) en jarenlang zijn vaste medewerker. Hoewel Ornstein later vooral school zou maken in de experimentele fysica, was hij als leerling van Lorentz van huis uit een theoreticus; in de hier besproken periode bewoog zijn onderzoek zich nog op zijn oorspronkelijke werkterrein: de statistische mechanica. Zie H.G. Heijmans, *Wetenschap tussen Universiteit en Industrie. De experimentele natuurkunde in Utrecht onder W.H. Julius en L.S. Ornstein 1896-1940* (Rotterdam, 1994), met name 45.

37. A.E. van Arkel, *Uitvlokkingssnelheid van het seleenol*, proefschrift Rijksuniversiteit Utrecht (Utrecht, 1920) 24.

na te gaan of aan deze eisen ook werkelijk voldaan werd, nam Van Arkel vervolgens de gegevens uit zijn kinetische experimenten (het getelde aantal deeltjes op vaste tijdstippen) en berekende daaruit de waarden voor R en voor T . Het bleek dat die alleen aan de verwachtingen voldeden voor de solen waaraan de grootste hoeveelheden elektrolyt waren toegevoegd - ergo: wanneer er snelle uitvlokking plaatsvond. In alle andere gevallen veranderde steeds de halveringstijd, en bleek ook de gevonden waarde van R kleiner dan de doorsnede van de deeltjes. Dat laatste wees erop, zo liet Van Arkel zien, dat de onderlinge afstoting van de colloïden nog niet geheel verdwenen was, met andere woorden: dat men inderdaad te maken had met langzame uitvlokking. Van Arkel concludeerde dan ook aan het slot van zijn proefschrift, dat Von Smoluchowski's vergelijkingen de snelle coagulatie bevredigend beschreven, maar voor de langzame coagulatie vooralsnog tekort schoten.³⁸

Kruyt had grote waardering voor de verrichtingen van zijn promovendus en hij nam diens conclusies over in zijn colleges en later in zijn leerboek.³⁹ Maar de betekenis van Van Arkels werk voor het Utrechtse onderzoeksprogramma bleef uiteindelijk toch beperkt. Het werk aan de vlokkinngskinetiek kwam na zijn promotie (op 1 juli 1920) volkomen stil te liggen en het zou bijna tien jaar duren voordat Van Arkels bijdragen weer opgepakt werden en een vervolg kregen in nadere onderzoekingen. Wellicht dat het geestdodende karakter van de kinetische experimenteermethoden bij dat uitstel een rol speelde, maar er zijn ook serieuzere redenen aan te wijzen voor het stopzetten van het kinetisch onderzoek. Want wat Van Arkel als resultaat van zijn werk had achtergelaten maakte het voor Kruyt nagenoeg onmogelijk om nieuwe onderzoekingen op te zetten, omdat het uitgangspunt daarvoor was weggenomen - en wel op twee fronten tegelijk. Ten aanzien van de snelle coagulatie was de theorie van Von Smoluchowski immers afdoende gebleken, en op dat gebied (dat toch al niet het interessantste was) stonden dus geen vragen meer open. Maar met betrekking tot de langzame coagulatie kon er evenmin verder worden gewerkt omdat op dat terrein Von Smoluchowski's beschouwingwijze volledig was verworpen. Kruyt had ook hier dus geen theorie meer ter beschikking waaruit hij zinvolle onderzoeksvragen kon afleiden die konden dienen als vertrekpunt voor nieuwe experimenten. Toen hij het kinetisch onderzoek uiteindelijk wel voortzette, in de herfst van 1929, was dat dan ook alleen omdat zich op dat moment een volledig nieuwe theorie voor de langzame uitvlokking had aangediend. Aan de hand van die 'Arbeitshypothese' zou zijn toenmalige student E.F. de Haan opnieuw de kinetiek van het seleensol bekijken, en ditmaal met bevredigender resultaat.⁴⁰

38. *Ibid.*, hoofdstuk 3, 4, 5 en 7. Van Arkel verrichtte in zijn proefschrift ook enige theoretische berekeningen aan de concentratieschommelingen in een sol (een onderwerp dat aansloot bij de statistisch-mechanische interesses van Ornstein en Burger), en hij besteedde aandacht aan een nieuwe ultramicroscopische katoforesemethode die hij met Kruyt had ontwikkeld. Zie ook H.R. Kruyt en A.E. van Arkel, "Eine Methode zur ultramikroskopischen Messung der katoforesischen Geschwindigkeit", *KZ* 32 (1923) 91-95.

39. Kruyt (n. 7), *Colloids*, hoofdstuk 7.

40. H.R. Kruyt en E.F. de Haan, "Ueber die sogenannte 'langsame' Koagulation", *KZ* 51 (1930) 61-65, m.n. 61. Kruyt refereerde in dit artikel direct aan het eerdere werk met Van Arkel en het negatieve resultaat daarvan met betrekking tot de langzame vlokking: "ich glaube aber jetzt dafür eine Arbeitshypothese geben zu können und außerdem einige Belegversuche, welche diese Hypothese stützen." De hypothese was overigens - typerend genoeg - geen nieuw wiskundig model à la Von Smoluchowski, maar een kwalitatief beeld in de lijn van Kruyts eerdere

3.2 Hendrik Gerard Bungenberg de Jong

Van Arkel had de theorie waarvan hij was uitgegaan regelrecht getoetst, en dat sloot misschien aan bij de werkwijze van Ornstein en Burger maar het paste niet goed in Kruyts programma. Immers, het resultaat van de toetsing was óf bevestiging óf verwerping van de theorie, en in beide gevallen bleef er geen aanknopingspunt meer over om nog verder te experimenteren. Een onderzoek waarvan de opzet zich veel beter verhiel met Kruyts gebruikelijke aanpak, was dat van Van Arkels opvolger Bungenberg de Jong. Diens werk zou na zijn promotie ook niet worden stopgezet, maar juist het startpunt gaan vormen van een traditie in de Utrechtse colloïdchemie die nog jarenlang zou worden voortgezet. Al direct erna zou zelfs een hele reeks studenten en promovendi de onderzoeken in nagenoeg dezelfde vorm herhalen, voor een groot aantal andere colloïden dan aanvankelijk was onderzocht. Bij deze reeks sloot zich ook Bungenberg de Jong zelf weer aan, want Kruyt was zo sterk onder de indruk van zijn prestaties, dat hij zich had beijverd om hem nog enkele jaren aan het Van 't Hoff-lab verbonden te houden - hetgeen gelukt was via een speciale positie aan het Nederlandsche Visscherij-Proefstation, een paar panden verderop. Maar ook toen die aanstelling weer was afgelopen en vooral nadat Bungenberg de Jong in 1926 hoogleraar was geworden in Leiden, bleef Kruyt met zijn leerling samenwerken, en in buitenlandse lezingen presenteerde hij het Utrechtse en het Leidse werk soms alsof het voortkwam uit één gezamenlijk streven.⁴¹ Hoe goed Bungenberg de Jongs onderzoeken aansloten bij Kruyts programma en hoezeer zijn werkwijze overeenkwam met de aanpak van zijn leermeester blijkt echter het duidelijkst uit het promotie-onderzoek zelf.

Net als bij het werk van Van Duin, van Van Arkel en vijwel alle tussenliggende onderzoeken, was de vraagstelling voor het project van Bungenberg de Jong voortgekomen uit een hiaat in de theorie. Alleen betrof het ditmaal niet een lacune die was overgebleven uit een voorafgaand onderzoek, maar een grote leegte ten aanzien van het stabiliteitsvraagstuk die eigenlijk al van begin af aan bestaan had. Want de theorie Hardy-Bredig-Freundlich, ook nadat zij was uitgebreid met Kruyts eigen kinetische beschouwingen, had slechts gegolden voor een deel van de colloïden. Lading en adsorptie definieerden niet het stabiliteitsmechanisme voor alle colloïdale systemen, maar alleen voor die van de

voorstellingen. Zij kwam kort gezegd hierop neer: colloïddeeltjes verliezen hun lading niet gelijkmatig, maar sommige plekken op hun oppervlak raken eerder ontladen dan andere. De deeltjes zullen aan die ongeladen plaatsen verkleven en hun geladen plekken zullen zich meer naar buiten keren, zodat verdere verkleving bemoeilijkt wordt en de uitvlokkingsnelheid daalt. Dit beeld verklaarde de toenemende 'halveeringstijd', die Van Arkel had gevonden, en werd ook bevestigd door De Haan, die de toename van de deeltjeslading kataforetisch aantoonde. Het idee van het ongelijkmatige verlies van stabiliteitsfactoren was Kruyt overigens al in 1927 ingegeven door Bungenberg de Jong, die het zelf met betrekking tot het gelatineringsproces had geformuleerd; zie H.R. Kruyt, "La stabilité des colloïdes. I", *Revue Générale des Colloïdes* 6 (1928) 118-133: 132-133.

41. Zie bijvoorbeeld H.R. Kruyt, "Nouvelles recherches sur les Colloïdes", *Bulletin de la Société Chimique de Belgique* 43 (1934) 559-596. Dit artikel bevatte twee lezingen ("La Couche Double" en "Sur la Coacervation") die Kruyt op 26 en 27 februari in Brussel had gehouden en waarin hij terugblikte op de recente verworvenheden van het colloïdenonderzoek in Utrecht én Leiden. Hij ging zelfs uitgebreid in op Bungenberg de Jongs eigen, langlopende serie onderzoeken naar het verschijnsel van de complex-coacervatie. Overigens werkten Kruyt en zijn voormalige promovendus in de periode rond 1930 veel en intensief samen en bespraken ze hun nieuwste resultaten of onderzoeksideeën. Een voorbeeld daarvan zagen we al in de 'Arbeitshypothese' voor het onderzoek naar de langzame vlokking. Een ander gezamenlijk ontwikkeld concept was dat van de coacervatie: de afscheiding van druppeltjes zeer geconcentreerde colloïdale oplossing uit een hydrofiel sol, waarvoor Kruyt en Bungenberg de Jong in 1929 samen een verklaring opstelden. Dit komt verder ter sprake in paragraaf 5.

suspensoiden - voor de solen van goud, arseensulfide en seleen, maar niet voor die van cellulose, rubber en gelatine. Bij de systemen van de laatste klasse, de emulsoïden, was het namelijk niet primair de geadsorbeerde lading die ervoor zorgde dat de deeltjes niet uitvlokten, maar leek er een andere factor te zijn die in hoofdzaak verantwoordelijk was voor hun stabiliteit. Die factor werd al enigszins aangeduid door de alternatieve naam voor emulsoïden: 'hydrofiele colloïden' - een term die uitdrukte dat hun deeltjes een grote hoeveelheid water aan zich gebonden hielden (in tegenstelling tot die van de suspensoiden of 'hydrofobe colloïden'). Die watermantel nu zou hun onderlinge verkleving in de weg staan, en hoewel de lading en andere factoren wellicht ook een bijdrage leverden, was het duidelijk dat de 'hydratatie' van de deeltjes (de gevormde watermantel dus) een hoofdrol speelde in de stabiliteitscondities van emulsoïden.⁴²

Kruyt geloofde echter niet dat hydratatie de enige factor kon zijn. Hij was er steeds van overtuigd geweest dat de suspensoiden min of meer model konden staan voor de emulsoïden, en dat de stabiliteitsvoorwaarden van de laatste niet zozeer fundamenteel verschilden van die van de eerste, maar bovenal een graad ingewikkelder waren. Met andere woorden: de bestaande stabiliteitstheorie voor hydrofobe colloïden (lading en adsorptie) zou ook kunnen gelden voor de hydrofiele colloïden, alleen moest zij daarvoor met een extra factor worden uitgebreid (de hydratatie). Voor die uitbreiding achtte Kruyt nu tegen 1920 de tijd rijp, want hij vond dat de suspensoiden door de bestaande theorie inmiddels wel op een bevredigende manier werden beschreven: het moment was gekomen om de aandacht te gaan richten op de emulsoïden.⁴³ We moeten de gewaagdheid en de grootte van die stap overigens niet onderschatten, want de hydrofiele colloïden vormden met elkaar een gigantisch onderzoeksterrein, dat ook al zeer vaak en vanuit de meest uiteenlopende invalshoeken was bekeken. Bovendien was de verscheidenheid aan emulsoïden nog veel groter dan die onder de suspensoiden, en solen als die van kiezelzuur, rubber en albumine leken op het eerste gezicht weinig met elkaar gemeen te hebben. Het kwam er dus weer op aan een geschikt voorbeeldsysteem te kiezen, en dat is dan ook het eerste waaraan Kruyt en Bungenberg de Jong zouden werken. Het meest voor de hand lag het sol van gelatine, dat misschien wel het bekendste emulsoïd was en dat Kruyt ook in zeer zuivere vorm in handen kon krijgen via zijn contacten met de Delftse Lijm- en Gelatinefabriek, waar hij sinds 1918 'wetenschappelijk adviseur' was. Maar het bezwaar van gelatine was dat het als eiwit verschillende zure en basische vormen aan kon nemen, en dat het via chemische reacties van lading kon verwisselen - het vormde al met al dus een nogal veranderlijk en ingewikkeld onderzoeksobject. Omdat Kruyt en Bungenberg de Jong alleen "zuiver kolloïd-chemische toestandsveranderingen" wilden bestuderen, kozen zij dan ook liever voor een colloïd dat van zichzelf neutraal was en dat in zijn eenvoud wat dichter stond bij de suspen-

42. Voor een vroege uiting van het vermoeden dat de hydratatie de stabiliteitscondities van hydrofiele colloïden beheerste, zie H.R. Kruyt, "De betekenis der kolloïdchemie voor andere wetenschappen", lezing voor de Nederlandsche Chemische Vereniging op 26 april 1919, CW 16 (1919) 697-702, m.n. 699-700 (dit artikel ontbreekt in de bestaande bibliografie van Kruyt - zie Bronnen en Literatuur).

43. Zie onder andere Kruyt (n. 1), "Afscheidscollege", 265 en H.R. Kruyt, "La stabilité des colloïdes. II", *Revue Générale des Colloïdes* 6 (1928) 149-160, m.n. 151. Het vermoeden dat het gedrag van suspensoiden model kon staan voor dat van de emulsoïden sprak Kruyt ook uit in zijn kolloïdchemisch college; zie Bungenberg de Jong (n. 1), "Onderzoekingen aan Lyophile Kolloïden", 67.

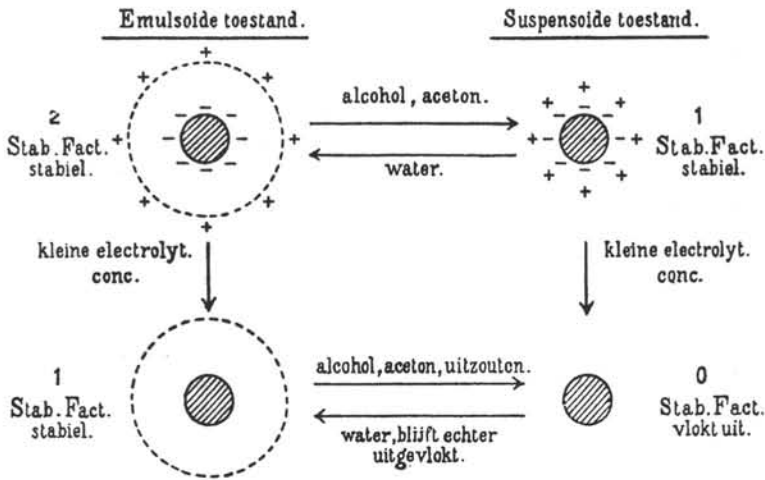
soïden. Na enig speurwerk kwamen zij uit op het koolhydraat agar-agar, of kortweg: agar.⁴⁴

Bungenberg de Jong had zodoende een geschikt onderzoeksobject in handen (het agarsol), een duidelijke vraagstelling (wat zijn de stabiliteitsvoorwaarden voor hydrofiele colloïden) en een bruikbare werkhypothese (deeltjeslading en hydratatie). Zijn vertrek-situatie was gunstig, maar dat hij zijn omvangrijke taak tot een goed einde wist te brengen, lag ook in niet geringe mate aan de manier waarop hij het onderzoek aanpakte. Niet alleen verrichtte hij een massa proeven en verkreeg hij zeer hoopgevende resultaten, hij wist die uitkomsten ook aaneen te smeden tot een dissertatie die meer weg had van een monografie over hydrofiele colloïden dan van een standaard-proefschrift uit deze periode. Het boek volgde ook niet de gangbare opbouw met een theoretische inleiding, een groot middendeel over de experimentele verrichtingen en een conclusie, maar het vormde in feite één doorlopende verhandeling waarin in ieder hoofdstuk een volgende claim werd hardgemaakt. Bungenberg de Jong had zijn hoofdvraagstelling namelijk opgedeeld in een reeks van deelproblemen, en elk hoofdstuk behandelde zo'n deelprobleem - vanuit zijn eigen beperkte vraagstelling, aan de hand van een eigen stel experimenten, en uitmondend in een eigen deelconclusie. Ieder van die conclusies bracht de slotsom weer een schrede dichterbij, en zo werkte Bungenberg de Jong stap voor stap, maar onstuitbaar, naar het grote einddoel: de incorporering van de hydrofiele colloïden in een algemene stabiliteitstheorie.⁴⁵

Bungenberg de Jongs opdeling van het hoofdprobleem was even simpel als doelmatig. Het uiteindelijke streven was aan te tonen dat de stabiliteit van emulsoïden beheerst werd door zowel hun lading als hun hydratatie, en dat gaf dus al aanleiding voor een eerste tweedeling. De laatstgenoemde factor, de hydratatie, was het gemakkelijkst te onderzoeken, want men kon de watermantel vrij eenvoudig manipuleren door het toevoegen van een dehydraterend middel, zoals alcohol. De invloed van de eerste factor, de lading, was moeilijker na te gaan, maar ook hier trachtte Bungenberg de Jong de kwestie te reduceren tot een serie van kleinere deelproblemen die één voor één opgelost zouden moeten worden. De grootste moeilijkheid bestond daarin, dat het niet direct duidelijk zou worden of een eventuele lading werd weggenomen door de adsorptie van elektrolyten, net als bij hydrofobe colloïden het geval was. Het verdwijnen van de deeltjeslading zou namelijk niet

44. H.G. de Jong, "De invloed van electrolyten op de viscositeit van agar-solen", *NNGC* 18 (1921) 96-98, m.n. 96 (Bungenberg de Jong hield zijn lezing op 2 april). Het "célèbre sol de gelatine" had Kruyt leren kennen via zijn contacten met de Lijm- en Gelatinefabriek Delft, sinds 1918. Dit bedrijf produceerde zeer hoogwaardige gelatine bedoeld voor voedingsdoeleinden en voor fotografische emulsies. Eerdere studies onder Kruyts collega-hoogleraar in de fysiologie Zwaardemaker overtuigden hem er echter van dat het gelatinesol te ingewikkeld was om mee te beginnen. In een latere fase van het onderzoek zou hij er alsnog naar terugkeren. Zie Kruyt (n. 43), "Stabilité II", 151 en "N.V. Lijm- en Gelatinefabriek 'Delft'", *CW* 25 (1928) 421. Volgens een alternatieve lezing zou Kruyt overigens tot de studie van agar zijn gekomen omdat hij het aanvankelijk in gelvorm had willen gebruiken als model voor biologische membranen. Zie Overbeek (n. 30), "Bungenberg de Jong", 158.

45. Hendrik Gerard de Jong, *Het Agarsol. Bijdrage tot de kennis van den emulsoiden toestand*, proefschrift Rijksuniversiteit Utrecht (Utrecht, 1921).



Figuur 10. De gehele colloïdchemie in één beeld samengevat. In deze figuur, afgedrukt aan het eind van zijn proefschrift, gaf Bungenberg de Jong de stabiliteitscondities voor hydrofiële én hydrofobe colloïden. Linksboven een emulsioïd deeltje met oppervlaktelading en een watermantel (aan de buitenkant daarvan tegenlading van ionen uit de oplossing); rechtsboven hetzelfde deeltje na dehydratie; linksonder het deeltje nog mét watermantel, maar ontladen; en rechtsonder het volledig gedestabiliseerde colloïd. Op suspensioïden waren alleen de twee rechter toestanden van toepassing. Kruyt zou deze figuur in vele publikaties overnemen.

(Hendrik Gerard de Jong, *Het Agarsol. Bijdrage tot de kennis van den emulsioïden toestand*, proefschrift Rijksuniversiteit Utrecht (Utrecht, 1921) 85)

blijken uit de uitvlokking van het sol, want hydrofiële colloïden bezaten immers die dubbele bescherming. Maar hier werd uitkomst geboden door een formule van Von Smoluchowski - niet één over vlokkiningskinetiek ditmaal, maar een vergelijking betreffende de viscositeit. Von Smoluchowski had namelijk afgeleid dat de lading van deeltjes in eerste benadering evenredig was met de viscositeit van hun oplossing, en dit "elektro-viskeus effect" maakte het dus mogelijk om de lading te bepalen via viscositeitsmetingen.⁴⁶ Nu was daarmee de zaak nog niet meteen opgelost, want voor dergelijke experimenten moest men over een betrouwbare viscosimeter kunnen beschikken, en die instrumenten waren nog al eens onderwerp van twijfel. Bovendien diende het agarsol, dat al gauw een enigszins slijmerige vloeistof begon te worden, wel een normaal en regelmatig viskeus gedrag te vertonen, want anders hadden viscositeitsmetingen überhaupt geen zin. Dergelijke obstakels vormden echter een goed handelbare reeks van onderzoeksproblemen, die Bungenberg de Jong achtereenvolgens kon gaan aanpakken.

46. Kruyt zou later zeggen dat het elektro-viskeus effect Bungenberg de Jong en hem "om zoo te zeggen, in den schoot viel", want het effect bood onverwacht uitkomst bij de anders vrij lastige ladingsbepaling van hydrofiële colloïddeeltjes. Zie H.R. Kruyt, "Problemen der Hedendaagsche Kolloïdchemie VI. De hydratatie der hydrofiële kolloïden", *CW* 27 (1930) 160-163: 161. Overigens was Von Smoluchowski's vergelijking gebaseerd op een formule van Einstein die het verband aangaf tussen de viscositeit en de grootte van de deeltjes, en waaraan Von Smoluchowski een ladingsfactor had toegevoegd. De resulterende betrekking stond dan ook beter bekend als de formule van Einstein-Smoluchowski.

De eerste taak waar hij zich voor geplaatst zag, was te zorgen voor een nieuw soort viscosimeter waarvan een eventuele systematische fout ook goed en nauwkeurig viel vast te stellen. Bungenberg de Jong liep de beschikbare types kritisch na, kwam zelf met een verbeterde versie, en vroeg de instrumentmakerij van het Van 't Hoff-lab om zijn ontwerp uit te voeren, hetgeen geschiedde.⁴⁷ De tweede stap was de viskeuze eigenschappen van het agarsol te controleren. Dé examentest voor normaal gedrag op dit gebied was de zogenaamde wet van Poiseuille, die een verband aangaf tussen de doorstromingsnelheid van een vloeistof, het hoogteverschil in de viscosimeter en een flink aantal andere grootheden die zich regelmatig tot elkaar dienden te verhouden. Vroegere onderzoekers hadden geconstateerd dat agar niet aan deze vereisten voldeed, maar Bungenberg de Jong wist nu aan te tonen dat dat slechts aan de gekozen omstandigheden had gelegen. Wanneer het sol namelijk te sterk geconcentreerd was en vooral wanneer het te koud werd, dan begon het al enigszins te gelatineren. Als men de concentratie en temperatuur echter op het goede niveau hield, dan kon dat gemakkelijk worden voorkomen en voldeed het agarsol prima aan de voorwaarden van Poiseuille. "Viscositeitsmetingen hebben dus wel degelijk zin", concludeerde Bungenberg de Jong dan ook met voldoening aan het eind van het betreffende hoofdstuk.⁴⁸

Deze laatste zekerheid maakte het nu ook mogelijk om de volgende en eerste belangrijke stap te zetten: het aantonen van lading en ladingsadsorptie bij het sol van agar. De viscositeit gaf immers informatie over de elektrische lading van de deeltjes, en hoewel Von Smoluchowski's formule niet exact leek op te gaan (de agardeeltjes waren betrekkelijk groot en dit zou afwijkingen geven), kon Bungenberg de Jong wel op een evenredigheid in grote lijnen vertrouwen. Uit een lange reeks van experimenten kwam nu naar voren, dat de agardeeltjes negatief geladen waren, dat ze door toevoeging van elektrolyten werden geneutraliseerd, dat de kationen daarbij bepalend waren, en dat de volgorde van de invloed van die ionen geheel overeenkwam met hetgeen bij hydrofobe colloïden of grensvlakken doorgaans werd gevonden. Het verloop van de viscositeit bij elektrolyttoevoeging bleek zelfs curves op te leveren die precies leken op de lading-concentratie-krommen die Kruyt eerder op grond van stromingspotentiaalexperimenten had kunnen opstellen. De hydrofiele agardeeltjes gedroegen zich, kortom, volkomen analoog aan hun hydrofobe tegenhangers, zoals arseensulfide, selen en goud, en hun incorporering in de stabiliteitstheorie was een flink stuk dichterbij gekomen. Halverwege zijn dissertatie liet Bungenberg de Jong die conclusie dan ook met vetgedrukte letters vastleggen: "Uit de vorige proeven kunnen wij dus besluiten, dat de **electrische eigenschappen van het typisch emulsoïde agarsol dezelfde zijn als die, welke men bij de typische suspensoiden aantreft.**"⁴⁹

Er hoefde nu nog maar één stap gezet te worden en die betrof het onderzoek naar de hydratatie als stabiliteitsfactor. Bungenberg de Jong kon de watermantel verwijderen door grote hoeveelheden alcohol aan het sol toe te voegen, en de resultaten die dat opleverde waren nog mooier dan die van de vorige experimenten. Het bleek namelijk dat agar in gedehydrateerde vorm alle eigenschappen bezat van een hydrofoob colloïd: het gaf een

47. De Jong (n. 45), *Agarsol*, hoofdstuk 2.

48. *Ibid.*, hoofdstuk 3: p. 30. Voor een beschrijving van de bredere betekenis van deze bevestiging zie H.R. Kruyt, "Lyophile Kolloide und das Poiseuille'sche Gesetz", *KZ (Zsigmondy Festschrift)* (1925) 218-230.

49. De Jong (n. 45), *Agarsol*, hoofdstuk 5: p. 64 (vet van Bungenberg de Jong).

scherp ultramicroscopisch beeld, het vlokke uit bij toevoeging van kleine hoeveelheden elektrolyt, het had een veel lagere viscositeit dan voorheen, en het gelatineerde niet langer bij afkoeling. Met andere woorden: het emulsoid agar gedroeg zich in wezen niet anders dan een suspensoid met een watermantel, en lading en hydratatie gaven het onafhankelijk van elkaar zijn stabiliteit - pas wanneer beide werden weggenomen vlokke het sol uit. Bungenberg de Jong vatte deze uitkomsten samen in een afbeelding die de twee factoren simpel weergaf (Figuur 10), en hoewel hij die figuur nog alleen voor het agarsol toelichtte, verhulde hij niet lang meer de bredere betekenis van zijn resultaten. Reeds op de volgende bladzijde kwam hij met een "Algemeene Stabiliteitstheorie der Hydrosolen". Hij had elk obstakel overwonnen en het gestelde einddoel was bereikt.⁵⁰

Kruyt was zeer onder de indruk van Bungenberg de Jongs "meesterlijke dissertatie", en hij liet hem, op 6 juni 1921, *cum laude* promoveren. Zijn leerling had dan ook een uitzonderlijke prestatie geleverd. Bovendien had hij dat gedaan op een manier die goed aansloot bij Kruyts eigen onderzoeksaanpak. Door het hoofdprobleem op te splitsen in verschillende deelproblemen, had hij zijn omvangrijke oorspronkelijke opdracht teruggebracht tot enkele goed uitvoerbare kleinere projecten, en elk daarvan had hij doelgericht en efficiënt ten einde gebracht. Geen enkel experiment was uitgevoerd louter met de bedoeling om gegevens te verzamelen, maar iedere proefneming had steeds in het teken gestaan van de theorie en haar beoogde uitbreiding. Aan de andere kant had Bungenberg de Jong zijn proeven ook weer niet ondernomen om de hypothese van lading en hydratatie rigoureuus te toetsen, of de exactheid ervan te controleren. Zijn onderzoek was boven alles een *opbouwend* onderzoek geweest, erop gericht om de bestaande voorstellingen aan te vullen en uit te breiden. En dit streven had inderdaad geresulteerd in een "Algemeene Stabiliteitstheorie" die niet zozeer een vervanging betekende van het voorafgaande beeld maar daarbij aansloot, en het een grotere reikwijdte bezorgde dan ooit tevoren. Voor Kruyt was deze uitbreiding een belangrijke verworvenheid, en in een lezing kort na Bungenberg de Jongs promotie onderstreepte hij "het belang van het gelijke gezichtspunt, vanwaaruit de geheele kolloid-chemie thans overzien kan worden".⁵¹ Dat gezichtspunt werd het uitgangspunt voor een volgende serie onderzoekingen, want de nieuwe theorie gaf als vanzelf weer aanleiding tot het ondernemen van nieuwe experimenten. Het zal niet verbazen dat Kruyt probeerde zijn succesvolle promovendus bij dit onderzoek opnieuw in te schakelen, en wel via zijn vroegere studievriend Jacob Olie, die directeur was van het Nederlandsch Visscherij-Proefstation. Bungenberg de Jong kreeg aan dat instituut een aanstelling, maar mocht op het Van 't Hoff-laboratorium blijven werken. Zodoende had Kruyt een groot talent kunnen behouden voor nog twee extra produktieve jaren.⁵²

50. *Ibid.*, hoofdstuk 6, 87-88. In ditzelfde hoofdstuk gaf Bungenberg de Jong ook een tabel met alle onderzochte eigenschappen van het agarsol en hun samenhang met lading dan wel hydratatie van de deeltjes. De eigenschappen die van de laatste factor afhingen, verdwenen bij de toevoeging van alcohol en ook aceton.

51. H.R. Kruyt, "De kolloid-chemie in haar moderne ontwikkeling" (voordracht voor het Rotterdamsch Natuurkundig Genootschap op 19 december 1921), *CW* 19 (1922) 9 (dit artikel ontbreekt in de bestaande bibliografie van Kruyt - zie Bronnen en Literatuur).

52. Olie was sinds 1917 directeur van het Nederlandsch Visscherij-Proefstation, dat was gevestigd aan het Sterrenbos, vlak naast het Van 't Hoff-lab dus. Bungenberg de Jong werd er voor de jaren 1921 tot 1923 aangesteld om mee te werken aan het al lopende onderzoek naar het proces van looien en tanen, dat werd gebruikt voor de versteviging van visnetten, en dat de vissers ook hoopten in te zetten voor de vervaardiging van leer uit pa-

4. De Weg naar Eenheid

"Kruyt heeft wederom de eenheid in de kolloïdchemie weten te herstellen", schreef Bungenberg de Jong bij het 25-jarig doctoraat van zijn leermeester in 1933.⁵³ Het lag niet in zijn aard, noch was het er de gelegenheid voor om de schijnwerpers eens flink op zichzelf te gaan richten, maar anders had Bungenberg de Jong toch eigenlijk met evenveel recht kunnen opmerken, dat die eenheid voor een groot deel, en in eerste instantie, door zijn eigen toedoen was bewerkstelligd. Het was immers zijn promotie-onderzoek geweest, dat had laten zien dat de stabiliteit van hydrofobe en hydrofiele colloïden vanuit hetzelfde gezichtspunt begrepen kon worden: bij beide soorten systemen speelde de capillair-elektrische lading een hoofdrol, en voor de laatstgenoemde klasse kwam daar nog de factor hydratatie bij. Toch had Bungenberg de Jong in zijn bescheidenheid ook gelijk, want hoewel zijn nieuwe theorie een aanzienlijke sprong voorwaarts in Kruyts programma had betekend, was het onderwerp er nog allerminst definitief mee afgehandeld. Ten eerste leidde de publikatie van een enkel Utrechts proefschrift natuurlijk niet automatisch tot wereldwijde acceptatie van de nieuwe ideeën, en er moest dus nog veel werk verzet worden om de denkbeelden verder uit te dragen - zeker waar gezaghebbende alternatieven weerstand boden (hierover later meer). Ten tweede vormde het beeld van lading en hydratatie wellicht een aannemelijke verklaring, maar men kon toch moeilijk beweren dat die door enkele experimenten met het agarsol al afdoende was bevestigd. Natuurlijk, agar was een geschikt voorbeeldsysteem geweest en als zodanig had het ook eigenschappen gehad waarvan men aan mocht nemen dat ze niet alleen kenmerkend waren voor het specifieke geval zelf. Maar aan de andere kant was de verscheidenheid onder emulsoïden zo gigantisch groot, dat het verstandig leek toch ook enkele andere typen solen te onderzoeken alvorens te claimen dat de theorie algemene geldigheid bezat. Dat was dan ook de volgende taak waarop Kruyt zich zou gaan richten.

4.1 *bevestiging in de breedte*

In de vijf jaren die volgden op Bungenberg de Jongs promotie liet Kruyt een serie van studenten werken aan een reeks van hydrofiele colloïden. Ieder van hen volgde daarbij hetzelfde, oorspronkelijke stappenplan: men controleerde of viscositeitsmetingen zin hadden middels de wet van Poiseuille, men bekeek vervolgens de adsorptie van lading via het elektro-viskeus effect, en men observeerde tenslotte de suspensoïde eigenschappen na dehydratatie van de deeltjes. De manier waarop Bungenberg de Jong zijn onderzoek had ingedeeld kwam zodoende model te staan voor het hele experimentele programma dat zijn theoretische uitbreiding in de breedte moest gaan schragen.⁵⁴ Wat natuurlijk wel verschilde

linghuiden en dergelijke. In het kader hiervan, én door de probleemstelling naar een fundamentele vraag te vertalen, kon hij echter ook bijdragen aan Kruyts voortgezette programma. Hij verrichtte zijn werkzaamheden ook voornamelijk in diens laboratorium, vanzelfsprekend met toestemming van Olie. Zie H.R. Kruyt, "Dr. Jacob Olie 1879-1955", *CW* 53 (1957) 9-10; H.G. Bungenberg de Jong, "Contribution to the theory of vegetable tanning I. Dehydration of lyophilic sols and gels and its bearing on the theory of vegetable tanning", *Rec.* 42 (1923) 437-472.

53. Bungenberg de Jong (n. 1), "Onderzoekingen aan Lyophile Kolloïden", 67.

54. Hetzelfde stappenplan is ook weer te vinden in Bungenberg de Jongs terugblikkende bespreking van het Utrechtse onderzoek aan hydrofiele colloïden. Zie *ibid.*, 68-80.

bij de afzonderlijke projecten, was het onderzochte colloïd zelf. Kruyt had wederom geen willekeurige greep gedaan, maar ieders systeem vormde een voorbeeld van een bepaald type emulsoiden. Johanna van der Made bekeek het grensgeval ceriumhydroxide, Hein Lier en Bungenberg de Jong zelf onderzochten de eiwitten caseïne en gelatine, Jacob Postma (een Leidse promovendus die onder Kruyts begeleiding werkte) analyseerde het anorganische sol van kiezelzuur, W.A.N. Eggink experimenteerde met rubber in een benzeenoplossing, Bungenberg de Jong bekeek later ook nog het koolhydraat zetmeel, en Kruyts volgende assistent H.J.C. Tendeloo tenslotte onderzocht het mengsel van koolhydraten en eiwit gummi-arabicum. Natuurlijk omvatte deze reeks nog lang niet ieder emulsoid maar de voorbeelden waren wel zo uitgekozen, dat ze bij elkaar het enorme scala aan hydrofiele colloïden min of meer zouden representeren.⁵⁵

Kruyt was zeer tevreden over het verloop en de uitkomsten van het 'hydrofiele' onderzoeksprogramma, ook al werd de theorie door de onderzoekingen niet steeds exact en voor honderd procent bevestigd. Maar dat verlangde hij ook niet: voor Kruyt gaf de voorstelling van lading en hydratatie vooral een globaal beeld van de stabiliteitsvoorwaarden van emulsoiden, dat in specifieke gevallen om nadere invulling en eventueel om bijstelling vroeg. Bij het ceriumhydroxide bijvoorbeeld, ging de theorie maar tot op zekere hoogte op: een watermantel was wel aanwezig maar bleek de deeltjes nauwelijks bescherming te geven. De gevolgtrekking daaruit was nu echter niet, dat de theorie daarom meteen maar moest worden verworpen maar dat dit systeem een overgang vormde tussen suspensoiden en emulsoiden - als zodanig moest het volgens Van der Made zelfs beschouwd worden als een "unicum in de kolloïdchemie". Die laatste kwalificatie was misschien wel overdreven, maar de formulering laat wel goed zien welke interpretatieruimte men voor de verschillende gevallen open liet: de theorie moest een algemene achtergrond vormen, waartegen ook zeer speciale systemen begrepen konden worden.⁵⁶ Een ander bijzonder geval werd aangetroffen in het gummi-arabicum. Bij dat sol functioneerde de lading weliswaar op de normale wijze als stabiliteitsfactor, maar het elektro-viskeus effect was vele malen sterker dan ooit bij enig colloïd was waargenomen. Tendeloo kon echter met een serie experimenten aantonen, dat lading en hydratatie bij gummi-arabicum niet onafhankelijk naast elkaar stonden, maar dat de toevoeging van elektrolyten de grootte van beide factoren tegelijk beïnvloedde. Wederom moest het oorspronkelijke beeld dus nader gepreciseerd worden, maar het speci-

55. J.E. van der Made, *Over het Ceriumhydroxyd-sol*, proefschrift Rijksuniversiteit Utrecht (Amsterdam, 1922); Hein Lier, *Het Caseïnesol*, proefschrift Rijksuniversiteit Utrecht (Amsterdam, 1924); H.G. Bungenberg de Jong, "Contribution to the theory of vegetable tanning II. Dehydration of the gelatin-sol by tannic acid, crystalline tannins and simpler phenols", *Rec.* 43 (1924) 35-67; Jacob Postma, *Over het Kiezelzuursol*, proefschrift Rijksuniversiteit Leiden (Amsterdam, 1924); H.R. Kruyt en W.A.N. Eggink, "Het electroviskeus effect bij het rubbersol", *Versl. KAW* 32 (1923) 8-13; H.G. Bungenberg de Jong, "The electro-viscous effect in solutions of soluble starch", *Rec.* 43 (1924) 189-202; H.J.C. Tendeloo, *Lading en Hydratatie*, proefschrift Rijksuniversiteit Utrecht (Amsterdam, 1926). Meijuffrouw van der Made was tegelijk begonnen met Bungenberg de Jong, maar omdat zijn onderzoek succesvoller verliep dan het hare, gebruikte ze de opbouw daarvan uiteindelijk als model voor haar eigen werk; ze promoveerde op 11 december 1922. Lier promoveerde op 8 december 1924. Postma was assistent en promoveerde (op 25 november 1924) bij Schreinemakers, maar Kruyt had het onderzoek op afstand begeleid. Tendeloo promoveerde op 18 januari 1926. Een tussenrapportage van de veelbelovende resultaten is te vinden in H.R. Kruyt, "Die Stabilitätsverhältnisse bei lyophilen Kolloiden", *KZ* 31 (1922) 338-341.

56. Zie Van der Made (n. 55), hoofdstuk 5. Over de interpretatie van gevallen als ceriumhydroxide zei Kruyt later zelf: "we do well to make theoretical distinctions at first, and later compare the more complicated reality with the extreme cases [dat wil zeggen: de zuivere suspensoiden en emulsoiden]." Zie Kruyt (n. 7), *Colloids*, 235.

fieke geval paste uiteindelijk op zijn eigen manier weer in de algemene theorie, die daardoor eerder sterker dan zwakker kwam te staan.⁵⁷

De grootste overwinning van de nieuwe beschouwingwijze werd in Kruyts ogen echter geboekt op het terrein van de eiwitten. Die substanties onder hetzelfde gezichtspunt brengen vormde voor hem in veel opzichten het hoogste doel van de hydrofiele-colloïdchemie. Al in 1921 had Kruyt gesproken van een "historische noodzakelijkheid voor deze wetenschap, om ten slotte weer tot de eiwitten terug te keren" en we hebben al gezien hoe hij het onderzoek met Bungenberg de Jong aanvankelijk had willen beginnen met gelatine, "dat beroemde sol", dat hij had leren kennen via zijn contacten met de Delftse Lijm- en Gelatinefabriek.⁵⁸ Toch had hij toentertijd anders besloten en achteraf gezien bleek dat ook verstandig te zijn geweest, maar nu de theorie "aan eenvoudiger systemen gefundeerd" was en bovendien voor zo vele andere en ingewikkeldere gevallen ook steeds werd bevestigd, kon Kruyt de uitdaging niet langer weerstaan. Aan zijn promovendus Lier had hij het caseïne ter bestudering gegeven, en Bungenberg de Jong had in zijn tijd voor het Visscherij-Proefstation de gelatine voor zijn rekening genomen. Het was een gelukkig besluit geweest, en de resultaten van beide onderzoekers bleken prachtig bij het bestaande beeld aan te sluiten. De twee eiwitten volgden volledig de voorstelling van lading en hydratatie, die alleen hoefde te worden uitgebreid om het effect van de vele zure en basische COOH-respectievelijk NH₂-groepen, die zich aan de buitenkant van de deeltjes bevonden, een plaats te geven. Die groepen zorgden er namelijk voor dat de lading van het eiwit met de zuurgraad in grootte en ook van teken kon veranderen, maar in het kader van de nieuwe theorie was dat nauwelijks nog een probleem. Aan Bungenberg de Jongs figuur voor agar werd simpelweg een aantal 'omgelade' toestanden toegevoegd (zie Figuur 11) en met die eenvoudige uitbreiding was de incorporering van de eiwitten in de stabiliteitstheorie een feit. Kruyts hoogste doelstelling was gehaald.⁵⁹

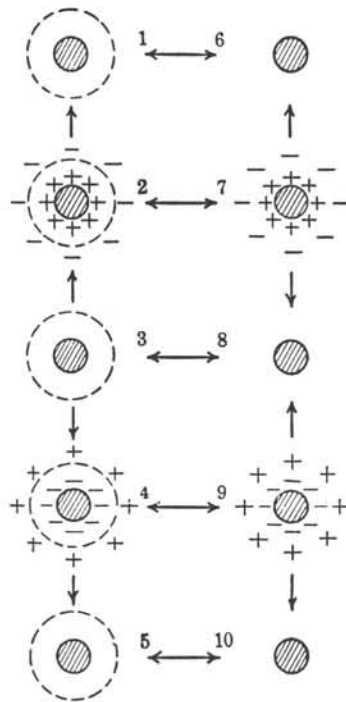
4.2 de fysiologen verslagen

De reden waarom Kruyt zoveel belang hechtte aan het opnemen van de eiwitten in het beeld van lading en hydratatie, was dat er op dit gebied geduchte concurrentie bestond van een aantal andere theorieën. Met name vanuit de fysiologie, waar al lang intensief onderzoek werd verricht naar het gedrag van eiwitten in oplossing, waren beschouwingwijzen ontwikkeld die sterk verschilden van de capillair-chemische benadering en die veelal teruggrepen op de klassieke fysische chemie en de theorie van verdunde oplossingen van Van 't Hoff, Arrhenius en Wilhelm Ostwald. Volgens Kruyts eigen 'psychologische' verkla-

57. Tendeloo (n. 55), *Lading en Hydratatie*, hoofdstuk 5. Tendeloo verrichtte nog een uitgebreid vervolgonderzoek naar deze samenhang tussen lading en hydratatie, en zijn promotiewerk omvatte naast de analyse van gummi-arabicum middels het Bungenberg de Jongse stappenplan dan ook nog een heel extra deel. Overigens konden ook de systemen van Postma en Eggink niet volledig in de theorie van lading en hydratatie worden ingepast. Postma schreef dit onder andere toe aan de sponsachtige structuur van de kiezelzuurdeeltjes en hun gevoeligheid voor veranderingen in de zuurgraad, maar hij stelde ook dat enkele gevonden effecten vooralsnog "onbegrijpelijk" bleven; hij had geen tijd meer ze nader op te helderen. Egginks rubber kon niet anders dan gedeeltelijk in de theorie worden ingepast, omdat hij en Kruyt alleen hadden geprobeerd het elektro-viskeus effect ervan aan te tonen. De desolvatatie (bij een benzeenoplossing spreekt men niet van dehydratatie) hadden zij niet onderzocht.

58. Kruyt (n. 51), "Kolloïd-chemie in haar moderne ontwikkeling".

59. Lier (n. 55), *Caseïnesol* en Bungenberg de Jong (n. 55), "Vegetable tanning II".



Figuur 11. De essentie van eiwitten volgens de Utrechtse school. Om de stabiliteitsvoorwaarden weer te geven hoefde men Bungenberg de Jongs oorspronkelijke figuur (de nummers 4, 5, 9 en 10) slechts uit te breiden met een zestal toestanden waarin de deeltjes worden omgeladen. Ook dit schema zou veelvuldig worden herdrukt.

(H.G. Bungenberg de Jong, "Contribution to the theory of vegetable tanning II. Dyhydration of the gelatin-sol by tannic acid, crystallinic tannins and simpler phenols", *Rec.* 43 (1924) 36)

ring waren de meeste fysiologen simpelweg te ongeduldig geweest en hadden zij niet willen afwachten tot de colloïdchemie met betere interpretaties was gekomen.⁶⁰ Maar dit argument kon voor de belangrijkste onder hen toch niet serieus worden volgehouden: Wolfgang Pauli, de directeur van het Weense *Institut für medizinische Kolloidchemie* zag zichzelf vanzelfsprekend als colloïdchemicus (zij het van een andere richting dan Kruyt), en Jacques Loeb, de beroemde Amerikaanse fysioloog, kende de colloïdchemie in feite al langer dan Kruyt. Van Loeb zou men zelfs kunnen beweren dat hij aan de wieg van het vak had gestaan, want het was tijdens een stage in zijn laboratorium, in 1904, dat Wolfgang Ostwald zijn eerste visioenen van een colloïdchemische wetenschap had ontwikkeld en had besloten zich voortaan te gaan wijden aan de verwerkelijking daarvan. Als Loeb al ongeduldig was geweest, dan was dat juist met de colloïdchemie zelf, want hij was het al van begin af aan

60. Kruyt kwam verschillende malen met deze ongeduld-these: Kruyt (n. 42), "Beteekenis der kolloïdchemie", 700; H.R. Kruyt, "Unity in the Theory of Colloids", *Colloid Symposium Monographs* 5 (1928) 7-18: 11; Kruyt (n. 43), "Stabilité II", 149.

grondig oneens geweest met de ideeën en het streven van zijn medewerker.⁶¹ Het was dan ook niet in afwachting van, maar in reactie op de colloïdale zienswijze, dat Loeb zijn eigen theorie was gaan ontwikkelen, en Kruyt had (en dat wist hij ongetwijfeld) in hem dus niet slechts een passieve tegenstander.

Loeb bundelde zijn bezwaren tegen de colloïdchemie in het boek *Proteins and the Theory of Colloidal Behavior*, dat in 1922 verscheen en dat tevens een overzicht vormde van de resultaten van de onderzoekingen aan eiwitten in Loeb's eigen laboratorium sinds halverwege de jaren 10. Loeb was zelf inmiddels al in de nadagen van zijn carrière, maar dit werk weerspiegelde nog enkele opvattingen die zijn gehele loopbaan hadden begeleid. Getraind als experimenteel fysioloog, onder anderen bij Julius Sachs in Würzburg, was Loeb er altijd van overtuigd geweest dat alle levensverschijnselen, inclusief het gedrag van eiwitten, in principe zijn terug te voeren op fysische en chemische processen. In hoeverre dat in de praktijk mogelijk of wenselijk was, was een tweede, maar als men met verklaringen kwam dan konden die alleen zinvol en rationeel zijn wanneer ze waren opgesteld in termen van normale chemie en fysica. In deze opvatting stak ook de reden waarom Loeb zich zo fel verzette tegen de colloïdchemie van Wolfgang Ostwald, want die had immers vaak verkondigd dat colloïdale systemen om een speciale behandeling vroegen omdat de wetten van de gangbare natuur- en scheikunde voor colloïden niet op leken te gaan. Ostwald gebruikte dit argument overigens vooral om erkenning te krijgen voor de zelfstandige positie van zijn vakgebied (dat hij immers tegelijk wel degelijk als een tak van de fysische chemie beschouwde), maar Loeb zag in de stelling een vorm van vitalisme - een doelbewuste afscheiding die het rationele begrijpen van het gedrag van eiwitten verhinderde: "As long as chemists continue to believe in the existence of a special colloid chemistry, differing from the chemistry of crystalloids, it will remain impossible to explain the physical behavior of colloids in general and of proteins in particular."⁶²

Wat Loeb wilde was een hereniging van de bestudering van eiwitten met de normale 'classical chemistry'. Daarbij dacht hij overigens niet in de eerste plaats aan de organische scheikunde, waarvan hij voor de fysiologie nooit veel heil verwacht had, maar hij stelde zijn hoop en vertrouwen veeleer in de klassieke fysische chemie, en met name in de theorie van

61. Martin H. Fischer, "Wolfgang Ostwalds Weg zur Kolloidchemie", *KZ* 145 (1956) 1-2.

62. Jacques Loeb, *Proteins and the Theory of Colloidal Behavior* (New York etc., 1922) v. Loeb's reductionistische standpunt (dat wil zeggen: zijn opvattingen over de fysische en chemische basis van levensverschijnselen) was overigens iets ingewikkelder en veranderlijker dan hier weergegeven. Tot pakweg 1910 vond hij weliswaar dat de fysiologie fysische en chemische methoden en concepten moest gebruiken, maar hij geloofde pertinent niet dat men daarmee ook verklaringen voor allerhande levensprocessen moest proberen te vinden; dat leidde slechts tot ongeoorloofde speculatie en metafysische uitspraken over 'achterliggende mechanismen'. Het onderzoek moest zich tot waarneembare grootheden beperken, en niet naar verklaring van, maar primair naar controle over organismen streven. Uit deze periode dateert ook Loeb's eerste conflict met Wolfgang Ostwald, die toen bij hem werkte en op eigen houtje een colloïdchemische 'verklaring' had opgesteld van het kunststuk uit Loeb's laboratorium: de kunstmatig opgewekte deling van eicellen. Vanaf halverwege de jaren 10 liet Loeb zijn zelfopgelegde beperking steeds meer varen en nam hij een meer volkomen reductionistisch standpunt in: de fysioloog moest wel degelijk op zoek naar het mechanisme van het leven, en in dat streven paste ook zijn eiwitonderzoek. Wat hem nu vooral irriteerde in de uitspraken van Wolfgang Ostwald was de uitsluiting van colloïden van de normale chemie en fysica. De verschijning in 1917 van Ostwald's *World of Neglected Dimensions* (de gedrukte versie van zijn invloedrijke lezingen, zie Figuur 8) vormde voor Loeb de aanleiding zich actief tegen de colloïdchemie te gaan verzetten. Zie Philip J. Pauly, *Controlling Life. Jacques Loeb and the engineering idea in biology* (New York, 1987), m.n. hoofdstuk 5 en 7.

verdunde oplossingen. In zijn boek spande hij zich dan ook in om aan te tonen dat eiwitten geen speciale colloïdale, maar normale kristalloïde oplossingen vormen die in niets verschillen van die van gangbare ionen of moleculen. Het enige (schijnbaar) afwijkende gedrag kwam voort uit het feit dat de eiwitmoleculen bij een wisselende zuurgraad chemische omzettingen ondergingen, waardoor ook hun oplossingseigenschappen (viscositeit, osmotische druk, etc.) konden veranderen. Maar deze veranderingen moesten alle worden toegeschreven aan de vele COOH- en NH₂-groepen die de grote eiwitmoleculen aan zich droegen en die in meer of in mindere mate geïoniseerd raakten, afhankelijk van de zuurgraad van de oplossing. Wanneer men die zuurgraad, of pH, echter constant hield, dan waren deze complicaties direct en volkomen verdwenen. Loeb zag in de pH de sleutel tot zowat alle 'schijnbaar' bijzondere gedragingen van eiwitoplossingen, en het grootste deel van zijn onderzoek was erop gericht aan te tonen dat die ook uitsluitend het gevolg waren van een wisselende pH. De colloïdchemici hadden volgens Loeb alleen tot hun claim van afwijkend gedrag kunnen komen, doordat ze de invloed van de pH systematisch hadden veronachtzaamd. Wanneer die wel in beschouwing werd genomen, dan konden eiwitten verder zonder meer begrepen worden als normale, zij het grote moleculen met verschillende zuur- en base-groepen, oftewel als polyvalente ionen. De theorie van oplossingen was dan ook zonder meer van toepassing, en een speciale colloïdchemische benadering, hoewel voor goudsolen wellicht zinvol, was op eiwitgebied volgens Loeb volslagen overbodig.⁶³

Loeb had zijn boek expliciet bedoeld als een aanval op de colloïdchemische benadering, die in zijn ogen in Amerika veel te populair aan het worden was. De toon die Wolfgang Pauli in zijn geschriften aansloeg was over het algemeen veel gematigder, ondanks dat zijn onderzoek en beschouwingwijze in wezen vrij nauw aansloten bij de benadering van Loeb. Ook Pauli behandelde eiwitten als normale, zij het 'hochmolekulare Substanzen', en hij was er eveneens op gericht ze te begrijpen binnen het kader van de klassieke, in zijn geval fysische én organische, scheikunde. Maar het verschil met Loeb was, dat Pauli zich niet tegen de totale colloïdchemie verzette. Zoals gezegd zag hij zichzelf als een vertegenwoordiger van dat vakgebied en hij had geen intenties het in diskrediet te brengen. Hij negeerde bijvoorbeeld ook allerminst het werk van Kruyt en zijn school, maar hij interpreteerde de uitkomsten daarvan soms op zijn eigen wijze.⁶⁴ Kruyts houding tegenover beide eiwitchemici was navenant: met alle twee verschilde hij fundamenteel van opvatting, maar voor Pauli kon hij veel meer waardering opbrengen. Kruyt hield over het algemeen wel van duidelijke standpunten, zo lang die maar ferm werden ingenomen en goed waren onderbouwd. Het ontbreken van een standpunt of van een deugdelijke argumentatie achtte

63. "What was first believed to be a new type of chemistry, namely colloid chemistry, with laws different than those from general chemistry, now seems to have been only an unrecognized equilibrium condition of classical chemistry; at least as far as the proteins are concerned." Loeb (n. 62), *Proteins*, vi. Loeb had overigens niet alleen de pH-afhankelijkheid van een aantal 'colloïdale' eigenschappen geverifieerd, maar ook het verloop van de pH zelf bij toevoeging van zuur gecontroleerd; ook hier vond hij een volslagen normale curve.

64. Pauli's belangrijkste onderzoeksdoel was "funktionelle Verknüpfung des physikalisch-chemischen bzw. kolloidchemischen Verhaltens der Proteine mit ihrer Konstitution". Wo. Pauli en E. Valko, *Kolloidchemie der Eiweißkörper* (2e ed.; Dresden, 1933) ix. Pauli verwees in dit boek een keer of tien naar Kruyts onderzoekingen, vanzelfsprekend met name naar die van hydrofiele colloïden. Zijn identiteit als colloïdchemicus blijkt onder andere uit het feit dat Pauli zich niet beperkte tot eiwitten, maar ook anorganische colloïden onderzocht. Zie bijvoorbeeld zijn twee lezingen "Die Eiweißkörper als Kolloide" en "Die Aufbau anorganischer Kolloide", gebundeld in: Wo. Pauli, *Eiweißkörper und Kolloide. Zwei Vorträge für Biologen und Chemiker* (Wien, 1926).

hij veel onvergeeflijker, en dat laatste (het gebrek aan onderbouwing) was volgens hem het geval met de beschouwingen van Loeb. Op diens werk zou Kruyt zijn kritiek, in verschillende artikelen en voordrachten, dan ook met name concentreren.⁶⁵

Kruyts voornaamste bezwaar tegen de voorstellingen van Loeb was dat hij de (voor Kruyt belangrijkste) colloïdchemische verworvenheden grotendeels had genegeerd.⁶⁶ Loeb had weliswaar een eigen theorie opgebouwd en deze gegrondvest op eigen experimenten die wezen op de invloed van de pH, maar hij had daarbij verzuimd de bestaande feiten over het oplossingsgedrag van eiwitten, die door voorgaande colloïdenonderzoekers waren bijeengebracht, in die theorie een plaats te geven. Wat te denken bijvoorbeeld van het elektro-capillaire gedrag: de adsorptie van allerlei elektrolyten aan eiwitten? En hoe om te gaan met de onmiskenbare analogieën tussen eiwitten en suspensoiden, om maar niet te spreken van hun verandering *in* suspensoiden bij het verdwijnen van de watermantel. Wat dacht Loeb eigenlijk van de stabiliteitsvoorwaarden van eiwitoplossingen en hoe verklaarde hij het bestaan van zulke ongekend grote moleculen? Het waren dergelijke vragen waarvan Kruyt vond, dat Loeb ze in feite links liet liggen, terwijl de colloïdchemici omgekeerd Loeb's bevindingen wel serieus namen. Kruyt zelf erkende bijvoorbeeld volmondig dat de pH inderdaad grote invloed had op de toestand van eiwitten, maar hij geloofde niet dat het effect van zuren en basen wezenlijk verschilde van dat van andere elektrolyten. Samen met Tendeloo ondernam hij in 1925 enige experimenten die aantoonde dat allerlei zouten evengoed ontlading en omlading van eiwitdeeltjes konden bewerkstelligen en bovendien dat ze dat deden volgens precies hetzelfde patroon als bij alle colloïden, hydrofiel én hydrofoob.⁶⁷ Loeb had in zijn "pH-cultus" de invloed van zuren schromelijk overdreven, en de eiwitchemie onterecht afgesloten van de chemie der suspensoiden. Maar de "chinese muur rond de hydrofobe solen" was nu geslecht, en zulks niet het minst door Kruyts eigen

65. Een dergelijke beoordeling kwam ook goed naar voren in een dubbele recensie door Kruyt van boeken van Pauli en van Jacques Duclaux. Waar Kruyt zijn respect voor de eerstgenoemde uitsprak, vroeg hij zich wat betreft Duclaux af "waar deze auteur de laatste tien jaar is geweest? Er wordt hier een theorie gegeven die dubbel en dwars is weerlegd". H.R. Kruyt, bespreking van *Kolloïdchemie der Eiweisskörper* door Wo. Pauli en *Les Colloïdes* door J. Duclaux, *CW* 701-702: 701. Kruyt plaatste Duclaux overigens bij tijd en wijle in dezelfde groep als Pauli en Loeb, omdat hij immers eveneens colloïddeeltjes als grote moleculen beschouwde. Een andere chemicus die Kruyt vaak in één adem met zijn andere tegenstanders noemde was de Amerikaanse eiwitonderzoeker T. Brailsford Robinson, wiens hoofdwerk op dit gebied was *The Physical Chemistry of the Proteins* (New York etc., 1920); zie ook T. Brailsford Robinson, "Einige kritische Bemerkungen zur Theorie der Adsorption", *KZ* 3 (1908) 49-76.

66. Loeb ging in zijn boek inderdaad nauwelijks serieus op colloïdchemisch werk in. Hij beweerde bijvoorbeeld dat de verklaring van colloïdstabiliteit door ladingsadsorptie "on no measurements" berustte en "has never advanced beyond the stage of vague qualitative speculation"; Freundlich's adsorptie-isotherm deed hij af als een nietszeggende empirische regel. Zie Loeb (n. 62), *Proteins*, v, 12. Volgens Kruyt staarde Loeb zich blind op de klassieke fysische chemie: "Pour lui il n'exista pas une autre chimie physique que celle de Van't Hoff, Ostwald et Arrhenius; il était comme des amateurs d'art pour qui il n'y a point de peinture depuis l'école de Barbizon et pas de musique depuis Beethoven." Kruyt (n. 43), "Stabilité II", 157. Voor Kruyts kritiek op Loeb, zie verder: Kruyt (n. 55), "Stabilitätsverhältnisse"; H.R. Kruyt, "De Kolloïdchemische Toestand der Eiwitoplossingen", *CW* 22 (1925) 473-475; en de in noot 69 genoemde voordrachten. Ook promovendi van Kruyt becommenteerden overigens Loeb's opvattingen; zie bijvoorbeeld Lier (n. 55), *Caseïnesol*, hoofdstuk 1; en H.G. Bungenberg de Jong, bespreking van *Proteins and the Theory of Colloidal Behavior* door Jacques Loeb, *CW* 19 (1922) 463-464.

67. H.R. Kruyt en H.J.C. Tendeloo, "The Limited Significance of hydrogen ion-concentration as a factor in determining the condition of lyophilic sols", *Journal of Physical Chemistry* 29 (1925) 1303-1311. Zie ook Kruyt (n. 66), "Kolloïdchemische Toestand".

onderzoekingen. Sinds het werk van Bungenberg de Jong en zijn opvolgers konden emulsoïden, suspensioïden én eiwitten immers weer vanuit één gezichtspunt worden beschouwd, en dankzij hun "Algemeene Stabiliteitstheorie" was de eenheid in de colloïdchemie hersteld.⁶⁸

4.3 "Unity in the Theory of Colloids"

Kruyt zou de hernieuwde eenheid in zijn vakgebied, die hij door het hydrofiele-colloïdenonderzoek zo krachtig bevestigd achtte, met trots en overtuiging gaan uitdragen. Hij uitte zich daartoe niet alleen via publikaties, maar ook in een reeks van lezingen, die hij op verschillende plaatsen ter wereld gaf om de blijde boodschap te verkondigen. In mei 1923 sprak hij in London, Aberdeen en Edinburgh over "the principle of unity according to which colloid-chemistry can be treated" (een samenvatting verscheen in *Nature*); in augustus van dat jaar ontvouwde hij voor het Vlaamsch Natuurkundig Congres te Antwerpen "De Stabiliteitsvoorwaarden der Kolloïden", hydrofiele en hydrofobe; in juli 1925 trad hij op voor de Nederlandsche Chemische Vereeniging te Rotterdam met "De kolloidchemische toestand der eiwitoplossingen"; in januari 1928 richtte hij zich tot een franstalig publiek met "La stabilité des colloïdes", een dubbele voordracht op het *Institut des Hautes Études* te Brussel; en in januari 1927 sprak hij zelfs aan de overkant van de oceaan op het vijfde National Colloid Symposium te Ann Arbor, Michigan, in de Verenigde Staten. Dat laatste optreden was zonder twijfel het belangrijkste, want Kruyt was voor deze jaarlijkse bijeenkomst van de Amerikaanse colloïdchemici uitgenodigd als speciale *guest of honor*, een eer die daarvoor alleen te beurt was gevallen aan coryfeeën als Freundlich en Svedberg. De organisatoren van de universiteit van Michigan hadden hun gast eveneens verzocht om aansluitend tot in het volgende jaar gastcolleges te geven, maar Kruyt besloot die tot een *Summer session* beperkt te houden en vóór het congres een aantal extra lezingen te houden voor afdelingen van de *American Chemical Society* in andere streken van het land. Maar het centrale evenement was natuurlijk de openingsvoordracht op het Colloid Symposium, en daar verkoos Kruyt dan ook te spreken over "Unity in the Theory of Colloids".⁶⁹

Kruyt was zich ongetwijfeld bewust van het belang van zijn lezing en de grootte van zijn gehoor, maar dat deed hem er allerminst toe besluiten om zich in zijn uitspraken op de vlakke te houden. Integendeel, hij sneed onbeschroomd de grote kwesties aan en hij begon zijn voordracht zelfs met enkele enigszins filosofische beschouwingen.

68. De geciteerde termen komen uit Kruyt (n. 43), "Stabilité II": "Le physiologiste moderne idolâtre l'ion hydrogène, c'est le culte du pH!" (p. 150) en "Il n'y a donc pas une muraille chinoise autour des sols lyophobes, les suspensoides, au dehors de laquelle se trouvent les systèmes ionogènes, les colloïdes lyophiles y compris - au contraire, le domaine des colloïdes, celui des lyophobes aussi bien que des lyophiles est une unité, ils forment deux aspects d'un même problème et un trou béant s'ouvre entre ces systèmes et les solutions ordinaires." (p. 159).

69. H.R. Kruyt, "The Electric Charge of Colloids", *Nature* 111 (1923) 827; H.R. Kruyt, "De Stabiliteitsvoorwaarden der Kolloïden", *NT* 6 (1924) 43-50; Kruyt (n. 66), "Kolloïdchemische Toestand"; Kruyt (n. 40), "Stabilité I" (n. 43), "Stabilité II"; Kruyt (n. 60), "Unity". Kruyt ontving in januari een uitnodiging voor het Amerikaanse congres dat tussen 22 en 24 juni plaatsvond. Hij stak reeds eind april de oceaan over en keerde halverwege augustus, na de *Summer Session*, weer terug. Voor de invitatie en het reisschema, zie ook *CW* 24 (1927) 26.

What is the aim of science? Not only to *know* but much more to *understand* nature; and we understand a phenomenon when we recognize logic in it. So in science we try to discover logic in the behavior of matter. We meet every moment with phenomena which at first sight seem to be contradictory; then we try to reconcile them, i.e., to raise the problem to a higher level, where the contradiction dissolves into a higher unity. We cannot be content as long as we have not found this unity, and therefore we are continually pursuing that goal.⁷⁰

Het is niet moeilijk om in dit citaat echo's te herkennen van Kruyts eerdere bespiegelingen betreffende doel en methode van wetenschappelijk onderzoek: het streven naar 'verheffing' van het begrip kwamen we bijvoorbeeld ook al tegen in Kruyts inaugurele oratie *Algemeene Theorie en Bizondere Ervaring*. Maar in deze Amerikaanse rede dienden de wijsgerige exercities vooral als inleiding, aan de hand waarvan Kruyt vervolgens kon aantonen dat het gestelde onderzoeksdoel, een algemene theorie, in elk geval voor wat betreft het stabiliteitsvraagstuk ook daadwerkelijk was bereikt. Uit Kruyts hele voordracht spraken triomf en zelfvertrouwen, temeer omdat de verlangde eenheid voor een goed deel was werkstelligd door "[i]nvestigations carried out in my laboratory during the last eight years". Die eenheid zou overigens ook de Amerikanen niet onwelgevallig zijn, want Kruyt presenteerde haar expliciet als een weerwoord op de aanvallen van Jacques Loeb, hun gezaghebbende landgenoot, wiens scherpe kritiek de colloïdchemische gemeenschap in Amerika niet onberoerd had gelaten. Wilder D. Bancroft (één van de meest vooraanstaande colloïdenonderzoekers) beweerde weliswaar achteraf dat het merendeel van Kruyts bevindingen voor hem al jarenlang "common knowledge" was, maar de 250 aanwezigen bedankten Kruyt ter plekke gezamenlijk voor zijn "excellent paper"; "we can rejoice at the reconquered unity", had Kruyt eerder zelf al opgemerkt.⁷¹

Een geheel ander project dat Kruyt ondernam om uitdrukking te geven aan de herwonnen eenheid was het schrijven van een leerboek, eveneens in de Engelse taal. Reeds in 1924 was van zijn hand het boekje *Inleiding tot de Physische Chemie, de kolloïdchemie in het bijzonder* verschenen, een beknopt werk dat gebaseerd was op zijn gelijknamige college voor biologen en medici, en dat nog vele malen en in verschillende talen herdrukt zou worden.⁷² Maar Kruyt gaf al sinds 1912 ook een meer diepgaand speciaal colloïdchemie-college voor kandidaten in de scheikunde, en dat mocht zich eveneens verheugen in een groeiende belangstelling. Kruyt stemde de inhoud van deze lessen gewoonlijk ieder jaar af op de laatste ontwikkelingen in het vakgebied, maar halverwege de jaren 20 achtte hij die voldoende definitief voor een uitgave in boekvorm. In de loop van 1925 schreef hij het manuscript en twee jaar later verscheen *Colloids. A Textbook* bij Chapman & Hall in Londen en John Wiley in New York. *Colloids* was bedoeld, en zo zou het ook worden

70. Kruyt (n. 60), "Unity", 7.

71. Bancroft besprak de congresbundel in zijn eigen *Journal of Physical Chemistry* 32 (1928) 947-955. Zie verder "Foreword" in *Colloid Symposium Monographs* 5 (1928) en Kruyt (n. 60), "Unity", 16.

72. H.R. Kruyt, *Inleiding tot de Physische Chemie, de kolloïdchemie in het bijzonder, voor biologen en medici* (Amsterdam, 1924). Kruyt had de eerste versie van dit boekje op verzoek geschreven als een dictaat naast het college. Het vond direct zeer gretig aftrek en zou in totaal achttien maal worden herdrukt (voor het laatst in 1977), waarbij steeds verbeteringen en aanvullingen werden opgenomen. Vanaf de veertiende druk (1954) was Kruyts opvolger Overbeek (formeel als co-auteur) verantwoordelijk voor de uitgave. Verschillende generaties Nederlandse biologen en geneeskundigen zijn zodoende opgeleid met 'het groene boekje' van Kruyt en Overbeek. Het boekje verscheen in 1926 verscheen in Duitse vertaling, in 1931 in het Russisch, in 1960 in Engelse vertaling en in 1961 in het Frans.

ontvangen, als een monografie die vanuit één duidelijk bepaald gezichtspunt was geschreven. Het boek behandelde de colloïdchemie dan ook niet uitputtend (daarvoor verwees Kruyt naar Freundlich's *Kapillarchemie*), maar groepeerde relevante zaken zoveel mogelijk rond het stabiliteitsprobleem en de capillair-chemische kijk daarop. De nieuw gevestigde theorie bepaalde het 'general plan of attack', en daarin school ook de reden waarom Kruyt het schrijven van het boek überhaupt mogelijk had geacht. Hydrofiele en hydrofobe colloïden konden nu immers tegen dezelfde algemene achtergrond worden geplaatst, en dat gaf Kruyts behandeling van de stof een samenhang die eerder nog niet haalbaar was geweest. De eenheidsvisie vormde dus niet alleen de aanleiding, maar was ook de voorwaarde geweest voor het schrijven van *Colloids*, het meest omvangrijke en herkenbare produkt van Kruyts Utrechtse school tot dan toe.⁷³

5. Fundamentele Problemen

5.1 *grondslagenonderzoek*

De eenheid in de colloïdchemie die tot stand was gekomen dankzij de algemene stabiliteitstheorie, geldig voor suspensoiden zowel als emulsoiden, vormde zonder enige twijfel de belangrijkste verworvenheid van Kruyts onderzoeksprogramma sinds hij naar het nieuwe vakgebied was overgestapt. Maar hoe prachtig dat resultaat op zich ook mocht wezen, aan het bereiken ervan kleefde ook een zeker gevaar, want het hoogtepunt van het onderzoek zou heel goed ook direct het eindpunt kunnen betekenen. Wat viel er immers nog te onderzoeken als de stabiliteitscondities van colloïden reeds in grote lijnen werden begrepen? Welke vragen kon men nog stellen wanneer de theorie ten aanzien van het belangrijkste probleem (het stabiliteitsvraagstuk) zo goed als compleet was? Natuurlijk, een preciezere uitwerking van specifieke gevallen en een nadere karakterisering van de vele verscheidene systemen bleef mogelijk en zelfs wenselijk, maar het lag nauwelijks in Kruyts aard en belangstelling om zich daarop te blijven concentreren (voor dergelijk invulwerk had hij de fasenleer niet hoeven te verlaten). En bovendien: de reeks onderzoekingen van speciale gevallen die hij wél had laten verrichten, had nu juist aangetoond dat de algemene theorie daardoor steeds werd gesteund en bevestigd. Juist zo'n herhaalde bevestiging, daarvan was Kruyt overtuigd, werkte uiteindelijk remmend op de voortgang van het onderzoek:

73. Kruyt (n. 7), *Colloids*. Het manuscript, dat door Kruyt in het Nederlands was geschreven, werd vertaald door H.S. van Klooster, een hoogleraar van Nederlandse origine aan het Rensselaer Polytechnic Institute in Troy, New York, Verenigde Staten. In 1930 verscheen een tweede, herziene en uitgebreide editie, die vervolgens in 1932 in Russische en in 1933 in Franse vertaling werd uitgegeven. Jacques Duclaux schreef het voorwoord voor de laatstgenoemde uitgave en preees daarin Kruyt voor zijn overzicht van het vakgebied en zijn moed dat consequent vanuit één gezichtspunt te behandelen: "il faut faire son choix entre les doctrines. M. H.-R. Kruyt a fait le sien et nous devons l'en remercier, car nous lui devons l'exposé le plus clair qui existe (...). M. H.-R. Kruyt et son école n'ont jamais hésité à pousser jusqu'au bout, c'est à dire jusqu'au nombres, les conséquences de leur théories (...); et lorsque les résultats n'étaient pas absolument ceux qu'ils attendaient, ils l'ont reconnu franchement, et ont toujours cherché dans une étude plus approfondie le moyen de rétablir ou de parfaire l'accord. (...) tout le monde est heureux de voir une théorie développée honnêtement dans toutes ses conséquences et confrontée honnêtement avec les faits." Jacques Duclaux, "Préface" in: H.R. Kruyt, *Les Colloïdes. Manuel de Chimie Colloïdale* (Paris, 1933) v-viii: vi-vii. Velen sloten zich bij Duclaux' karakterisering aan; zie E.B. Millard, *Journal of the American Chemical Society* 49 (1927) 1852; en Wilder D. Bancroft, *Journal of Physical Chemistry* 32 (1928) 316-318. Zie voor gelijk-luidende beoordelingen van Kruyts *Inleiding in de Fysische Chemie* onder andere J.P.M. Vogelaar, *Vakblad voor Biologen* 6 (1924) 61-63; en Wo. Ostwald, *KZ* 39 (1926) 189-192.

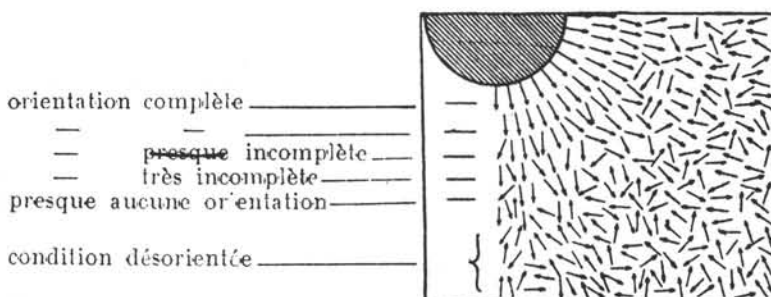
le développement de la science est ordinairement plus servi par les cas, qui sont contraires à une théorie existante que par ceux qui l'appuient. Ceux-ci nous rendent présomptueux, ceux-là provoquent notre doute et, par suite, on commence à faire de nouveau des recherches, d'où jaillit, bien des fois, une compréhension plus complète, sinon une théorie tout à fait nouvelle!⁷⁴

Kruyt beschouwde tegenstrijdigheden als noodzakelijke voorwaarden voor het opzetten en ondernemen van experimenten, en zoals we gezien hebben vormden onvolkomenheden in de theorie doorgaans inderdaad het vertrekpunt van zijn onderzoekingen. Het zou evenwel overdreven zijn te stellen dat met de komst van de algemene stabiliteitstheorie plotseling alle hiaten waren opgevuld, en dat het Utrechtse programma in feite aan zijn eigen succes ten onder zou gaan. De geschiedenis kent over het algemeen weinig voorbeelden van theorieën die werkelijk 'af' zijn en ook die van de stabiliteit van colloïden hoort niet in dat rijtje thuis. Toch zou Kruyt in de tweede helft van de jaren 20 zijn aandacht niet meer uitsluitend richten op de nog overgebleven lacunes, ook al waren die er wel en ook al zou een aantal anomalieën gedurende die periode ook steeds prangender worden. Maar Kruyt achtte de tijd gekomen om naast het oplossen van dergelijke problemen (waarover later meer) ook aandacht te gaan besteden aan een meer fundamenteel soort vragen - vragen die de reikwijdte van de theorie niet zozeer zouden uitbreiden als wel het inzicht in de verschijnselen verdiepen. Nu lading en hydratatie geïdentificeerd waren als de basis van de colloïdstabiliteit wilde Kruyt hun eigen grondslag leren kennen: wat was de oorsprong van de lading van de deeltjes en wat was de aard van de hydratatie? Dergelijke problemen vloeiden niet voort uit hiaten in de bestaande theorie en ze hadden zelfs nog gesteld kunnen worden wanneer die al volkomen volmaakt en voltooid zou zijn geweest. Maar Kruyt wilde die eindtoestand niet afwachten en hij maakte de genoemde kwesties tot het uitgangspunt van een tweetal onderzoekingen die hij zijn nieuwe medewerkers zou laten uitvoeren.

Het eerste vraagstuk, dat van de herkomst van de lading van de deeltjes, was in colloïdchemische beschouwingen eigenlijk altijd een beetje genegeerd. Men wist over het algemeen goed hoe de lading teniet kon worden gedaan, maar waar zij oorspronkelijk vandaan kwam vormde een niet volledig beantwoorde vraag. Begin jaren 20 waren de Duitse onderzoeker Fajans en onafhankelijk van hem zijn Indiase collega Mukherjee met de suggestie gekomen van een puur chemische oorsprong. Als colloïddeeltjes in wezen extreem kleine kristalletjes waren (en ook röntgendiffractie-onderzoek leek daarop te wijzen), dan zou hun lading kunnen voortkomen uit de simpele omstandigheid dat de buitenkant van hun kristalrooster gevormd werd door een laag van één van de beide ionen.⁷⁵ Dat zou ook meteen verklaren waarom men een colloïd als dat van zilverjodide alleen uit het Ag^+ - en het J^- -ion kon bereiden wanneer men één van die componenten in overmaat toevoegde: bij equivalente hoeveelheden zou geen van beide ionen in de buitenlaag overheersen, de netto lading daarvan nul blijven, en het sol direct al uitvlokken. Kruyt stond sympathiek tegenover de ideeën van Fajans en Mukherjee en hij leidde eruit af, dat wanneer de 'eigen'

74. Kruyt (n. 40), "Stabilité I", 130.

75. K. Fajans en K. von Beckenrath, "Oberflächenkräfte bei heteropolaren Kristallglitter", *ZPC* 97 (1921) 478-502; J. Mukherjee, "The Origin of the Charge of a Colloidal Particle and its Naturalisation by Electrolytes", *Transactions of the Faraday Society* 16A (1921) 103-115. Overigens sloot het eerder genoemde idee van een stabiliserend elektrolyt zich bij deze voorstelling aan: dat elektrolyt bevatte namelijk vaak één van de ionen waaruit het colloïddeeltje was opgebouwd.



Figuur 12. De structuur van de watermantel volgens Conmar Robinson. Nadat hydratatie in het Utrechtse onderzoek was gevestigd als één van de peilers van de colloïdstabiliteit, besloot Kruyt de precieze aard ervan nader te onderzoeken. Het resultaat was dit beeld van zijn Engelse promovendus Robinson, waarin de pijltjes watermoleculen voorstellen, wier oriëntatie geleidelijk afneemt met de afstand van het deeltje.

(H.R. Kruyt, "La Stabilité des Colloïdes (Quelques nouvelles recherches et une réponse à M. Auguste Lumière)", *Revue Générale des Colloïdes* 8 (1930) 263)

ionen een colloïddeeltje zijn lading konden geven, dat 'vreemde' ionen, die echter wel in het kristalrooster pasten, dat ook zouden moeten kunnen. Die vraag liet hij zijn assistent P.C. van der Willigen (de opvolger van Tendeloo) nader onderzoeken en als 'Versuchsol' koos hij daarvoor inderdaad het AgJ (Kruyt en de zijnen duiden jodium meestal aan met 'J'), dat immers een simpele kristalstructuur had, alsmede een lage oplosbaarheid, en dat zich gemakkelijk in positieve en in negatieve vorm liet aanmaken. Van der Willigen bereidde het echter in de instabiele neutrale vorm, die hij vervolgens trachtte te peptiseren (opnieuw in colloïdale oplossing brengen) met verschillende zouten. Het bleek dat inderdaad alleen de ionen van die zouten, die met AgJ mengkristallen kunnen vormen, zoals Cl⁻ en Br⁻, peptisatie teweeg brachten; ionen als NO₃⁻ en SO₄²⁻, die een heel andere roosterstructuur vormden, deden dat nauwelijks of niet. In aansluiting op deze resultaten verrichtte Van der Willigen voor zijn promotie ook nog onderzoekingen naar de buitenlaag van andere colloïden, met name het goudsol, maar hoewel de chemische opbouw daarvan ingewikkelder in elkaar stak, bleef de hoofdconclusie dezelfde: de lading van colloïden werd vooral door roosterkrachten bewerkstelligd.⁷⁶

De tweede fundamentele probleemstelling waarop Kruyts onderzoek zich zou gaan richten betrof de aard van de hydratatie. Een watermantel weerhield hydrofiele colloïden van verkleefing, zoveel was duidelijk, maar hoe die mantel precies was opgebouwd en waarom hij überhaupt bescherming bood, dat waren nog openstaande vragen. Men kon zich bijvoorbeeld voorstellen dat een concrete 'schil' van watermoleculen de neiging tot vereniging van de deeltjes helemaal niet weg zou nemen - integendeel: de oppervlakte-

76. H.R. Kruyt en P.C. van der Willigen, "Zur Kenntnis der elektrischen Doppelschicht bei Kolloiden. Das Silberjodidsol", *ZPC* 139 (1928) 53-63. Paul Christiaan van der Willigen, *Lading en Uitlokking van Suspensoiden*, proefschrift Rijksuniversiteit Utrecht (Amsterdam, 1927), m.n. hoofdstuk 13. Gedurende zijn assistentschap verrichtte Van der Willigen ook onderzoek naar het effect van elektrolytmengsels op de colloïdstabiliteit, stromingspotentialen en kataforese. Zie bijvoorbeeld H.R. Kruyt en P.C. van der Willigen, "De stabiliteit van suspensoiden onder invloed van elektrolytmengsels", *Versl. KAW* 34 (1925) 1240-1247; "Strömingspotentiale und Kolloïdstabilität II", *KZ* 45 (1928) 307-319; en noot 81 van dit hoofdstuk.

spanning aan de buitenkant van zo'n laag zou net zo groot zijn als die van het kale deeltje zonder watermantel. Toch werkte de hydratatie klaarblijkelijk als stabiliteitsfactor en dus moest men dat effect op een andere manier zien te verklaren. Kruyts Britse promovendus Conmar Robinson kwam nu met zo'n alternatieve voorstelling waarbinnen de beschermende werking inderdaad begrepen kon worden. Volgens Robinson moest de watermantel niet gezien worden als een harde schil, maar meer als een soort atmosfeer van watermoleculen die, van binnen naar buiten, steeds minder sterk aan het deeltje gebonden waren, en vooral in steeds mindere mate erdoor georiënteerd werden (zie Figuur 12). De oppervlaktespanning was daardoor over een grote ruimte 'uitgesmeerd', hetgeen de neiging tot verkleving effectief verkleinde. Robinson zelf gebruikte deze voorstelling voornamelijk als leidraad bij zijn eigen onderzoek naar lyotropische effecten (de specifieke interacties van verschillende ionen met omringende watermoleculen) dat hij bij Emil Hatschek in Londen zou voltooien.⁷⁷ Maar Kruyt vond in het nieuwe beeld tevens de verklaring voor een heel ander verschijnsel, dat op zich weer het object zou worden voor een reeks van nieuwe onderzoekingen: de 'coacervatie'.

Coacervatie was een naam die Kruyt samen met Bungenberg de Jong bedacht had voor een fenomeen dat op zichzelf al veel langer bekend was - vooral onder meer biologisch georiënteerde colloïdchemici, waartoe Bungenberg de Jong, als nieuwe hoogleraar 'medische chemie', inmiddels ook zelf behoorde. Het verschijnsel kwam erop neer dat hydrofiele colloïden zich onder bepaalde omstandigheden konden verenigen, niet om samen te kleven en uit te vlokken, maar om kleine druppeltjes te vormen waarin de deeltjes zelf intact bleven, maar waarin zij veel sterker geconcentreerd waren dan in de omringende vloeistof waaruit de druppeltjes zich afscheidden. Deze 'samenhoping' (wat coacervatie letterlijk betekende) lijkt wellicht niet meer dan een curiositeit, maar vooral de analogie van het 'coacervaat' met het levende protoplasma was zo treffend, dat het verschijnsel zijn eigen betekenis in zekere zin ontsteeg. Kruyt en Bungenberg de Jong brachten 'hun' coacervatie in 1929 met het nodige tromgeroffel (via speciale 'voorlopige mededelingen') naar buiten, en dat was dus niet vanwege hun eigen ontdekking van het verschijnsel, noch vanwege de naam die ze eraan gaven (hoewel ze die wel omstandig toelichtten), maar vooral vanwege de verklaring die ze er, op grond van Conmar Robinsons beschouwingen, voor gevonden hadden. Als men zich de watermantel namelijk voorstelde als een atmosfeer van steeds minder sterk georiënteerde watermoleculen, dan kon men zich ook een beeld vormen van wat er gebeurde bij een beperkte *dehydratie*: daarbij "schilt men om zoo te zeggen de hydratatiemantel geleidelijk van buiten af" zodat na enige tijd alleen de binnenlaag van sterk georiënteerde watermoleculen overblijft, aldus Kruyts beschrijving.⁷⁸ Deze resterende

77. H.R. Kruyt en Conmar Robinson, "Over lyotropie", *Versl. KAW* 35 (1926) 812-818. Conmar Robinson, *The Lyotropic Series*, proefschrift Rijksuniversiteit Utrecht (Amsterdam, 1929). Zie ook Kruyt (n. 46), "Problemen VI", 160-163, m.n. 161. De zogenaamde lyotrope reeks gaf de mate aan waarin ionen effecten teweegbrachten die samenhangen met hun invloed op de omringende watermoleculen; daartoe hoorde ook de uiteenlopende invloed van ionen op de watermantel van colloïden, en zodoende was Kruyt erin geïnteresseerd. Robinson verrichtte zijn onderzoek in het Van 't Hoff-lab in 1926 en 1927, en voltooide het aan het John Cass Technical Institute in London, bij de Britse colloïdchemicus Hatschek.

78. Kruyt (n. 77), "Problemen VI", 162. H.R. Kruyt en H.G. Bungenberg de Jong, "Coacervation. (Partial miscibility in colloid systems)", *Proc. KAW* 32 (1929) 849; "Koazervation. (Entmischung in kolloiden Systemen.) Vorläufige Mitteilung", *KZ* 50 (1930) 39-48. Zie ook H.G. Bungenberg de Jong, "Hydratatie bij Lyophile Solen" (lezing voor vergadering van de Sectie Kolloïdchemie, 17 juli 1929), *CW* 26 (1929) 589 en H.R. Kruyt, "De diffuse

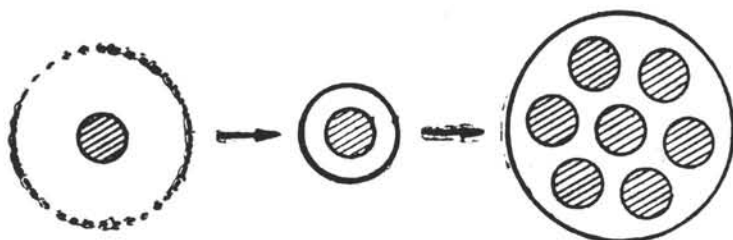
'concrete' watermantel zou nu wel weer een duidelijke oppervlaktespanning bezitten en dus ook de neiging hebben zich met zijn soortgenoten te verenigen: de waterlaagjes van naburige colloïden zouden ineenvloeien en een veelheid aan deeltjes zou zich gaan hullen in één gezamenlijke hydratatiemantel - dát was wat er bij coacervatie gebeurde (zie Figuur 13). Voor Kruyt vormde deze voorstelling overigens veel meer dan een 'hypothese ad hoc', want zij bood op haar beurt weer een mogelijke verklaring voor een scala van andere verschijnselen. Bijvoorbeeld het beeld van de concrete watermantel waarin de moleculen zeer sterk gebonden waren, leek licht te kunnen werpen op zulke uiteenlopende processen als de vochthuishouding van cactussen en de afwijkende vriespuntsdaling in colloïdale oplossingen. De theorie van de coacervatie inspireerde zodoende weer tot een hele serie van volgende onderzoeken, die voornamelijk door Bungenberg de Jong en zijn school maar ook wel in het Van 't Hoff-lab werden opgepakt en voortgezet. Kruyt en zijn oud-leerling publiceerden de resultaten ervan, samen met die van ander onderzoek aan hydrofiele colloïden, in de gezamenlijke artikelenreeks "Zur Kenntnis der lyophilen Kolloide", die zij in 1928 waren begonnen en die tot ver in de jaren 30 zou doorlopen. De duiding van coacervatie leidde op die manier uiteindelijk tot tientallen nieuwe publikaties.⁷⁹

5.2 *sluimerende dreiging*

De aandacht voor meer fundamentele vraagstellingen kon hele nieuwe onderzoekslijnen openen, maar toch zou Kruyt zich niet uitsluitend bezighouden met het bewandelen van nieuwe wegen. Want gedurende dezelfde periode kwam ook het oude beeld van lading en hydratatie onverhoopt weer onder vuur te liggen. In de loop van de jaren 20 ontstonden er steeds meer bezwaren, experimentele zowel als theoretische, tegen met name de voorstelling van lading als stabiliteitsfactor. De theoretische bezwaren kwamen er vooral op neer dat het bestaande beeld te simpel was. Binnen Kruyts school werd daarom al enige tijd niet meer gesproken van de 'lading' van een deeltje, maar van zijn 'elektrische dubbel-laag', want om de oorspronkelijke lading heen vormde zich altijd een tweede laag van tegenionen, als bij een bolvormige condensator. Maar ook deze voorstelling van de dubbel-laag, die vaak aan Helmholtz werd toegeschreven, bleek al gauw te eenvoudig te zijn. Reeds in 1910 had de fysicus G. Gouy erop gewezen, dat bij grensvlakken in een oplossing de

watermantel en de invloed van colloïden op de vriespuntsdaling", *ibid.* 27 (1930) 40. De biologische relevantie van coacervaten leek overigens groter dan alleen een uiterlijke overeenkomst met protoplasma; ook de neiging tot vacuolenvorming en de binding van vreemde stoffen tot hoge concentraties leverden sterke analogieën, waarvan de betekenis zowel door Kruyt als Bungenberg de Jong zeer serieus werd genomen. De parallellen stimuleerden ook de Russische onderzoeker A.I. Oparin in de jaren 30 om een theorie te ontwikkelen die de oorsprong van het leven zocht in een coacervatieproces in de oersoep. Zie Harmke Kamminga, *Studies in the History of Ideas on the Origin of Life from 1860*, proefschrift University of London (1980) hoofdstuk 7 en 8.

79. Kruyt ondernam de eerste onderzoeken naar aanleiding van het coacervatiebeeld met K.C. Winkler en zijn latere assistent en promovendus P. Koets. Beide betroffen de waterbinding; zie H.R. Kruyt en K.C. Winkler, "Ueber den Einfluss hydratiertes Kolloide auf die Gefrierpunktniedrigung", *Zeitschrift für anorganische Chemie* 188 (1930) 200-218 en H.R. Kruyt, "Over kolloïd-gebonden water (n.a.v. onderzoeken van P. Koets)", *Versl. KAW* 40 (1931) 36-37. De serie "Zur Kenntnis der lyophilen Kolloide" werd gepubliceerd in de *Kolloïdchemische Beihefte* en behandelde aanvankelijk vooral het oudere werk aan hydrofiele colloïden uit de Utrechtse school (waaronder zelfs nog Bungenberg de Jongs promotie-onderzoek), dat eerder alleen in het Nederlands was beschreven. Al gauw kwam er echter nieuw onderzoek bij. Zie H.R. Kruyt en H.G. Bungenberg de Jongs, "Zur Kenntnis der lyophilen Kolloide. I. Mitteilung. Allgemeine Einleitung: das Agarsol", *Kolloïdchemische Beihefte* 28 (1929) 1-54, m.n. 1-4.



Figuur 13. Coacervatie als tweetrapsproces: het 'afpellen' van de diffuse watermantel tot een concrete schil, gevolgd door de samenhoping van verschillende deeltjes in een coacervaat. In deze laatste toestand zagen Kruyt en Bungenberg de Jong analogieën met de levende cel.

(H.R. Kruyt, "La Stabilité des Colloïdes. Quelques nouvelles recherches et une réponse à M. Auguste Lumière", *Revue Générale des Colloïdes* 8 (1930) 266)

buitenkant van de dubbellaag niet gezien moest worden als een vaste korst, maar als een atmosfeer van beweeglijke ionen. Deze 'theorie van de diffuse dubbellaag' drong slechts geleidelijk tot de colloïdchemici door, maar halverwege de jaren 20 moesten ook Kruyt en Freundlich de superioriteit van Gouy's voorstelling erkennen. Ook werd het hun duidelijk dat het nieuwe beeld grote consequenties zou moeten hebben voor de stabiliteitsbeschouwingen, want de aandacht zou daarbij niet meer uitsluitend kunnen uitgaan naar de adsorptie van lading aan het colloïdale oppervlak, maar moest evengoed de toestand van de oplossing in het gebied rond het deeltje in ogenschouw nemen. Wellicht had de gehele capillair-chemische benadering zelfs haar langste tijd gehad, maar vooralsnog bestond daarover voornamelijk onzekerheid. Een zeker voor gevoel dat er grote veranderingen op til waren, had Kruyt echter al wel bekropen, en in zijn lezingen aan het eind van de jaren 20 gaf hij daar ook regelmatig uiting aan.⁸⁰

De stabiliteitstheorie werd serieus bedreigd, want ook van experimentele zijde bestond er groeiende onzekerheid over haar belangrijkste peiler. Eén van de bezwaren kwam van de Britse onderzoeker Powis, die al in 1916 had gevonden dat sommige colloïden op weg naar uitvlokking hun lading niet verloren maar juist vergrootten - althans, zo had het geleken uit kataforese-experimenten met een arseensulfidesol, dat steeds sneller ging bewegen bij toevoeging van eenwaardige elektrolyten. Dit verschijnsel, dat sindsdien vaker was waargenomen, druiste regelrecht in tegen elke voorstelling van lading als stabiliteitsfactor, en Kruyt zou zich dan ook, vanaf 1925, gaan inspannen om de anomalie weg te werken. Het meest voor de hand lag de veronderstelling dat er iets aan de kataforesemethode niet deugde, hetgeen allerminst een *ad hoc* hypothese was, want de techniek kende werkelijk vele praktische complicaties. Maar ook nadat Kruyt die samen met Van der Willigen uit de

80. Ook in *Colloids* liet Kruyt al doorschemeren dat er twijfel bestond over de factor lading, al achtte hij de bestaande voorstelling althans voorlopig nog de beste: "Nobody can be blind to the fact that current opinions are far from adequate. The more the investigations considered are extended and applied to suspensoid sols, the better one realizes that the picture drawn has been highly idealized. An extension of the theory presented, possibly a radical improvement, may be expected. After all, any theory in the domain of the natural sciences is based on the conception of facts that prevails at a certain period, only to be succeeded by another that presents a better and truer correlation." Zie Kruyt, *Colloids* (n. 7), 158.

weg had geruimd, bleef het verschijnsel zich nog voordoen, en zelfs bij nog meer solen dan voorheen.⁸¹ Een andere mogelijke verklaring was dat de kataforesnelheid helemaal geen goede indicatie gaf van de lading van de deeltjes, en in die gedachte leek meer hoop te schuilen. In de formule die het verband gaf tussen de twee grootheden stond namelijk onder andere ook de diëlectrische constante, en het was niet ondenkbaar dat de grootte daarvan gedurende de toevoeging van elektrolyt aanzienlijk zou veranderen. Om dit idee te testen besloot Kruyt nu om de experimenten te herhalen, met als eenwaardig elektrolyt een sterk adsorberende stof, die veel minder invloed zou hebben op de diëlectrische constante omdat er maar een kleine hoeveelheid van zou hoeven te worden toegevoegd. David Briggs, een Amerikaan die als post-doc bij Kruyt was komen werken, voerde de proeven uit en verkreeg inderdaad het verlangde resultaat. Kennelijk was de versnelling die Powis had waargenomen niet meer dan een accidenteel verschijnsel, opgewekt door onverhoopte afwijkingen in de diëlectrische constante. Het essentiële verband tussen lading en stabiliteit hoefde er niet door te worden aangetast en de "grondslag van de geheele moderne kolloïdchemie", zo verklaarde Kruyt in een speciale voordracht, was gered en leek zekerder dan ooit tevoren.⁸²

5.3 *crisis in de colloïdchemie*

Het tijdstip waarop Kruyt deze triomfantelijke woorden uitsprak is enigszins ironisch, want nauwelijks twee weken ervóór had zijn geestverwant Freundlich een publikatie de wereld ingestuurd, die de 'grondslag' onder de stabiliteitstheorie alsnog volledig weg zou slaan. Juist de voorstelling van geadsorbeerde lading als stabiliteitsfactor werd door Freundlich's bevindingen volkomen onderuit gehaald, en het ene artikel, zo schreef Kruyt reeds korte tijd later, betekende "*la mort sans phrase* voor de oude theorie; de overledene moge een aantrekkelijk mensch geweest zijn, wij moeten met haar dood rekenen."⁸³ Deze drama-

81. Al op de jaarvergadering van het Kolloid-Gesellschaft in 1925, had Kruyt alle praktische problemen die de kataforesemethode met zich meebracht op een rij gezet, en in een aantal experimenten hadden zijn student Adriaan Roodvoets en Van der Willigen die vervolgens met succes weten te omzeilen. Een latere herhaling van de proeven van Powis door Van der Willigen gaf echter nog steeds versnelling van de deeltjes te zien, en nu niet meer alleen bij het arseensulfide, maar ook bij het seleen- en het kwiksulfidesol. Zie H.R. Kruyt, "Die Methoden zur Bestimmung Ladungsgröße kolloider Teilchen", *KZ* 37 (1925) 358-365; Kruyt, A.C.W. Roodvoets en P.C. van der Willigen, "Cataphoresis, Electrical Charge, Critical Potential, and Stability of Colloids", *Colloid Symposium Monographs* 4 (1926) 304-310; Kruyt en Van der Willigen, "Kataphorese und Ladung", *ZPC* 130 (1927) 170-176; Kruyt en Van der Willigen, "Ueber die Methodik der kataphoretischen Messungen bei Suspensoiden", *KZ* 44 (1928) 22-33.

82. H.R. Kruyt, "Lading en uitvlokking bij lyophobe kolloïden", *NNGC* 22 (1929) 125-126. David R. Briggs, "Cataphoretic Measurements and the Theory of the Critical Potential", *Journal of Physical Chemistry* 34 (1930) 1326-1352. Briggs had in 1927 zijn PhD behaald aan de University of Minnesota in Minneapolis en werkte als fellow van de Amerikaanse National Research Council aan het Van 't Hoff-lab en daarna in Duitsland; in 1936 werd hij hoogleraar aan zijn oude universiteit. Kruyt had over het algemeen veel contact met de University of Minnesota, omdat I.M. Kolthoff, die privatdocent in Utrecht was geweest, daar sinds 1927 een leerstoel bekleedde. Kruyt had al in 1917 samen met Kolthoff gepubliceerd, en in 1931 traden ze gezamenlijk op als promotores van de Nederlandse student Wouter Bosch die in Minneapolis zijn onderzoek had verricht. Misschien dat Kolthoff mede zo actief contact hield, omdat hij verwachtte ooit uit de V.S. terug te keren. Interview met Izaak M. Kolthoff, Oral History Series 0027, Chemical Heritage Foundation, Philadelphia, Verenigde Staten.

83. H.R. Kruyt, "Problemen der Hedendaagsche Kolloïdchemie II. Potentiaalvermindering door electrolyten", *CW* 27 (1930) 54-56: 55. Op het moment van Kruyt's voordracht over het herstel van de oude theorie (begin april 1929) was Freundlich's artikel wel verzonden maar nog niet verschenen; Kruyt zou er echter nog in dezelfde maand mee

tische ontwikkelingen waren teweeggebracht door in wezen vrij eenvoudige experimenten. Aangespoord door de groeiende twijfel omtrent de rol van de lading in de stabiliteit van colloïden, had Freundlich besloten om met zijn medewerkers Joachimsohn en Ettisch het hele mechanisme van de adsorptie van elektrolyten nog eens grondig te onderzoeken. Uitgangspunt van de theoretische beschouwingen was steeds geweest, dat er een zekere kritische potentiaal op de deeltjes bereikt moest worden om een sol te laten uitvlokken. Van het ene elektrolyt waren daartoe weliswaar grotere hoeveelheden nodig dan van het andere, maar dat kwam doordat niet alle stoffen even sterk adsorbeerden: sommige ionen kleefden *en masse* aan het deeltjesoppervlak, terwijl andere zich in verhouding meer in de oplossing ophielden. Maar wat voor elektrolyt men ook gebruikte, op het punt van uitvlokking zou er een gelijke hoeveelheid lading moeten zijn geadsorbeerd, en dit equivalentieprincipe besloot Freundlich nu te gaan controleren. In een serie experimenten bepaalde men hoeveel elektrolyt er bij de coagulatie eigenlijk aan de deeltjes gekleefd zat, en de bedragen die deze metingen opleverden bleken bij lange na *niet* equivalent. Van het natriumion werd bijna 50 maal zoveel geadsorbeerd als van methyleenblauw, en ook van zeer verwante ionen konden de adsorptiewaarden orden van grootte verschillen. Nu zo sterk uiteenlopende hoeveelheden lading coagulatie bewerkstelligden leek het hele idee van uitvlokking door neutralisering van de deeltjes buitengewoon twijfelachtig geworden, en Freundlich en de zijnen zagen zich gedwongen de "bisher vertretene Theorie" op te geven.⁸⁴

Ook Kruyt zou al snel van de onontkoombaarheid van de conclusies overtuigd worden, vooral ook "doordat de vader der geheele theorie, Freundlich zelf, de theorie den grond onder de voeten heeft weggetrokken." Aanvankelijk had Kruyt zijn hoop nog even gevestigd op mogelijke experimentele onnauwkeurigheden, maar een persoonlijke toelichting van zijn Duitse collega had ook die grashalmen direct weer weggenomen.⁸⁵ De situatie leek uitzichtloos, en de tweede uitgave van *Colloids*, waaraan Kruyt bezig was te werken, werd zelfs bijzonder problematisch, want zoals we gezien hebben steunde dat leerboek in hoge mate op de voorstelling van lading en hydratatie. Kruyt kon de verschijning echter niet meer tegenhouden, en hij haastte zich slechts er een voorwoord aan toe te voegen vol verontschuldiging en slagen om de arm, alsmede de opmerking dat de tekst in feite op "het niveau van 1929" was blijven steken. Ter compensatie schreef hij kort erna ook een ander boekje, waarin de aandacht niet langer werd gevestigd op de eenheid, maar juist op de ontstane gebreken binnen het vakgebied: *Problemen der Hedendaagsche Kolloïdchemie*. Kruyts "gewaande basis [was] drijfzand geworden" en voor hem vormde 1929 niet alleen het jaar van de recessie in de wereldeconomie, maar tevens de aanvang van wat hij noemde de crisis in de colloïdchemie.⁸⁶

kennismaken. Overigens verdween de tegenspraak tussen beide uitkomsten wanneer men onderscheid maakte tussen de potentiaalverlagende werking van elektrolyten (die Briggs had aangetoond) en het mechanisme van adsorptie (dat Freundlich had onderuitgehaald), hetgeen Kruyt ook al gauw zou doen.

84. H. Freundlich, K. Joachimsohn en G. Ettisch, "Über die Bedeutung der Aufnahme von Ionen durch die Kolloidteilchen bei der Elektrolytkoagulation", *ZPC* 41A (1929) 249-269.

85. Kruyt (n. 83), "Problemen II", 55.

86. H.R. Kruyt, *Colloids. A Textbook* (2e ed.; New York en London, 1930) v; deze tweede druk zou enkele jaren later in het Frans vertaald worden als *Les Colloïdes* (n. 73). H.R. Kruyt, *Problemen der Hedendaagsche Kolloïdchemie* (Amsterdam, 1930); dit boekje was een separaatuitgave van een achtdelige artikelenreeks die begin 1930 in het

6. De AgJ-oplossing

6.1 *research as usual*

Kruyt had een eventuele bijstelling van het beeld van lading en hydratatie zien aankomen, maar de vernietiging teweeggebracht door het werk van Freundlich, Joachimsohn en Ettisch, was groter dan hij ooit had kunnen vermoeden. De hele capillair-chemische benadering van colloïdstabiliteit had haar grondslag verloren en binnen vijf jaar was het luxe-probleem van een voltooide theorie omgeslagen in het schaarste-probleem van helemaal geen theorie. Toch bleek de kloof die met de crisis was geslagen niet zo onoverkomelijk als zij aanvankelijk had geleken. Sterker nog, al in september 1929, in hetzelfde voorwoord van de tweede druk van *Colloids*, verklaarde Kruyt dat hij een volledig nieuwe behandelingswijze van het stabiliteitsvraagstuk voor ogen had - een behandelingswijze die niet langer gebaseerd was op het idee van geadsorbeerde lading, maar op radicaal andere principes. Hoe Kruyts voorstelling er precies uitzag, hield hij vooralsnog voor zijn lezers verborgen, want hij achtte zijn ideeën nog te prematuur om er al een heel leerboek op te baseren. Het leek noodzakelijk eerst het nodige onderzoek uit te voeren om te zorgen voor een deugdelijke experimentele basis van de nieuwe theorie, en daaraan zou Kruyt zich inderdaad al gauw gaan wijden. Dit onderzoek, reeds begonnen vóór het rampjaar 1929 goed en wel voorbij was, zou uitgroeien tot een grootscheeps programma dat de eerste helft van de jaren 30 volkomen zou domineren, en dat in wezen tot het einde van Kruyts hoogleraarschap zou worden voortgezet. Samen met het nog doorlopende werk aan hydrofiele colloïden (Kruyt achtte de hydratatie-peiler van de stabiliteitstheorie *niet* onderuit gehaald) zou het *de* hoofdlijn gaan vormen in het onderzoek van de Utrechtse school. Daarom, én omdat het programma laat zien hoe Kruyt ondanks het wegvallen van de theorie zijn onderzoeksaanpak toch nog wist te handhaven, is het goed om dit werk wat nader te bekijken.⁸⁷

Kruyt beschouwde de overwinning op de crisis ook zelf als één van de belangrijkste prestaties binnen zijn onderzoek, en in zijn afscheidscollege van 1946 gaf hij een uitgebreide beschrijving van de gebeurtenissen die geleid hadden tot het herstel. Na een periode van "de grootst mogelijke wetenschappelijke onzekerheid", zo schreef hij, had hij in 1932 besloten om zich naar Berlijn te begeven, om daar direct "met Freundlich te overleggen, hoe wij uit dezen neerdrukkenden toestand zouden kunnen geraken." In een lang gesprek hadden de beide heren zich afgevraagd hoe het eigenlijk mogelijk was geweest dat de onjuistheid van de adsorptie-hypothese zo lang verborgen had kunnen blijven. De conclusie luidde dat er vroeger weliswaar veel onderzoek was gedaan aan verschillende systemen, maar dat de aard en de precieze toestand van de geprepareerde colloïden daarbij in feite zelden goed hadden vastgestaan - onjuiste gevolgtrekkingen waren zodoende al te gemakkelijk mogelijk geweest. Deze diagnose van de situatie leverde ook meteen haar remedie: de oude fouten zouden gecorrigeerd moeten worden door opnieuw een grootscheeps onderzoek op te zetten, maar

Chemisch Weekblad werd gepubliceerd. Kruyt gaf een beschrijving van de 'crisis' (zoals hij de toestand zelf noemde) in zijn "Afscheidscollege" (n. 1), 265.

87. Kruyt (n. 86), *Colloids* 2e ed., v. Al in januari 1930 kondigde Kruyt aan "in dit laboratorium een uitvoerig onderzoek over het zilverjodidesol" te zijn begonnen, om de gerezen problemen het hoofd te kunnen bieden. Zie H.R. Kruyt, "Problemen der Hedendaagsche Kolloïdchemie IV. Constituenten der dubbellaag en de peptisatie", *CW* 27 (1930) 114-116: 116.

nu aan veel duidelijker gedefinieerde systemen. Het aantal daarvan kon het beste beperkt worden gehouden, en de twee professoren besloten het werkterrein meteen maar onder elkaar te verdelen: Freundlich zou zich toe gaan leggen op de metaaloxidesolen, en Kruyt koos zonder aarzelen voor de zilverhalogeniden, en daarvan met name het AgJ-sol (waaraan in Utrecht toen al een tijdje gewerkt werd - Kruyts latere verslag lijkt hier niet geheel accuraat). Tragisch genoeg kon het plan echter maar voor de helft worden uitgevoerd, want al in het volgende jaar zou het nieuwe Duitse nazi-regime het werk voor Freundlich, die joods was, onmogelijk maken. In 1933 vertrok Freundlich naar Engeland en vijf jaar later naar Amerika, maar hij zou er in geen van beide plaatsen meer aan toe komen een omvangrijk onderzoeksprogramma op te zetten. Kruyt kon zijn aandeel in het plan wel verwezenlijken en in de jaren die volgden zou het AgJ inderdaad uitgroeien tot het ware 'huisol' van de Utrechtse school. Het grootschalige onderzoeksprogramma, waarmee Kruyt de crisis zou bezweren, zou zich haast volledig gaan concentreren op dat enkele object.⁸⁸

Wat was er eigenlijk zo bijzonder aan het AgJ-sol dat er een hele crisis mee kon worden bestreden? Zoals we al gezien hebben bij het werk van Van der Willigen vormde het ten eerste in puur praktische zin een geschikt en handelbaar systeem: het viel gemakkelijk te bereiden, in verschillende positieve zowel als negatieve vormen, en daarbij waren hoge concentraties haalbaar, zodat allerlei deeltjeseigenschappen (bijvoorbeeld de hoeveelheid J aan het oppervlak) kwantitatief meetbaar werden. Bovendien bleek men van het zeer verwante zilverbromide (AgBr) capillairen te kunnen maken, en dus zou men stromingspotentiaalonderzoekingen kunnen verrichten aan materiaal waaruit ook colloïddeeltjes waren opgebouwd - een ongekende nieuwe mogelijkheid.⁸⁹ Maar Kruyt had AgJ boven alles uitgekozen, omdat het een heel simpele roosterstructuur bezat, en ook de grenslaag (getuige het onderzoek van Van der Willigen) eenvoudig in elkaar stak. Dat laatste was absoluut niet het geval bij bijvoorbeeld goudcolloïden, waaromheen zich verscheidene oxidelagen bevonden, terwijl ook het veelvuldig gebruikte arseensulfide veel ingewikkelder was opgebouwd. Kruyt merkte op dat dat sol weliswaar was uitgegroeid tot "l'animal domestique" van de colloïdchemie, maar dat huisdieren nu eenmaal een complexere structuur hadden dan eencelligen en zich dus ook veel slechter leenden voor fundamentele onderzoekingen. Het voordeel van het AgJ-sol was zijn eenvoud, want die zorgde ervoor dat de essentiële kenmerken veel "zuiverder voor den dag" kwamen. Alleen door "uitvoerige onderzoekingen" aan een dergelijk systeem, zo verklaarde Kruyt in een lezing, kon er opnieuw

88. Kruyt (n. 1), "Afscheidscollege", 265. Freundlich werd na zijn vlucht uit Duitsland door Donnan geholpen aan een post als 'honorary research associate' aan University College, London (op geld van het Britse chemieconcern ICI). Deze aanstelling had een maximumduur van vijf jaar, maar Freundlich kon nog vlak vóór zij afliep hoogleraar worden aan de University of Minnesota, in Minneapolis, Verenigde Staten. Freundlich zou zijn nieuwe leerstoel echter nog geen drie jaar bezetten, want op 30 maart 1941 overleed hij aan een hartaanval. Gedurende zijn "zwerfjaren", zoals Kruyt ze zou noemen, zou Freundlich nooit meer in staat zijn op dezelfde schaal onderzoek te verrichten als in zijn zeer grote laboratorium in Berlijn; de faciliteiten en het aantal medewerkers waren een stuk beperkter in London en Minneapolis, en bovendien had Freundlich zich de laatste jaren van zijn leven gecommiteerd aan het schrijven van een omvangrijk leerboek, dat echter ook niet meer gereedgekomen is. Zie onder andere Heller (n. 5), "Freundlich", 13, en H.R. Kruyt, "Levensbericht van H. Freundlich (1880-1941)", *Jaarboek der Nederlandsche Akademie van Wetenschappen 1941-1942* (Amsterdam, 1942) 214-217.

89. Andere voordelen van AgJ waren de zeer lage oplosbaarheid en het feit dat alle deeltjes zichtbaar waren onder de ultramicroscop. Om de identiteit van het sol nog beter vast te leggen, vermeldde men er in later jaren steeds de 'pI' bij, dat wil zeggen: de jodideconcentratie waarbij het bereid was.

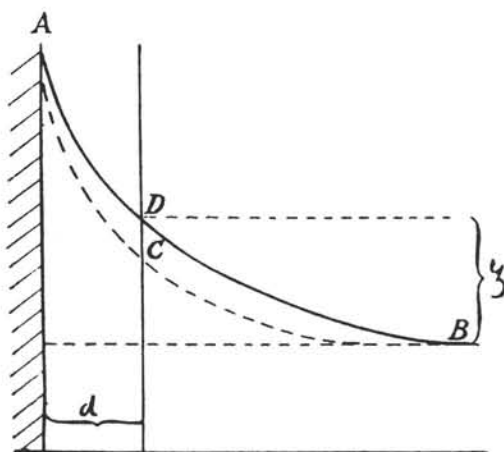
"algemeen inzicht (...) worden gekregen omtrent de stabiliteitsverhoudingen bij hydrophobe solen."⁹⁰

AgJ was voor Kruyt een "ideaal model-kolloid", en met zijn keuze ervan volgde hij in wezen nog altijd zijn oude onderzoeksaanpak. Alleen trok hij die ditmaal welhaast door tot in het extreme, want waar hij voorheen steeds geschikte voorbeeldsolen had uitgezocht om deelvragen te beantwoorden (hiaten in de bestaande voorstellingen aan te vullen), daar diende het AgJ nu om een complete nieuwe theorie op te bouwen. Dáárom ook moest het sol zo ongecompliceerd zijn, immers: hoe 'zuiverder' het voorbeeldsysteem, des te 'algemener' de betekenis van de waargenomen eigenschappen. Naast de keuze van een voorbeeldsol was zodoende ook de doelstelling van Kruyts onderzoek nog dezelfde als vroeger: het opbouwen van een zoveel mogelijk omvattende, "algemeene theorie" op het gebied van colloidstabiliteit. Het enige verschil met de tot nog toe gevolgde strategie lijkt te zijn dat een theorie *als uitgangspunt* voor het onderzoek ontbrak, want de crisis was immers ontstaan doordat de bestaande theoretische achtergrond was weggefallen. Dit idee lijkt nog versterkt te worden door het feit dat Kruyt herhaaldelijk verkondigde dat hij de zilverhalogeniden probeerde te bestuderen, niet vanuit één vooraf bepaald gezichtspunt, maar "à tous les points de vue possibles"⁹¹ - een opstelling die weinig gemeen lijkt te hebben met zijn vroegere voorkeur voor selectief ingenomen en consequent volgehouden standpunten (zie zijn waardering voor Freundlich's *Kapillarchemie*, voor zijn tegenstander Pauli, en de opzet en ontvangst van *Colloids*). Maar had Kruyt die oudere voorkeuren dan werkelijk opgegeven? Zou hij zijn experimenten vanaf nu inderdaad gaan richten op het her en der verzamelen van onsamenhangende gegevens? Dat zou pas echt een verandering inhouden ten opzichte van zijn vroegere manier van onderzoek bedrijven. Nadere beschouwing laat echter zien dat van een dergelijke omwenteling geen sprake was: Kruyt ging in zijn onderzoek nog altijd uit van een duidelijk omlinjd theoretisch kader, en ook dat kader zelf was, in ruwe vorm, al uit eerder onderzoek afkomstig.

Vreemd genoeg vinden we al in de dissertatie van Tendeloo de basis voor de theorie die bij het latere AgJ-onderzoek als leidraad zou gaan dienen en waarbinnen de meeste uitkomsten daarvan ook zouden worden geïnterpreteerd. Tendeloo had dat zelf natuurlijk nog niet kunnen bevroeden, en zijn beschouwingen waren ook allerminst bedoeld geweest om een nieuwe algemene theorie op te bouwen, maar veeleer om *ad hoc* verklaringen te kunnen geven voor de speciale gedragingen die hij bij zijn sol was tegengekomen. Zoals we gezien hebben, was hij bij het gummi-arabicum gestuit op een klaarblijkelijk verband tussen lading en hydratatie - dat wil zeggen: het leek of de dikte van de watermantel van deeltjes invloed

90. H.R. Kruyt, "Grensvlakpotentialen, in het bijzonder aan zilverhalogeniden", *Versl. KAW* 42 (1933) 71-72: 72. Kruyt vergeleek het arsensulfidesol met een huisdier in "Nouvelles Recherches" (n. 41), 566-567: "Nous avons toujours considéré As_2S_3 comme un sol typique -peut-être parce que sa préparation est si simple- et il est devenu 'l'animal domestique' de la science des colloïdes. Mais, nous rappelant qu'une amibe, par exemple, est moins compliquée que les animaux qui nous sont familiers, nous avons cherché un sol plus simple".

91. Kruyt (n. 41), "Nouvelles recherches", 567. Kruyt verkondigde hetzelfde plan op een congres in Moskou, in 1932, en hoopte daar ook meer deelnemers te recruteren, die zich op andere voorbeeldsolen zouden kunnen concentreren: "Wie wir im Anfang sagten, scheint es nötig zu sein zur Klärung der heutigen Probleme der Kolloidchemie genaue untersuchungen zu machen an bestimmten Solen und jedesmahl in sehr verschiedener Richtung. Wir haben diese Aufgabe für die Silberhalogeniden begonnen und hoffen, dass andere in derselbe Art und Weise andere Objekte einer scharfen Prüfung unterworfen werden." Zie H.R. Kruyt, "Kapillar-Elektrische Untersuchungen an Silberhalogeniden", *Physikalische Zeitschrift der Sowjetunion* 4 (1933) 295-303: 303.



Figuur 14. Het potentiaalverloop in de diffuse dubbellaag. Dit beeld, in 1926 door Tendeloo gebruikt als een *ad hoc*-verklaring voor een speciaal verschijnsel, zou in de jaren 30 gaan gelden als de algemene oplossing voor de 'crisis' in de colloïdchemie. Tendeloo zelf ontleende het aan oudere beschouwingen van Gouy.

(H.J.C. Tendeloo, *Lading en Hydratatie* proefschrift Rijksuniversiteit Utrecht (Amsterdam, 1926) 93)

kon hebben op de grootte van de potentiaal aan hun buitenkant. Om dat ongebruikelijke effect te kunnen verklaren had Tendeloo de bestaande voorstellingen moeten uitbreiden, en dat had hij gedaan op grond van Gouy's theorie van de diffuse dubbellaag. Daarin was namelijk sprake van niet één, maar twee potentialen: de 'vaste' ϵ , die bepaald werd door de eigen lading van de colloïden en die aan hun oppervlakte heerste, en de wat meer veranderlijke ζ , die gold op enige afstand van de deeltjes, aan de rand van de hydratatiemantel (zie Figuur 14). De waarde van ζ was altijd lager dan die van ϵ , want rond het deeltje bevond zich immers de diffuse laag van tegenionen, die de potentiaal geleidelijk met de afstand deden dalen. Voor Tendeloo was dit belangrijk, want de hoogte van de ζ -potentiaal was zodoende afhankelijk van de precieze dikte van de watermantel (d in Figuur 14 - merk op dat de watermantel ten tijde van Tendeloo nog niet als diffuus werd gezien), en dat was wat hij uiteindelijk had willen verklaren. Maar ζ kon ook op een heel andere manier relevant zijn voor de stabiliteitsvoorwaarden, want de grootte ervan was eveneens afhankelijk van de toestand van de diffuse dubbellaag. Wanneer de tegenionen namelijk een vrij ijle atmosfeer vormden, dan zakte de potentiaal maar langzaam met de afstand en bleef ζ dus betrekkelijk groot. Maar als de atmosfeer werd samengeperst tot een compacter laagje, dan werd het potentiaalverloop veel steiler (de stippellijn in Figuur 14) en daalde ζ aanmerkelijk in grootte. Met andere woorden: zonder dat ϵ veranderde, dat wil zeggen zonder dat het deeltjesoppervlak door adsorptie hoefde te worden ontladen, kon toch een potentiaaldaling plaatsvinden door comprimering van de ionenatmosfeer. Dit proces, dat als 'het indrukken der dubbellaag' bekend zou worden, vormde hét alternatief voor ontlading door adsorptie,

en het was om die reden dat de voorstelling ervan na 1929 zo belangrijk zou worden.⁹²

Kruyt hoefde nog maar enkele wijzigingen aan te brengen in de beschouwingen van Tendeloo om ze geschikt te maken voor het nieuwe onderzoek. De belangrijkste daarvan betrof de aard van de waterlaag, want hoewel zijn leerling die duidelijk had geïdentificeerd met de hydratatiemantel, wilde Kruyt er ook mee kunnen werken bij hydrofobe colloïden. Dat kon gelukkig goed, want het was bekend dat die ook altijd een dun laagje van 'vaste' watermoleculen om zich heen droegen, die met het deeltje een onverbreekelijke 'kinetische eenheid' vormden. Dat was in feite ook wat ζ (de 'elektro-kinetische potentiaal') tot zo'n relevante grootte maakte, want in alle verschijnselen waarin colloïden als bewegende eenheden optraden (kataforese, uitvlokking) bepaalde ζ zagezegd hun gezicht naar de buitenwereld. Andere wijzigingen die het model zou moeten ondergaan, hadden te maken met het toch weer toelaten van bepaalde vormen van adsorptie. Het was immers onmiskenbaar dat bijvoorbeeld sterk adsorberende elektrolyten *niet* uitsluitend de ionenatmosfeer indrukten, maar zich wel degelijk ook op het oppervlak van het deeltje nestelden. Om met die mogelijkheid rekening te houden had de Duitser Otto Stern de Gouyse beschouwingen uitgebreid met een 'adsorptiepotentiaal', maar Kruyt achtte die toevoeging vooralsnog weinig concreet en voor nadere invulling vatbaar. Om alle bestaande potentialen en de precieze opbouw van de dubbellaag goed in kaart te brengen, was duidelijk nog uitgebreid onderzoek noodzakelijk. Maar om dat onderzoek te kunnen uitvoeren beschikte Kruyt in ieder geval al over een geschikte globale voorstelling, die daarbij als leidraad en algemene achtergrond kon gaan dienen.⁹³

Achteraf lijkt het misschien vreemd dat er voor Kruyt zomaar ineens een nieuwe theorie uit de lucht kwam vallen. Maar we moeten ons realiseren, dat er, naast het voorbereidende werk van Tendeloo, in de tweede helft van de jaren 20 meer ontwikkelingen in gang gezet waren die werkten in de richting van de nieuwe voorstellingen. We hebben al gezien dat Kruyt en de zijnen er al een tijdje van overtuigd waren dat het model van Gouy te prefereren was boven het eenvoudige beeld van een enkele vaste lading. En we hebben ook gezien dat het onderzoek van Van der Willigen erop gericht was de herkomst van de lading, en daarmee de opbouw van de dubbellaag, te achterhalen. De structuur van de dubbellaag zou in het nieuwe programma hét onderwerp van onderzoek gaan vormen, en alleen al de keuze van AgJ als voorbeeldsol wijst op de continuïteit tussen het werk van Van der Willigen en het grootscheepse nieuwe onderzoek van na 1930. Misschien is de 'crisis' in de colloidchemie later wel iets te dramatisch voorgesteld, en was de breuk met het verleden die zij teweegbracht niet zo abrupt als bijvoorbeeld uit Kruyts afscheidscollege naar voren komt. Het is in dit verband ook opvallend te zien dat degenen die in 1933 de ontwikkeling van Kruyts onderzoek beschreven, met geen woord over enige crisis repten, terwijl ook

92. Tendeloo (n. 55), *Lading en Hydratatie*, hoofdstuk 9. Overigens noemde Tendeloo ook zelf al de tweede mogelijkheid (indrukken der dubbellaag), omdat hij die meende te hebben aangetroffen bij het zetmeelsol. Hij vergeleek het viscositeitsverloop bij elektrolyttoevoeging van beide solen (zetmeel en gummi-arabicum), en verklaarde dat met veranderingen in de watermantel en de ζ -potentiaal binnen het genoemde Gouyse model.

93. Kruyt vond de beschouwingen van Stern anno 1930 zowel experimenteel als theoretisch nog te slecht gefundeerd; later zouden diens ideeën echter wel in de Utrechtse school worden toegelaten. Zie H.R. Kruyt, "Problemen der Hedendaagsche Kolloidchemie III. De elektrische dubbellaag", *CW* 27 (1930) 101-103: 103. Overigens zouden in aansluiting op de naam 'elektro-kinetische potentiaal' ook de capillair-elektrische verschijnselen steeds vaker 'elektrokinetische verschijnselen' genoemd worden, ook om de eerdere associatie van 'capillair' met adsorptie voortaan te vermijden.

hijzelf in een soortgelijk overzicht dat hij een jaar eerder presenteerde, wel het AgJ-onderzoek, maar niet de noodsituatie noemde.⁹⁴ Maar wat ook het beste beeld is - crisis of continuïteit - het is een feit dat Kruyt aan het begin van de jaren 30 klaarstond met een geschikt theoretisch kader (de diffuse dubbellaag), een uitgelezen voorbeeldsysteem (het AgJ-sol), en een vertrouwde doelstelling (het opbouwen van een algemene theorie van colloïdstabiliteit). Aan al zijn bekende voorwaarden voor een succesvol onderzoeksprogramma was voldaan.

6.2 vroeg onderzoek aan de dubbellaag

Vele promovendi zouden aan de uitvoering van Kruyts programma meewerken, en door hun bijdragen ontstond ook langzamerhand een steeds nauwkeuriger en gedetailleerder beeld van de structuur van de dubbellaag. Het is zo goed als ondoenlijk - en wellicht ook weinig zinvol - om hier alle onderzoeken de revue te laten passeren, maar om een indruk te krijgen is het goed om het werk van een aantal leerlingen, wier bijdragen Kruyt ook de belangrijkste achtte, kort te behandelen. Een typerend onderzoek, bijvoorbeeld, was dat van C.A. Cysouw, die in 1934 bij Kruyt promoveerde, en die experimenteerde met systemen van colloïdaal kwiksulfide en koper(II)ferrocynaat. Daardoor week hij dus af van de AgJ-lijn, maar zijn onderzoek stond daarmee wel in zeer nauw verband. Cysouw bekeek, in navolging van Van der Willigen, welke elektrolyten de deeltjes van zijn solen konden peptiseren, en hij vond, eveneens net als zijn voorganger, dat alleen die ionen, die zich bij de roosterstructuur van de colloïden konden aansluiten, daartoe goed in staat waren. Op zichzelf bevatte dit onderzoek dus niet veel meer dan een herhaling van eerder uitgevoerde experimenten, maar doordat de uitkomsten daarvan nu eveneens werden gevonden bij ingewikkelder opgebouwde systemen, werd het AgJ-sol erdoor bevestigd in zijn rol als "ideaal model-kolloïd": de eigenschappen ervan hadden werkelijk algemene betekenis. Cysouw publiceerde zijn resultaten dan ook in een artikelenserie die eveneens al bij Van der Willigen was begonnen. Die had in 1928 één stuk gepubliceerd onder de titel "Zur Kenntnis der elektrischen Doppelschicht bei Kolloïden", en in de jaren 30 werd onder diezelfde titel verder gegaan in een reeks van artikelen, die de eerste 'etalage' zou gaan vormen van het nieuwe Utrechtse programma.⁹⁵

Een ander onderzoek dat niet aan AgJ verricht werd, maar daarbij eveneens zeer nauw aansloot, was dat van Paul F.J.A. Julien, een antropoloog en wereldreiziger (auteur van het veelgelezen *Kampvuuren Langs de Evenaar*), die scheikunde had gestudeerd in Utrecht. Julien ondernam met succes pogingen om stromingspotentialen te meten aan zilverhalogeniden, en daartoe moest hij dus van het materiaal waaruit normaal gesproken de onderzochte colloïddeeltjes bestonden, capillairen zien te vervaardigen. Om praktische redenen was dat met zilverjodide zo goed als onmogelijk, maar het lukte hem wel met zilverbromide: AgBr. Juliens bevindingen sloten prachtig aan bij eerdere observaties van Van der Willigen, maar

94. Zie Tendeloo (n. 1), "Leidende Gedachten", Bungenberg de Jong (n. 1), "Onderzoekingen aan Lyophiele Kolloïden" en Kruyt (n. 1), "Twintig Jaar".

95. Overigens was Van der Willigen's eerste stuk nog niet bedoeld als het begin van een serie; de titel vermeldt ook niet het nummer 'I. H.A. Cysouw, *Peptisatie en Isomorphie*, proefschrift Rijksuniversiteit Utrecht (Utrecht, 1934). H.R. Kruyt en H.A. Cysouw, "Zur Kenntnis der elektrischen Doppelschicht bei Kolloïden. V. Einige ergänzende Untersuchungen über Peptisation der isomorphen Ionen", *ZPC* 172 (1935) 49-55 en "Zur Kenntnis der elektrischen Doppelschicht bei Kolloïden. VI. Peptisation durch andere Ionen als die Eigene", *ibid.*, 56-63. Zie ook Kruyt (n. 91), "Untersuchungen an Silberhalogeniden", 298-299 en Kruyt (n. 41), "Nouvelles recherches", 569-570.

zijn experimenten leverden ook enkele totaal onverwachte resultaten op, die tot belangrijke algemene conclusies leidden. Van der Willigen had bij zijn werk met het AgJ-sol gevonden, dat de deeltjes daarvan een zekere voorkeur hadden om een negatieve lading te dragen: zelfs wanneer hij de colloïden bereidde bij een lichte overmaat van Ag^+ , dan nog vormden zij een buitenkant die bestond uit overwegend J. Julien merkte nu dat zijn AgBr-capillairen deze neiging tot in het extreme vertoonden: hun oppervlak kreeg *nooit* een positieve lading - zelfs niet bij de grootste overmaat van zilverionen. Wanneer hij echter in plaats van een buisje van glad, gesmolten zilverbromide, een capillair maakte die bekleed was met de korrelige structuur van AgBr-kristalletjes, dan bleek het ineens wel mogelijk een positieve lading te verkrijgen. Bovendien kon deze lading vervolgens ook nog eens verhoogd worden door die ionen, die in het kristalrooster van het materiaal pasten - wederom overeenkomstig de peptisatie van AgJ-colloïden.⁹⁶

Juliens uitkomsten waren opmerkelijk en zij leidden tot niet minder opmerkelijke conclusies. Want als het zilverbromide alleen in korrelige toestand en niet als glad oppervlak een positieve lading aan zich kon binden, dan leek het erop dat de dubbellaag zich uitsluitend vormde aan de breukranden van het kristalrooster. Wanneer men zich de korrelige kristalletjes voorstelde als kleine kubusjes, dan konden dus slechts op de ribben, en niet op de zijden, ladingen en tegenladingen ontstaan. Deze gevolgtrekking zei niet veel over de inwendige opbouw van de dubbellaag, maar met betrekking tot de ruimtelijke verspreiding ervan over het grensvlak was zij hoogst relevant. Ook colloïden zou men moeten zien als deeltjes met maar een zeer beperkt aantal dubbellaagplekken, en hun precieze locaties zouden van doorslaggevend belang kunnen zijn voor de colloïdstabiliteit. Kruyt speculeerde bijvoorbeeld dat de kortstondige 'reversibele uitvlokking' (dat is de fase waarin de beginnende coagulatie nog door flink schudden is terug te draaien) wellicht correspondeerde met de toestand waarin de colloïd-kubusjes slechts met de punten aan elkaar kleefden: ze konden dan nog losgeschud worden. Wanneer vervolgens de gehele ribben hun afstoting verloren en verkleefden, dan zou dat te moeilijk zijn geworden en was de uitvlokking in de irreversibele fase terecht gekomen. Op een dergelijke manier zouden dus vrij basale stabiliteitsfenomenen verklaard kunnen worden, en Kruyt besloot dan ook, onder andere naar aanleiding van het werk van zijn promovendus, dat er behalve inzicht in de structuur ook kennis nodig was van de "topografie van de dubbellaag".⁹⁷

Het onderzoek van veel leerlingen blijft hier ongenoemd, maar aan het werk van één van hen kunnen we onmogelijk voorbijgaan, want hij was zagezegd de exponent van het nieuwe dubbellaagonderzoek en na zijn werk zou Kruyt verklaren dat de colloïdchemie eindelijk "weer vasten grond onder de voeten" had. De bedoelde promovendus was Evert Verwey, en Kruyt had "geboft", zo zei hij later, dat zijn talent zich op zo'n cruciale fase in het onderzoek bij hem had aangemeld. Verwey had gestudeerd in Amsterdam maar was via zijn docent E.H. Büchner, die ook colloïdenonderzoek verrichtte, in contact gekomen met de Utrechtse school in de colloïdchemie. Hij wilde zich daar graag bij aansluiten, maar kon alleen een assistentschap krijgen in Groningen, bij Jaeger, die hem echter toestond zijn onderzoek onder Kruyts begeleiding uit te voeren. Aldus geschiedde, en met groot succes.

96. P.F.J.A. Julien, *Elektrokinese der Silberhalogeniden*, proefschrift Rijksuniversiteit Utrecht (Amsterdam, 1933). Zie ook Kruyt (n. 90), "Grensvlakpotentialen aan zilverhalogeniden", 71; (n. 91), "Untersuchungen an Silberhalogeniden", 300-302; en (n. 41), "Nouvelles recherches", 570-572.

97. Kruyt (n. 41), "Nouvelles Recherches", 575.

Verwey verrichtte een massa experimenten, scherpte de theorie aan, maakte die kwantitatief waar mogelijk, en verschaftte het beeld van de indrukbare dubbellaag tegelijk een concretere invulling en steviger onderbouwing - min of meer zoals Bungenberg de Jong dat ruim tien jaar vóór hem gedaan had met de voorstelling van lading en hydratatie. Ook Verweys proefschrift vertoonde wel overeenkomsten met dat van die voorganger - dat wil zeggen: het plaatste op dezelfde leerboekachtige manier experimentele uitkomsten in een doorlopend theoretisch betoog. Een verschil was echter, dat Verwey ervoor gekozen had de beschrijving van de proeven zelfs maar helemaal achterwege te laten en daarvoor te verwijzen naar een drietal artikelen, die hij een jaar eerder met Kruyt gepubliceerd had. In zijn dissertatie behandelde hij die artikelen op dezelfde manier als alle andere literatuur, en zijn boekje kreeg zo de vorm van een ware monografie over *Dubbellaag en stabiliteit van lyophobe kolloïden* (de auteur gebruikte moderne spelling).⁹⁸ Verwey liet zich in zijn werkwijze niet gauw door conventies binden, en dat kwam zijn onderzoek vooral ten goede. Na zijn promotie zette hij zijn werk (colloïdchemisch en anderszins) al even glansrijk voort op het Natlab van Philips, waarvan hij in 1946, naast zijn zwager Henk Casimir, directeur werd.⁹⁹

Verweys promotie-onderzoek was "oorspronkelijk opgezet om meer materiaal te verwerven over de hoeveelheden elektrolyt welke door de soldeeltjes bij de vlokking werden opgenomen, en daardoor het falen van de vlokkingstheorie van Freundlich beter te kunnen verklaren." Het project liep echter uit in een veel omvangrijker onderneming waarbij Verwey probeerde meer duidelijkheid te brengen in het hele stabiliteitsvraagstuk. Hij deed dat onder andere door de definities van een aantal tot dusver gehanteerde begrippen aan te scherpen en deze waar nodig uit te splitsen. Freundlichs vroegere sleutelbegrip 'adsorptie' bijvoorbeeld (Verwey zette dat woord liefst tussen aanhalingstekens) kon wijzen op processen die welbeschouwd zeer van elkaar verschilden. Soms duidde de term op het hechten van ionen aan het oppervlak van een deeltje, om de vaste binnenkant van de dubbellaag op te bouwen - dat konden alleen ionen die in het kristalrooster pasten, zoals J of Cl⁻ bij AgI (Verwey noemde dit 'potentiaalbepalende ionen'). Andere keren verwees het woord echter naar het binnendringen van ionen in de diffuse buitenkant van de dubbellaag - daartoe waren in principe alle ionen in staat (Verwey sprak hier van 'uitwisseling van tegenionen'). Verwey concentreerde het onderzoek nu in eerste instantie op het

98. E.J.W. Verwey, *Dubbellaag en stabiliteit van lyophiele kolloïden*, proefschrift Rijksuniversiteit Utrecht (Groningen, 1934). De drie artikelen zijn: E.J.W. Verwey en H.R. Kruyt, "Zur Kenntnis der elektrischen Doppelschicht bei Kolloïden. II. Doppelschicht und Stabilität undialysierter AgI-Sole", *ZPC A* 137 (1933) 137-148; "Zur Kenntnis der elektrischen Doppelschicht bei Kolloïden. III. Doppelschicht und Stabilität dialysierter AgI-Sole", *ibid.*, 149-163; en "Zur Kenntnis der elektrischen Doppelschicht bei Kolloïden. IV. Die Aufnahme von Ionen flockender Elektrolyte durch die Teilchen des Silberiodid-Sols", *ibid.*, 312-328.

99. Verwey deed zijn praktisch werk in Groningen en ook voor een klein deel in het laboratorium van I.M. Kolthoff in Minneapolis, Verenigde Staten, alwaar hij op een stipendium van de Nederlands-Amerikaanse Fundatie enige tijd verbleef. Verwey kwam regelmatig naar Utrecht, onder andere om daar de colloquia voor leerlingen en oud-leerlingen van Kruyt (plus belangstellenden) bij te wonen, na welke gelegenheden hij vaak bij zijn promotor overnachtte. Over Verweys persoon en levensloop, zie met name de autobiografie van zijn vrouw, een bekend PvdA-politica, die hij in zijn socialistische kring ontmoet had: Hilda Verwey-Jonker, *Er Moet een Vrouw in. Herinneringen in een kentering van de tijd* (Amsterdam, 1988) hoofdstuk 5 ("Evert"). Zij typeert hem onder andere als iemand die "bepaald niet van 'conventioneel gedoe'" hield. Volgens G. Somsen, die Verwey kende uit zijn eigen promotietijd (begin jaren 60), was hij ook wetenschappelijk een "origineel denker". Interview met G. Somsen, 18 juli 1997.

eerstgenoemde fenomeen: de totstandkoming van wat hij noemde de 'primaire stabiliteit'. Door met behulp van de elektrochemie aan dit proces te rekenen, kon hij vaststellen dat het niet verliep volgens Freundlich's oude adsorptie-isotherm, maar volgens een eenvoudige Nernstse formule die ook zou gelden voor een elektrode van AgJ in een J-oplossing en die de ϵ -potential als uitkomst had. De lading die zich zo op de deeltjes vormde, kon Verwey nu ook kwantitatief bepalen, via een groot aantal metingen van uiteenlopende grootheden (geleidbaarheid, kataforesesnelheid, deeltjesaantal). Hij stelde vast dat zich op elk AgJ-deeltje gemiddeld 900 J-ionen bevonden - een verrassend laag aantal, dat echter schitterend aansloot bij Juliens eerdere conclusie dat de dubbellaag zich op maar enkele plaatsen concentreerde. Het aantal J-ionen bleek inderdaad nooit het aantal beschikbare posities op de ribben van het kristalrooster te overstijgen.¹⁰⁰

Met evenveel succes richtte Verwey zijn pijlen op de 'secundaire stabiliteit': het effect van allerhande elektrolyten op het diffuse deel van de dubbellaag. Hij stelde vast dat wanneer de daarin aanwezige ionen slechts hun plaats afstonden aan die van toegevoegde elektrolyten, dit de ζ -potential, en dus de stabiliteit, in feite volkomen onberoerd kon laten. De ionen in de dubbellaag die werden meegesleurd bij de uitvloeking, en waarvan men vroeger aannam dat ze aan de deeltjes geadsorbeerd waren en deze hadden ontladen, hoefden dus in principe niets met de coagulatie te maken hebben gehad. Toch waren er ook veel gevallen waarin de toegevoegde elektrolyten wel invloed hadden op de stabiliteitsverhoudingen, maar die traden uitsluitend op wanneer de dikte van de ionenatmosfeer door hun toedoen werd veranderd. Verwey stelde vast dat de mate van deze invloed afhing van vele verschillende factoren: van de eigenschappen van de ionen (valentie, plaats in de lyotrope reeks, etc.) maar ook bijvoorbeeld van de concentratie van het sol. Door deze beschouwingwijze kon Verwey ook verklaren waarom het ferrocyaan-ion was gebleken peptiserend (dat wil zeggen: stabiliteitsverhogend) te werken op het HgS-sol, terwijl het absoluut niet in het kristalrooster van de deeltjes paste. Er was hier echter geen sprake van invloed op de primaire, maar op de secundaire stabiliteit: het ferrocyaan trok positieve ionen weg uit de diffuse dubbellaag, die daardoor 'ijler' werd en de ζ -potential deed stijgen. Van der Willigen (die zich uitsluitend op de primaire stabiliteit gericht had) had dit effect nog niet goed kunnen thuisbrengen, maar bij Verwey vielen dergelijke verschijnselen precies op hun plaats.¹⁰¹

Men kan zich voorstellen dat Kruyt bijzonder ingenomen was met Verwey's verrichtingen, want daardoor had het hele beeld van de elektrische dubbellaag sterk aan duidelijkheid en samenhang gewonnen. Met name het onderscheid tussen de totstandkoming van het binnenste deel (door de potentialbepalende ionen) en de latere veranderingen in de diffuse buitenlaag, werkte zeer verhelderend, en de begrippen primaire en secundaire stabiliteit werden in Utrecht algemeen overgenomen. Verwey had de voorlopige voorstelling waarmee Kruyt aan het dubbellaagprogramma was begonnen voorzien van een veel concretere uitwerking, en de hoop dat men weer op de goede weg was naar een voltooide algemene theorie, was zodoende hersteld. Vooral die laatste zekerheid

100. Het citaat over de oorspronkelijke doelstelling van Verwey's onderzoek komt van *Dubbellaag en stabiliteit* (n. 98), 3; de nieuwe definities staan samengevat op p. 100, Verwey werkte de potentialformule uit in hoofdstuk 1. De berekening van het aantal J-ionen wordt gegeven in Verwey en Kruyt (n. 98), "Zur Kenntnis III". Zie ook Kruyt (n. 41), "Nouvelles recherches", 572-575.

101. Verwey en Kruyt (n. 98), "Zur Kenntnis IV". Zie ook Kruyt (n. 41), "Nouvelles recherches", 573-574.

stemde Kruyt tot grote vreugde, en in een lezing aan het *Institut des Hautes Études* te Brussel, nog vóór Verweys promotie had plaatsgevonden (*cum laude*, op 12 maart 1934), deed Kruyt uitgebreid en met een zekere trots verslag van de prestaties van zijn laatste leerlingen. Een paar jaar geleden, zo hield hij zijn publiek voor, leek de grond nog onder de colloïdchemie te zijn weggeslagen, maar nu al was de situatie een stuk rooskleuriger:

j'ai l'impression que certaines recherches modernes (dont je vous ai relaté quelques-unes [voornamelijk die van Verwey]) nous replacent sur un terrain solide qui manquait depuis la théorie classique de Freundlich s'est révélée insuffisante pour expliquer les expériences nouvelles. La chimie des sols hydrophobes en paraît rajeunie, et nous continuerons la route de la science, toujours belle et plein de promesses.¹⁰²

6.3 een grootschalig programma

De "weg der wetenschap" die Kruyt was ingeslagen, was gebleken de juiste te zijn, en het dubbellaagprogramma kon met vertrouwen en overtuiging worden voortgezet. Nog vele onderzoeken zouden volgen op het werk van Verwey, en heel vaak hadden ze ook zijn bevindingen als uitgangspunt. Het zou nog steeds ondoenlijk zijn om alle projecten hier te bespreken, maar om een indruk te krijgen van het onderzoek, zoals dat vanaf de tweede helft van de jaren 30 in de 'Kruyt-tuin' plaatsvond, is het wederom goed er een aantal onderzoeken uit te lichten.

Een belangrijk deel van de projecten kwam weer voort uit hiaten of onvolkomenheden in het bestaande (door Verwey bevestigde en aangescherpte) beeld van de stabiliteitsvoorwaarden, en van de dubbellaag in het bijzonder. Een goed voorbeeld van dergelijk werk leveren de onderzoeken van Henk de Bruyn, een getalenteerd student die op een speciaal stipendium uit het Hoogewerff-fonds bij Kruyt zijn promotie-onderzoek verrichtte. De Bruyn had een belangrijke tegenstrijdigheid gevonden in de resultaten van Verwey, die ertoe dwong diens voorstellingen aan revisie te onderwerpen. Verwey had namelijk de capaciteit van de dubbellaag weten te meten, en had daarbij waarden gevonden, die erop wezen dat de twee lagen van tegengesteld geladen ionen zich op zeer korte afstand van elkaar bevonden: de dubbellaag vormde als het ware een condensator van moleculaire afmetingen. Nu had Stern, zoals gezegd, al theoretische beschouwingen voor deze situatie ontwikkeld, want hij had om andere redenen aangenomen dat zich een enkele schil van tegenionen vlak om het deeltje zou bevinden - en daar ook strak aan zou zijn gebonden.¹⁰³ Maar dat laatste, zo liet De Bruyn op overtuigende wijze zien, strookte niet met de grote beweeglijkheid van alle tegenionen waarop Verweys metingen van de ion-activiteiten duidelijk wezen. De Bruyn ontwikkelde daarom zelf een alternatief model, waarin deze tegenstelling werd opgeheven, doordat hij er vanuit ging dat er tussen de J-ionen, die de binnenkant van de dubbellaag vormden, nog heel veel ruimte vrij bleef. In die tussenruimten zou zich de compacte Stern-laag kunnen vormen, zonder dat de ionen daarin werkelijk aan het deeltje vast zouden komen te zitten. Dit idee leek in overeenstemming met de localisatie van ladingen die

102. Kruyt (n. 41), "Nouvelles recherches", 577-578.

103. Stern had zijn adsorptiepotentiaal gekoppeld aan een dergelijke laag van 'vaste' ionen, waarvan hij het bestaan had aangenomen op thermodynamische gronden: in de binnenste schil van de diffuse dubbellaag zou de warmtebeweging van de ionen onvoldoende zijn om de aantrekking van de deeltjeslading te overwinnen. O. Stern, "Zur Theorie der Elektrischen Doppelschicht", *Zeitschrift für Elektrochemie* 30 (1924) 508-516.



Figuur 15. Kruyt en zijn leerlingen rond 1940. Zittend: Kruyt (met sigaar) en Sep Troelstra; staand in het midden: diens mede-assistent Overbeek; en direct achter Troelstra: Kruyts latere assistent Friedrich Klaarenbeek.

(Vakgroep Fysische en Colloïdchemie, Utrecht, J. Suurmond)

Juliens onderzoek had uitgewezen, en het sloot bovendien mooi aan op enkele andere resultaten van Verwey betreffende het ontstaan van de AgJ -kristallen. Maar bovenal kon De Bruyn zijn beeld bevestigen aan de hand van ingenieuze experimenten, waarbij hij zowel de situatie met uitsluitend een diffuse dubbellaag, als die met alleen een compacte schil in het leven kon roepen. Het verschil tussen deze twee toestanden verschafte hem vervolgens de benodigde informatie over de aard en positie van de Stern-laag.¹⁰⁴

Het werk van De Bruyn wierp zelf ook weer vragen op, en die werden het uitgangspunt van weer volgende onderzoekingen. Bij zijn potentiaalmetingen was De Bruyn namelijk gestuit op het merkwaardige verschijnsel, dat de mate waarin jodide-ionen geadsorbeerd werden om de binnenkant van de dubbellaag te vormen, afhing van de concentratie van de deeltjes. Dit fenomeen, dat hij het sol-concentratie-effect noemde, was lastig te duiden en het vormde zodoende een geschikt onderwerp voor een hoop nieuw experimenteel werk. Eén van de onderzoekers die hierop zou promoveren was Marga Klompé, de latere KVP-

104. H. de Bruyn, *Electrostatica der phasengrens*, proefschrift Rijksuniversiteit Utrecht (Utrecht, 1938). Verwey had in zijn promotie-onderzoek ook gevonden, dat de deeltjes in AgJ -solen vlak na hun bereiding nog allerlei herkristallisaties ondergingen totdat zich nette roosterstructuren hadden gevormd. De Bruyn concludeerde daaruit, dat de aanvankelijke deeltjesvorming rommelig verliep en dat zich waarschijnlijk eerst J-Ag^+ -tweetallen of J-Ag^+ -J-drietallen zouden vormen. Zulke staafjes zouden vervolgens loodrecht op het oppervlak van het deeltje komen te staan en op de vlakken daartussenin konden zich dan de Sternse tegenionen nestelen.

minister, die eind jaren 30, naast een betrekking als leraar aan verschillende scholen, op het Van 't Hoff-laboratorium werkte. Klompé vond dat de verklaring van De Bruyn zelf, die het effect had toegeschreven aan onzichtbaar kleine AgJ-deeltjes, niet houdbaar was, maar ze kon zijn bevindingen wel uitbreiden met een aantal soortgelijke betrekkingen. Zo bleek het haar dat ook de secundaire stabiliteit van AgJ-deeltjes (hun gevoeligheid voor vreemde elektrolyten) van de solconcentratie afhankelijk was, en wel in positieve zin bij eenwaardige elektrolyten, en in negatieve zin bij meerwaardige: dáárvan was minder nodig bij meer deeltjes. Een overeenkomstig verband vond ze tussen de dichtheid van J op het deeltjesoppervlak en de benodigde elektrolythoeveelheden. Een mogelijke verklaring hiervoor ontleende Klompé aan Sep Troelstra, die tussen 1933 en 1941 Kruyts assistent was en met wie ze lange discussies voerde over haar onderzoek. Zijn interpretatie is iets te ingewikkeld om hier beknopt weer te geven, maar kwam er kort gezegd op neer dat hij aannam dat meerwaardige ionen deeltjes konden doen uitvlokken, niet door de dubbellaag volledig in te drukken, maar juist door schakels te vormen tussen de diffuse dubbellaag-gedeelten van naburige colloïden, die zo met elkaar verbonden raakten. Dit ging des te makkelijker als de solconcentratie hoog was, of wanneer er veel 'ladingsplekken' op de deeltjes aanwezig waren. Troelstra's voorstelling was origineel en interessant maar kon het sol-concentratie-effect nog steeds niet volledig verklaren. Het onderzoek daaraan werd dan ook voortgezet door Robert Loosjes, een promovendus van Kruyt die als assistent werkte aan de Landbouwhogeschool te Wageningen, en later Friederich Klaarenbeek, één van de laatste Utrechtse assistenten.¹⁰⁵

Loosjes bestudeerde het sol-concentratie-effect onder andere in verband met de mogelijkheden en complicaties van potentiometrische bepalingen in colloïdale oplossingen. Zijn onderzoek vormt dan ook één voorbeeld van de zeer vele projecten binnen de Utrechtse school die gericht waren op introduceren van nieuwe, of het verbeteren van oude experimentele methoden - alle in verband met het stabiliteitsonderzoek. De potentiometrie bestond al wat langer, maar een nieuwere techniek waarmee Kruyts promovendus Gribnau en later ook Troelstra werkten, was die van extinctiemetingen: het bepalen van de hoeveelheid licht die door de deeltjes in een oplossing wordt tegengehouden. Gribnau ging onder andere na in hoeverre de extinctieformule die voor gewone oplossingen gold ook bij colloïden opging, waarna Troelstra de methode verder gebruikte om er uitvlokkings-snelheden mee te meten. Hij stuitte daarbij echter ook op het merkwaardige feit dat er verschillen bestonden in de 'pakkingsdichtheid' van de gecoaguleerde vlokken. Als men het sol liet uitvlokken met een eenwaardig elektrolyt, dan kwamen de deeltjes veel dichter tegen elkaar aan te zitten, dan wanneer men meerwaardige ionen gebruikte. Die zorgden voor tamelijk los opgebouwde vlokken, en het was de observatie van deze luchtige netwerken, die Troelstra inspireerde tot zijn voorstelling van brugvormende ionen.¹⁰⁶ Een heel

105. M.A.M. Klompé, *Solconcentratie en uitvlokking bij het AgJ-sol*, proefschrift Rijksuniversiteit Utrecht (Utrecht, 1941); in hoofdstuk viii besprak Klompé Troelstra's verklaring. Overigens was Kruyt niet direct geheel overtuigd van de interpretatie van zijn assistent; zie Kruyt (n. 1), "Colloid Chemistry", 7. Over het werk van Loosjes en Klaarenbeek zie *ibid.*, 4, en Overbeek (n. 1), "Bij het Aftreden", 248.

106. R. Loosjes, *pH-metingen in suspensies*, proefschrift Rijksuniversiteit Utrecht (Amsterdam, 1942). H.R. Kruyt, Fr.B. Gribnau en L.S. Ornstein, "Ueber die Gültigkeit des Lambert-Beer'schen Gesetzes in hydrophoben Kolloiden", *KZ* 262-268. S.A. Troelstra, *Uitvlokking en Omlading*, proefschrift Rijksuniversiteit Utrecht (Utrecht, 1941) Troelstra's voorstelling van brug-ionen was in zekere zin baanbrekend, omdat zij de uitvlokking niet meer zocht in het indrukken van de dubbellaag of in welke dubbellaagverandering dan ook. Andere onderwerpen

andere techniek die in het Utrechtse colloïdenonderzoek werd ingevoerd, draaide om het radiografisch meten van de dielectrische constante, waarmee men vooral inzicht hoopte te krijgen in de opbouw van de watermantel bij hydrofiele colloïden. Kruyts promovendus Denekamp boekte hier hoopgevende resultaten, maar later moest zijn opvolger op deze lijn, Kunst, de hoop toch weer laten varen. Veel grotere inzichten in de hydratatie werden bereikt met de eveneens nieuwe röntgendiffractie-methode, waaraan Kruyts promovendus Favejee zich wijdde samen met N.H. Kolkmeijer, de conservator en tevens kristalanalyse-specialist van het Van 't Hoff-lab. Door hun onderzoekingen kon men bijvoorbeeld vaststellen dat de watermantel rond zetmeeldeeltes in feite een ijs-achtige structuur bezat.¹⁰⁷

Naast nieuwe technieken werden ook oude experimentele methoden, zoals die van de stromingspotentialen, nog steeds intensief gebruikt of nader onderzocht. De kataforese bijvoorbeeld, nu steeds vaker 'electrophorese' genoemd, vormde het object van een groeiend aantal studies in het Van 't Hoff-lab. Kruyt had al in de jaren 20 ondervonden dat het schijnbaar eenvoudige verband tussen de lading van de deeltjes en hun snelheid in het elektrisch veld in feite nogal ingewikkeld in elkaar stak. Van der Willigen en Briggs hadden toen ook enkele storende invloeden weten te identificeren, respectievelijk weg te nemen, maar er bleef nog steeds een diepe kloof gapen tussen theorie en experiment. Een belangrijke bijdrage om deze kloof te overbruggen werd nu geleverd door Theo Overbeek, een buitengewoon talentvolle assistent van Kruyt, en tevens zijn opvolger. Overbeek stelde vast dat de bestaande formules die het verband gaven tussen de ζ -potentiaal en de elektroforetische snelheid alle als tekortkoming hadden dat ze niet volledig rekening hielden met de aard van de dubbellaag. Het viel namelijk te verwachten, dat het diffuse gedeelte daarvan niet als een starre korst met een deeltje mee zou bewegen, maar daar eerder als een soort pluim achteraan zou komen te hangen, terwijl het colloïd aan de voorkant min of meer ontbloot werd. Door de tegengestelde lading zou die diffuse staart het deeltje lichtelijk terugtrekken en zodoende een remmende uitwerking hebben die nog niet eerder was verdisconteerd. In zijn volledig theoretische proefschrift gelukte het Overbeek de invloed van dit 'relaxatie-effect' via lange en ingewikkelde berekeningen af te leiden. Hij kwam daarbij uit op een exacte differentiaalvergelijking, op grond waarvan hij via een wederom ingewikkelde integratie een nieuwe elektroforese-formule kon opstellen. Hoewel in die laatste stap enige benaderingen nodig waren geweest, bleek de formule enkele voorheen onbegrijpelijke effecten prachtig te beschrijven. Het gebleken bestaan van een maximum-elektroforese-snelheid zowel als het vóórkomen van pieken en dalen in de snelheid/concentratie-curves, kwamen schitterend uit Overbeeks theorie naar voren.¹⁰⁸

waarmee Troelstra zich tijdens zijn assistentschap bezighield waren de omlading van colloïddeeltjes en elektroforese.

107. P.J. Denekamp en H.R. Kruyt, "Dielektrische Messungen an hydrophilen Kolloiden. I. Messungen an Agar und Gelatine bei 261m." en "II. Brückenmethode zum Messen der dielektrischen Konstante von leitenden Flüssigkeiten", *KZ* 81 (1937) 62-80 en 151-164. Zie ook Overbeek (n. 1), "Bij het Aftreden", 249. Overbeek onderzocht ook zelf, tijdens zijn jaar in Gent, de mogelijkheden van de methode van de dielektrische constante. N.H. Kolkmeijer en J.C.L. Favejee, "Die Struktur der Wasserhülle der Stärkemizellen", *Zeitschrift für Kristallographie* A 88 (1934) 226-232.

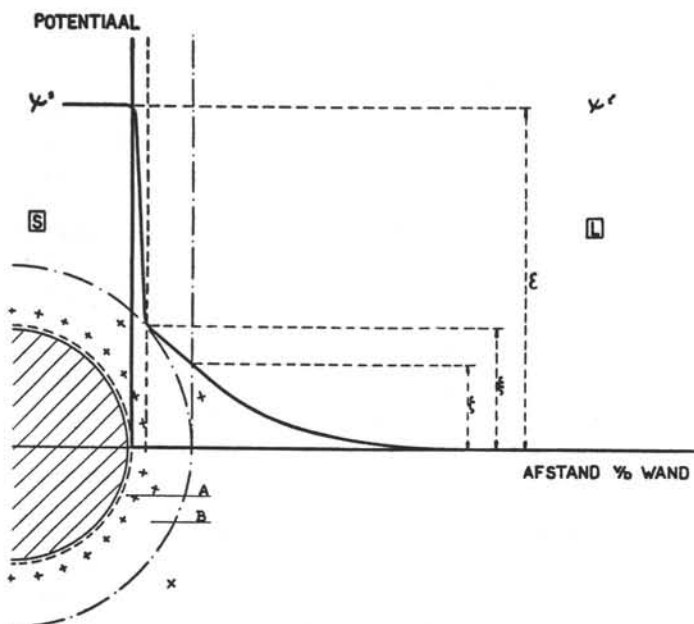
108. Het hier geschetste beeld van het deeltje met de staart behoeft enige nuancering, want op de keper beschouwd beweog de staart niet echt met het deeltje mee. De correcte voorstelling van zaken is, dat het deeltje dóór zijn ionenatmosfeer heen beweog, en dat die aan de achterkant wegstierf terwijl er aan de voorkant een

Het verloop van Overbeeks werkzaamheden geeft een interessante kijk op de evolutie van het Utrechtse onderzoek en de samenhang tussen de verschillende projecten, rond de tweede helft van de jaren 30. Overbeek zelf was in elektroforese geïnteresseerd geraakt, mede door het werk van Kruyts eerdere promovendus Van Gils, die de methode had aangewend om, op een nauwkeuriger manier dan Verwey had kunnen doen, het aantal J-ionen te bepalen, dat de binnenkant van de dubbellaag vormde. Van Gils deed dat door het AgJ-sol te titreren totdat de deeltjes stilstonden maar Overbeek was ervan overtuigd dat het toch ook mogelijk moest zijn om een goed verband te vinden tussen de lading en de snelheid van de deeltjes bij de elektroforese. Om inzicht in dit effect te krijgen legde hij zich vanaf 1936 toe op het meten van transportgetallen: grootheden die aangeven welk deel van de lading door welke dragers (ionen, colloïddeeltjes) tussen de elektroden wordt getransporteerd. Dit werk leidde tot één publikatie met De Bruyn over onzuiverheden (onverhoopte zware-metaalionen) in AgJ-solen, maar in 1938 werden Overbeeks experimenten onderbroken doordat hij werd opgeroepen voor het in paraatheid gebrachte Nederlandse leger. Tijdens zijn mobilisatie besloot hij de vele wachttijd waarover hij plotseling beschikte, te steken in theoretische berekeningen, en op grond van dat werk schreef hij na thuiskomst zijn dissertatie. Een andere promovendus, Pieter Tattje, had "door de oorlogshandelingen" bij de Duitse inval zijn aantekeningen juist verloren, en hij ging in het laboratorium dan ook verder waar Overbeek twee jaar eerder was gestopt. Met het gereedstaande apparaat bepaalde hij transportgetallen, en op basis van zijn metingen én Overbeeks nieuwe theoretische beschouwingen, kon hij verschillende methoden om de deeltjeslading te bepalen met elkaar in overeenstemming brengen.¹⁰⁹

De onderzoekingen van Van Gils, Overbeek en Tattje waren zo op verscheidene manieren met elkaar verweven, en iets dergelijks kwamen we al tegen bij het werk van De Bruyn, Klompé, Troelstra, Loosjes en Klaarenbeek. Een flink aantal soortgelijke onderzoekslijnen is hier nog ongenoemd gebleven, zoals het onderling gerelateerde werk van Jonker, Hermann en Vogel aan het ontstaan van solen, en de onderzoekingen van Van Nouhuys, opnieuw Vogel, Kruyts dochter Truus en de Poolse gast Basinski ter bevestiging van de ideeën van Verwey en De Bruyn bij andere systemen dan AgJ. Ook de ionenuitwisseling in het diffuse deel van de dubbellaag werd na Verwey nog uitgebreid bestudeerd, en een overeenkomstig terugkerend thema vormde het onderzoek van mengsels van colloïden of van elektrolyten, waarmee in feite al in de jaren 20 begonnen was. Wellicht de belangrijkste doorgaande lijn liep door de verschillende studies van hydrofiele colloïden, die ook al een vroege oorsprong hadden gekend. Ik noemde al even het werk van Denekamp en Kunst en Kolkmeijer en Favejee, maar in deze categorie hoort bijvoorbeeld ook het onderzoek thuis van Kruyts vroegere assistenten Boelman en J.R. de Jong aan eiwitten, alsmede dat van de promovendi Koets, Platzek en Vermaas aan verschillende

nieuwe laag werd opgebouwd. Omdat deze twee processen enige tijd kosten (de relaxatie-tijd), was de toestand op ieder tijdstip evenwel een deeltje met een staart. J.Th.G. Overbeek, *Theorie der Electrophorese. Het relaxatie-effect*, proefschrift Rijksuniversiteit Utrecht (Amsterdam, 1941) en "Theorie der Electrophorese", *Kolloidchemische Beihefte* 54 (1943) 287-304. Zie ook Kruyt (n. 1), "Colloid Chemistry", 2-3.

109. J.Th.G. Overbeek, "Almost fifty years of research" in: P.L. de Bruyn, J. Lyklema, A. Vrij (eds.), *Fifty Years Integration of Forces* (s.l., 1981) 5-13, m.n. 10. H.R. Kruyt en G.E. van Gils, "Elektrophoretische Untersuchungen am Silberjodidsol", *KZ* 78 (1937) 32-40. H. de Bruyn en J.Th.G. Overbeek, "Über reine Silberjodidsol", *KZ* 84 (1938) 186-191. P.H.E. Tattje, *Beweeglijkheden van Ionen in het AgJ Sol*, proefschrift Rijksuniversiteit Utrecht (Utrecht, 1942). Interview met J.Th.G. Overbeek, 28 september 1994.



Figuur 16. Rond 1940 had de Utrechtse voorstelling van de dubbellaag zich ontwikkeld tot een aanzienlijke complexiteit. Vier verschillende lagen werden geacht het deeltje te omgeven - van binnen naar buiten: die van de oppervlaktelading (corresponderend met potentiaal ϵ), de vaste 'Stern-laag' (potentiaal ξ), een 'Smoluchowski-laag' van strak georiënteerde watermoleculen (potentiaal ζ), en de diffuse 'Gouy-laag'. Nog onzichtbaar in deze figuur is de onregelmatige verdeling van de dubbellaag over het deeltjesoppervlak.

(M.A.M. Klompé, *Solconcentratie en Uitvlokkings bij het AgJ-sol*, proefschrift Rijksuniversiteit Utrecht (Utrecht, 1941) 3)

koolhydraten en cellulose - en daarmee is de lijst nog niet eens compleet. Al deze laatste onderzoeken gingen uit van de concepten van hydratatie en coacervatie, die ze zelf weer nader invulden of van nieuwe dimensies voorzagen. Het effect van het hele onderzoek van hydrofobe colloïden was in feite navenant: er ontstonden aanvullende inzichten aangaande de stabiliteitscondities (bijvoorbeeld Troelstra's idee van brug-ionen), maar vooral werd het bestaande beeld van de dubbellaag verder aangescherpt en ingevuld. In Figuur 16, die Marga Klompé in haar proefschrift van 1941 liet afdrukken, is het resultaat hiervan goed te zien: in de plaats van een enkele lading, die men ooit aan de deeltjes had toegeschreven, was een samenstel van vier verschillende lagen gekomen, die ook nog (en dat is in de figuur nog niet eens weergegeven) ongelijkmatig over het oppervlak van het colloïd waren verdeeld. Tien jaar dubbellaagonderzoek hadden de aanvankelijke voorstellingen rijker en subtieler gemaakt.¹¹⁰

110. Voor de verschillende Utrechtse onderzoeklijnen, zie Kruyt (n. 1), "Colloid Chemistry", 1-10; Overbeek (n. 1), "Bij het Afteden", 247-250 en Kruyt (n. 1), "Afscheidscollege", 265-267. Al eerder hadden belangrijke promovendi uit de tweede helft van de jaren 20 ongenoemd moeten blijven, zoals J.L. van der Minne, die in 1928 promoveerde op een onderzoek van emulsies, en L.W. Janssen, die rond dezelfde tijd werkte aan een sterk

7. Kruyt als Onderzoeksleider

7.1 *begeleiding in het lab*

Zoals uit de vorige paragraaf wellicht al enigszins naar voren is gekomen, veranderde er in de loop van de jaren 30 iets in de aard van het onderzoek zoals dat in Kruyts deel van het Van 't Hoff-lab plaatsvond: het was langzamerhand steeds massaler geworden. Die constatering wordt meteen meer dan een vage indruk wanneer we kijken naar de aantallen studenten die over de jaren bij Kruyt werkten. We zien dan voortdurend pieken en dalen, maar het blijkt ook dat het overgrote deel van Kruyts promovendi gedurende de tweede helft van zijn hoogleraarschap hun onderzoekingen verrichtten. Aan het begin van 1930 was nog nauwelijks een vijfde van het uiteindelijke aantal van 62 bij hem gepromoveerd, en vijf jaar later had Kruyt nog steeds de helft van dat totale aantal voor de boeg. Natuurlijk hing deze laboratorium-demografie samen met de algemenere toename van de studentenaantallen, maar de ontwikkeling heeft zeker ook te maken met de groeiende aantrekkingskracht van de Utrechtse school en de persoonlijke uitstraling van Kruyt zelf. We hebben al gezien dat Verwey zich uit Amsterdam aan kwam melden omdat "hij bekoord was door den electrochemischen gedachtengang van de Utrechtsche school", en om soortgelijke redenen kwamen ook steeds meer buitenlanders op het onderzoek in het Van 't Hoff-lab af. Een mooi voorbeeld van een student die primair door 'de man' werd aangetrokken is J.A.W. van Laar, die begin jaren 30 in Groningen studeerde, maar zijn leermeesters aldaar, Jaeger en Backer, als weinig inspirerend ervoer. In een plaatselijke voordracht hoorde hij echter Kruyt geestdriftig over zijn colloïdchemie vertellen, en hij besloot dat hij bij deze hoogleraar wilde promoveren. Van Laar kwam inderdaad naar Utrecht en verrichte zijn gehele onderzoek nog tijdens Kruyts periode, al zou hij, door allerlei onderbrekingen, zijn bul uiteindelijk pas in 1952 uit handen van Overbeek ontvangen.¹¹¹

Niet alleen uit andere steden en landen, maar ook uit naburige vakgebieden stroomden de studenten toe. De eerdergenoemde Robert Loosjes bijvoorbeeld was vanuit bodemkundig oogpunt geïnteresseerd in de potentiometrie in suspensies, en zijn vraagstelling kon goed worden ingebed in het dubbellaagprogramma. Maar Kruyt stond ook open voor promovendi met biochemische en tandheelkundige, en zelfs filosofische, historische en economische interesses, en alleen in die laatste drie gevallen sloot hun werk niet aan bij de Utrechtse colloïdchemie. Gedeeltelijk als gevolg van deze toestroom, maar ook door de ontwikkeling van het onderzoek zelf, werd het scala aan onderwerpen, waarmee men zich in de Kruyt-tuin bezig hield, gaandeweg ook steeds omvangrijker. Was er begin jaren 20 nog sprake van één heldere lijn, rond 1940 liepen er, zoals we gezien hebben, verscheidene onderzoeksrichtingen naast elkaar, en varieerde de invalshoek van min of meer fysiologisch tot bijna theoretisch-fysisch. De meeste deelnemers aan de verscheidene onderzoekingen

verbeterde methode om stromingspotentialen te meten. J.R. de Jong was jarenlang Kruyts assistent (van 1928 tot 1933) en A.B. Boelman juist heel kort (in 1929).

111. Interview met J.A.W. van Laar, 14 oktober 1994. Van Laar hoorde Kruyt spreken voor het Natuurkundig Genootschap in Leeuwarden (waar hij tijdens zijn studie nog woonde), en was aangetrokken door zijn "*flu de bouche*" en met name door de combinatie van theoretische én praktische ingesteldheid ("de verbinding van die twee samen") die Kruyt in zijn voordracht tentoonspreidde. Van Laar promoveerde op *Het Ladingsnulpunt van Zilverjodide*, proefschrift Rijksuniversiteit Utrecht ('s Gravenhage, 1952). Over Verwey zie Kruyt (n. 1), "Afscheidscollège", 266.

waren niet thuis in alle bestreken gebieden en alleen een uitzonderlijk student als Overbeek hield zich in de loop der jaren met zowat het hele scala bezig: in 1932 deed hij een afstudeerproject over complex-coacervatie, in 1934 onderzocht hij de dubbelbreking van vanadiumpentoxide, een jaar later legde hij zich toe op experimenten met elektroforese en de diëlectrische constante, in 1937 schreef hij over de interactie tussen hydrofobe en hydrofiele colloïden, en hij promoveerde uiteindelijk op een puur theoretisch onderwerp. Maar behalve Overbeek waren er slechts weinigen (misschien Troelstra) die in staat waren zich op deze manier in de volle breedte van het Utrechtse onderzoek in te werken.¹¹²

Door deze beide ontwikkelingen - vergroting van de studentenaantallen en verbreding van het scala aan onderwerpen - veranderde vanzelfsprekend ook Kruyts verhouding tot het onderzoek dat in zijn laboratorium plaatsvond. De situatie waarin hij, zoals ooit met Van Arkel, zij aan zij met zijn promovendi de experimenten kon uitvoeren, behoorde in de jaren 30 definitief tot het verleden. Een factor die daarin ook in hoge mate meespeelde, is het feit dat Kruyt in de loop van de jaren steeds meer werkzaamheden buiten het lab kreeg te verrichten (waarover meer in hoofdstuk 5). Vaak was hij nog maar een paar maal per week aanwezig, en als hij verscheen, zo herinnerde Overbeek zich later, "dan moest je je best doen om hem te spreken te krijgen." Marga Klompé, die zelf als lerares werkzaam was naast haar promotie-onderzoek, liep Kruyt zelfs zo goed als altijd mis, en onderhield het contact met haar promotor door haar resultaten op een vel papier te schrijven en dat vervolgens op de deur van de labzaal te prikken - een communicatievorm die natuurlijk niet door iedere promovendus gebruikt werd maar die wel illustratief is voor de ontstane afstand tussen Kruyt en zijn onderzoekers in het algemeen. Kruyts betrokkenheid was niet zozeer kleiner geworden als wel minder direct, en de dagelijkse begeleiding liet hij meer en meer over aan zijn assistenten (vanaf 1934 had hij er twee) en in feite ook aan zijn 'school' als geheel.¹¹³ Die veranderde situatie blijkt ook goed uit de voorwoorden in de dissertaties, waarin de promovendi niet langer alleen Kruyt bedankten, maar dikwijls ook Troelstra en Overbeek (of andere assistenten), en waarin zaken als "de hartelijke samenwerking" en "de geest van gemeenschappelijke werkzaamheid" op het laboratorium steeds vaker werden

112. J. de Liver promoveerde in 1932 bij Kruyt op een proefschrift over "in de tandheelkunde gebruikte amalgamen", waarvoor hij het experimentele werk niet aan het Van 't Hoff-laboratorium verrichtte, maar aan het Tandheelkundig Instituut van de Rijksuniversiteit Utrecht. F.J. Nieuwenhuyzen promoveerde een jaar later bij Kruyt op *Het Biochemisme van de Silicosis*, en ook hij had zijn onderzoek elders (namelijk in Delft) uitgevoerd. De historische, filosofische en economische dissertaties waren: R. Hooykaas, *Het Begrip Element in zijn Historisch-Wijsgeerige Ontwikkeling* (Utrecht, 1933), A.G.M. van Melsen, *Het Wijsgeerig Verleden der Atoomtheorie* (Amsterdam, 1941) en P.S. Pels, *Een Economisch-Statistisch Onderzoek naar de Chemische Industrie in Nederland* (Haarlem, 1943). In deze gevallen trad Kruyt slechts formeel als promotor op en had hij geen aandeel in de begeleiding van het onderzoek.

113. In de tijd van Troelstra en Overbeek was het de gewoonte dat zij hielpen bij het oplossen van de onderzoeksproblemen van promovendi; met Kruyt was er slechts af en toe overleg. Overigens bestonden er geen afspraken over welke promovendus bij welke assistent hoorde; de begeleiding was informeel maar afdoende geregeld. Interview met J.Th.G. Overbeek, 28 september 1994. Het citaat over Kruyts aanwezigheid komt uit een interview met Overbeek op 4 november 1992. Kruyt wees overigens ook zelf op zijn nieuwe verhouding tot het onderzoek: "Wij mogen het dan ook zelf minder en minder doen, om ons heen groeit die telkens zich verjongende schaar van medewerkers, die met enthousiasme, door ons onderwijs gewekt, met de frisheid van telkens weer nieuwe jeugd, medearbeiden aan de wetenschap, die niet Uw of mijn monopolie is, maar die wij, ouderen en jongeren, gemeenschappelijk dienen." H.R. Kruyt, *De Weg der Wetenschap*, rectoraatsrede 1941 (Amsterdam, 1941) 11.

genoemd. Het onderzoek was een zaak van het collectief geworden.¹¹⁴

Kruyts nieuwe verhouding tot het werk in het laboratorium komt ook treffend naar voren in zijn invulling van het gasthoogleraarschap dat hij in 1935/36 aan de universiteit van Gent bekleedde. Hij was daar uitgenodigd door de 'Francqui-stichting' om een cursusjaar lang college te geven, colloquia te organiseren en onderzoekingen op te zetten, hetgeen op alle drie de fronten een succes werd. Er bleek grote belangstelling voor de voordrachten te bestaan en vele studenten namen deel aan het werk aan stromingspotentialen en elektroforese, dat Kruyt er opstartte. Maar Kruyt bleef zelf niet bij alle activiteiten direct en persoonlijk betrokken. Hij verzorgde het college en de inleidende colloquia, maar liet de volgende colloquia over aan zijn Utrechtse assistenten Koets en Overbeek, die ook de dagelijkse begeleiding van het onderzoek voor hun rekening namen. Zij waren *full-time* aanwezig in het Gentse laboratorium, maar Kruyt reisde slechts een paar dagen per week naar de Vlaamse hoofdstad, terwijl in Utrecht de zaken werden waargenomen door zijn assistenten Troelstra en Gribnau. Het welslagen van het Francqui-hoogleraarschap was er echter niet minder door, en het "electro-kinetisch spoor" dat Kruyt in Gent had getrokken, zou nog jarenlang verder worden gevolgd door de plaatselijke professor A.J. Rutgers.¹¹⁵

Kruyts afstand tot het dagelijkse onderzoek was weliswaar groter geworden, maar dit betekende absoluut niet dat hij het niet meer volgde of er geen invloed meer op kon uitoefenen. Zoals Overbeek bij het afscheid van zijn leermeester opmerkte, was de vrijheid die Kruyts leerlingen in het onderzoek kregen, schijnbaar groot, maar uiteindelijk "zeer betrekkelijk". Kruyt gaf in zijn colloïdchemie-college steeds scherp aan hoe het onderzoek er op dat moment voor stond en waar volgens hem de belangrijkste onopgeloste problemen lagen, en de studenten kregen op die manier al impliciet instructie over de meest voor de

114. Vóór 1930 bedankten de meeste promovendi alleen Kruyt en niet de assistenten; alleen Conmar Robinson noemde expliciet Tendeloo en Van der Willigen. Verwey is bij mijn weten de eerste die sprak over de 'Utrechtse School', waarin hij tot zijn spijt "niet vaker opgenomen kon zijn." Veel promovendi die die kans wel gehad hadden, dankten Kruyt er dan ook vooral voor een tijdlang "in de kring Uwer leerlingen" te hebben kunnen werken. De teamgeest op het Van 't Hoff-lab werd ook mooi getypeerd door Overbeek, bij het afscheid van Kruyt: "De band tusschen Kruyt en zijn leerlingen is niet slechts een tweezijdige. Ook tusschen de leerlingen onderling wordt de band sterk gevoeld. Kruyt verstaat de kunst om zijn medewerkers tot een team te vormen. Met enkele woorden weet hij een onderzoek te karakteriseeren, en doordat hij daarbij steeds de positieve kanten naar voren haalt bevordert hij in hooge mate de waardeering voor elkanders werk. In de latere jaren, toen het aantal medewerkers steeds steeg, werd voor dit doel ook een geanimeerd intern colloquium gehouden. Vele planten zijn in de loop der jaren in de Kruytuin opgekweekt, groote en kleine, opvallende en meer bescheidene, maar steeds droeg de culture het kenmerk van symbiose en kruisbestuiving, alleen mogelijk door den geest van hartelijke samenwerking die daar heerschte." Overbeek (n. 1), "Bij het aftreden", 247.

115. Kruyt (n. 1), "Afscheidscollage", 266; Overbeek (n. 1), "Bij het Afscheid", 248; interview met J.Th.G. Overbeek, 28 september 1994. De teksten van de colloquia van Kruyt, Koets en Overbeek werden alle gepubliceerd in het Vlaamse *Natuurwetenschappelijke Tijdschrift*. Daarin verscheen kort daarna ook een serie "Kolloïdchemische Bijdragen": beknopte verslagen van de onderzoekingen der Gentenaren, meestal met Koets of Overbeek als co-auteur; Kruyt beperkte zich hierbij tot een inleidend stuk over "Hedendaagsche stand der dynamica van kolloïde solen". Zie *NT* 18 (1936) 29-72 (colloquia) en 87-122 (bijdragen). Overigens kwamen de beide assistenten niet vanuit Nederland met Kruyt mee: Koets werkte vóór het Gentse jaar bij 'La Soie de Valenciennes S.A.', een Franse dependance van de Algemeene Kunstzijde Unie, terwijl Overbeek in 1934/35 in Brussel werkte, bij de hoogleraar J. Errera, op een uitwisselingsbeurs van de Nederlandse regering en een Belgisch stipendium.



Figuur 17. Kruijt en zijn assistent Troelstra. De werkverhoudingen aan het Van 't Hoff-lab veranderden drastisch in de loop der jaren. Waar Kruijt rond 1920 nog samen met zijn promovendi experimenten verrichtte, daar was de dagelijkse begeleiding eind jaren 30 in feite in handen van zijn assistenten komen te liggen; Kruijt zelf hield vooral de grote lijn in de gaten. Samen met Troelstra en Overbeek maakte hij op gezette tijden rondes over het laboratorium, waarbij hij de individuele onderzoeken in een breder verband plaatste en zijn inzicht en gevoel voor humor ten beste gaf. (Vakgroep Fysische en Colloïdchemie, Utrecht, J. Suurmond)

hand liggende onderzoeksvragen.¹¹⁶ Natuurlijk gingen ze in de praktijk van het lab vervolgens meer hun eigen weg (onder begeleiding van de assistenten en van elkaar), maar Kruijt volgde de voortgang van ieders project altijd met grote belangstelling. In een intern colloquium of wanneer hoogleraar en assistenten een ronde maakten over de labzalen werden de bevindingen van de individuele onderzoekers besproken, en gaf Kruijt aanwijzingen en commentaar. Juist doordat zijn interesse toch altijd al uitging naar de algemene vraagstelling en niet naar de details op zich, was dit een rol die hem op het lijf geschreven was. Veel studenten roemden Kruijt dan ook vanwege zijn vermogen om, soms

116. Volgens Overbeek liet Kruijt de keuze van een onderwerp steeds eerst aan de promovendus, en alleen als die geen voorkeur had kwam Kruijt zelf met een voorstel. Maar ook wanneer de promovendus wel zijn eigen vraagstelling bepaalde, dan nog kon het moeilijk anders dan dat die vraagstelling binnen Kruijts onderzoeksprogramma paste, omdat dat het voornaamste referentiekader vormde: "Als je bij Kruijt ging promoveren dan had je wat met de Utrechtse colloïdchemie te maken gehad, en dan wist je dus wel zo'n beetje wat er omging." Overbeek zelf koos zijn eigen onderwerp uit (en kreeg ook verder overigens nauwelijks begeleiding van Kruijt); Tatje is een voorbeeld van een promovendus die er één kreeg toegeschoven. Interview met J.Th.G. Overbeek, 28 september 1994.

beter dan zichzelf, de "grootte lijn" in elk onderzoek in het oog te houden en de essentiële resultaten onmiddellijk te herkennen. Vooral in dat laatste legde hij doorgaans groot optimisme aan de dag en dit werkte weer stimulerend en enthousiasmerend op de ploeterende promovendi.¹¹⁷

Als onderzoeksleider was Kruyt zodoende steeds meer de man van het grote overzicht geworden, en die rol wist hij ook goed te vervullen in activiteiten buiten het laboratorium. Al vanaf het midden van de jaren 20 gaf hij regelmatig lezingen - met name in het buitenland - waarin hij de stand van zaken in de colloïdchemie uiteenzette, en waarbij hij ook uitgebreid de laatste bijdragen van zijn eigen school ter sprake bracht; we zijn dergelijke optredens al tegengekomen bij zijn Amerikaanse voordracht over "Unity in the Theory of Colloids" en in de dubbele Brusselse lezing "La Stabilité des Colloïdes". In de jaren 30 zette Kruyt deze activiteit voort in bijvoorbeeld: "Kapillar-elektrische Untersuchungen an Silberhalogeniden" (Moskou 1932), "Nouvelles Recherches sur les Colloïdes" (Brussel 1934), "The Modern Development of Colloid Chemistry" (Madrid 1934) en "La Stabilité des Solutions Colloïdales" (Parijs 1937).¹¹⁸ Ook in Nederland trad Kruyt frequent op met voordrachten, maar de belangrijkste daarvan vulde hij op een iets andere manier in. Vanaf het begin van de jaren 30 organiseerde de Sectie voor Kolloïdchemie van de Nederlandsche Chemische Vereeniging steeds vaker grootscheepse symposia, over speciale, wisselende onderwerpen, die behandeld werden door een serie van sprekers. Kruyt werd vaak gevraagd om bij zo'n gelegenheid een "algemeene inleiding" te verzorgen waarin het betreffende probleemgebied in grote lijnen werd neergezet, de stand van het onderzoek werd toegelicht, en de positie van de verschillende bijdragen daarbinnen werd aangegeven - wederom een taak die hem, als bewaker van de "grootte lijn", bijzonder goed lag.¹¹⁹ Een soortgelijke rol vertolkte Kruyt overigens al langer op wat kleinere schaal in het colloquium dat hij zelf maandelijks organiseerde. Begonnen omstreeks 1920 als een kleinschalig onderonsje waarin

117. Klompé prees Kruyt voor zijn "scherp inzicht in de 'grootte lijn' van een onderzoek" waarna ze voor de verdere begeleiding Overbeek en Troelstra bedankte. Klompé (n. 105), *Solconcentratie en Uitlokking*, vii-viii. Volgens Overbeek was Kruyt "nogal positief in zijn uitingen", hetgeen door de promovendi als prettig werd ervaren: "een zekere mate van vaderlijke figuur had hij ook wel over zich." Interview met Overbeek, 4 november 1992.

118. Kruyt (n. 91), "Kapillar-elektrische Untersuchungen", was een lezing op een congres in het *Karpow-Instituut für physikalische Chemie* in Moskou, 20 tot 24 september 1932; Kruyt (n. 41), "Nouvelles Recherches" was een tweetal lezingen aan het *Institut des Hautes Études* te Brussel, in vervolg op "La Stabilité" I en II (n. 40 en n. 43), zes jaar eerder; H.R. Kruyt, "The Modern Development of Colloid Chemistry" was een voordracht voor het negende congres van de *International Union of Pure and Applied Chemistry*, gehouden te Madrid, 5-11 april 1934 (gepubliceerd in *IX Congreso Internacional de Química Pura y Aplicada* 9 (1934), vol. II, 65-76); en "La Stabilité des Solutions Colloïdales" was een lezing voor de jaarvergadering van de *Société chimique de France*, in Parijs op 7 mei 1937 (gepubliceerd in *Bulletin de la Société Chimique de France* 4 (1937) 1925-1941).

119. Kruyt trad in een dergelijke rol op bij onder andere het "Cellulose-Symposium" (Delft 1933), het "Symposium on Hydrophobic Colloids" (Utrecht 1937) en het "Symposium 'Structuur en eigenschappen van macromoleculaire stoffen'" (Utrecht 1943). De Sectie Kolloïdchemie hield vanaf haar oprichting (door Kruyt, in 1923) al ieder jaar één of twee vergaderingen, waarop een aantal sprekers optrad. In de jaren 30 begon de Sectie echter met het organiseren van jaarlijkse "symposions" of "symposia", die veel grootschaliger waren opgezet en waarvan uitgebreid verslag werd gedaan, vaak in Engelse vertaling, in het *Chemisch Weekblad* en in separaatuitgaven. Andere secties volgden overigens in deze ontwikkeling en in het jaar 1942 werden er in totaal niet minder dan 16 chemische symposia gehouden in Nederland. Buiten de symposia trad Kruyt overigens ook regelmatig op met de gebruikelijke regionale voordrachten, waarin hij het recente onderzoek van zijn eigen school besprak.

studenten hun werk konden presenteren, waren de colloquia uitgegroeid tot flinke vergaderingen waar vele oud-leerlingen en belangstellenden van buiten (prominenten als Ehrenfest en De Boer) op af kwamen om zich van het nieuwste werk op de hoogte te stellen. Ook deze gelegenheden boden Kruyt uitgelezen mogelijkheden om uit te maken welke plaats de verschillende onderzoeken innamen binnen het geheel van de colloïdchemie.¹²⁰

7.2 ontwikkelingen buiten: Eindhoven

Bij Kruyts optredens op symposia en colloquia was er eveneens iets veranderd aan zijn verhouding tot het onderzoek. In zijn functie van algemeen inleider maakte het voor hem namelijk niet *per se* meer uit of de onderzoeken die hij introduceerde uit zijn eigen lab afkomstig waren, of van daarbuiten: hij moest in beide gevallen proberen alle bijdragen binnen hetzelfde overkoepelende beeld te brengen. Die taak werd ook steeds signifikanter want in de loop der jaren groeide de Nederlandse colloïdchemische onderzoeksgemeenschap aanmerkelijk. Naast Utrecht waren Leiden en Wageningen als nieuwe centra ontstaan (sinds Bungenberg de Jong en Tendeloo daar hun leerstoelen bekleedden), in Amsterdam zorgde Büchner voor een gestage produktie en in Breda verrichtte P.H. Hermans bij de Hollandse Kunstzijde Industrie veel colloïdenonderzoek.¹²¹ Het werk dat voor Kruyt het belangrijkste was, kwam echter uit het Natuurkundig Laboratorium van Philips, alwaar onder J.H. de Boer een groep talentvolle onderzoekers was ontstaan, die zich intensief bezighielden met colloïdchemische problemen - en met name met het stabiliteitsvraagstuk. Verwey, die na zijn promotie in Eindhoven was gaan werken, was ongetwijfeld degene die het thema er had binnengebracht, maar ook De Boer zelf, de fysicus Hugo Hamaker en na 1941 tevens Overbeek, leverden belangrijke bijdragen aan de uitwerking ervan. Die bijdragen waren zo relevant voor Kruyt, niet alleen omdat het stabiliteitsprobleem natuurlijk van oudsher het hoofdonderwerp was van zijn eigen onderzoek, maar ook omdat de Eindhovenaren het uiteindelijk zouden oplossen - of althans met een theorie zouden komen die algemeen gezien werd als het definitieve antwoord op het vraagstuk, en die inderdaad vandaag de dag nog steeds geldt als de basis voor het begrijpen van de colloïdstabiliteit.¹²²

De ontwikkeling die tot deze gelukkige ontknoping zou leiden, was vooral in gang gezet door de natuurkundige Hamaker, die het hele stabiliteitsprobleem totaal anders benaderde dan de colloïdchemici eerder hadden gedaan. Hamaker stelde zich bijvoorbeeld niet alleen de vraag waarom colloïdale systemen *niet* uitvlokken, maar ook waarom ze dat eigenlijk wel zouden moeten doen. De gangbare antwoorden op die vraag verwezen meestal naar de oppervlakte-energie van de deeltjes die bij vereniging zou afnemen, maar zwegen verder over de precieze aard daarvan - colloïden bestonden doorgaans uit nagenoeg onoplosbare

120. Over het colloquium (tot vandaag de dag voortgezet als het "Kruyt-colloquium"), zie Kruyt (n. 1), "Afscheidscollege", 267.

121. De school van Bungenberg de Jong werkte vooral aan hydrofiele colloïden en coacervatie, Tendeloo en de zijnen verrichtten onder andere potentiometrie aan voor de landbouw relevante colloïdale systemen, en Büchners onderzoek concentreerde zich op de lyotropie. Hermans, die in 1942 directeur werd het *Instituut voor Cellulose-onderzoek* van de Algemeene Kunstzijde Unie (een *joint venture* waartoe ook de HKI behoorde), publiceerde hoofdzakelijk over cellulose en cellulose-derivaten.

122. De interesse op het Natlab voor colloïdchemie kwam voort uit het onderzoek naar een manier om glas te bedekken met een fluorescerende laag voor de produktie van beeldbuizen. De gekozen methode werkte met oplossing van colloïden die men op de glaswand liet neerslaan.

stoffen en daarmee was voor een scheikundige al gauw de kous af. Hamaker zocht voor zijn antwoord echter naar een specifieke aantrekking tussen de deeltjes, en hij vond die in de zogenaamde London-Van der Waals-attractie, die eerder door de Duitsers Kallmann en Willstätter en recentelijk ook door De Boer voor colloïdale systemen was beschreven. Anders dan bij moleculen bleek deze kracht bij colloïddeeltjes over een behoorlijk grote afstand te werken, die in dezelfde orde van grootte lag als de dikte van de diffuse dubbellaag: aantrekking en afstoting (het effect van de dubbellaag) waren dus goed vergelijkbare grootheden. Een andere innovatie die Hamaker doorvoerde, was dat hij de stabiliteitsvoorwaarden (en 'instabiliteitsvoorwaarden') niet langer aan de hand van de ζ -potentiaal en dergelijke wilde bespreken, maar liever in termen van energie, omdat dat een vergelijkende behandeling van de verschillende factoren veel beter mogelijk maakte. In de verandering van de totale energie bij de nadering van twee deeltjes lag, in Hamakers benadering, de sleutel tot het stabiliteitsprobleem.¹²³

Hamaker presenteerde zijn ideeën in een serie artikelen, tussen 1936 en '38, en hij lichtte ze mondeling toe op het *Symposium on Hydrophobic Colloids*, dat in 1937 in Utrecht werd gehouden (zie Figuur 18). Daar demonstreerde hij ook zijn methode om met eenvoudige 'potentiaalcurven', die de totale energie van een deeltje als functie van de afstand gaven, allerlei colloïdale verschijnselen te kunnen duiden (de potentiaal in deze curven is dus *niet* de elektrische potentiaal zoals in Utrechtse voorstellingen als Figuur 14 en 16). De aanwezigheid van een 'energieberg' tussen twee deeltjes wees bijvoorbeeld op hun netto afstoting, en dus op stabiliteit, en het al of niet optreden van zo'n energieberg was af te leiden uit de parameters in de formules van de curves. De belangrijkste parameters waren de deeltjeslading en de elektrolytconcentratie, en bij iedere combinatie van die twee kon Hamaker nu uitmaken of een sol stabiel was, uitvlokte, of zich in een grensgebied daar-tussen bevond. Bovendien kon hij beschrijven wat er bijvoorbeeld gebeurde bij toevoeging van potentiaalbepalende elektrolyten, want in dat geval bestond er een onderling verband tussen concentratie en lading, dat gegeven werd door een vergelijking uit de dissertatie van Verwey. Al met al bood Hamakers grafische methode een totaal nieuwe manier om colloïd-chemische problemen te behandelen, die weliswaar abstracter was dan de in Utrecht gebruikelijke voorstellingen (de precieze structuur van de dubbellaag was er bijvoorbeeld in naar de achtergrond verdwenen), maar op haar eigen manier weer helder en inzichtelijk. Kruyt, die het symposium voorzat en inleidde, was dan ook zeer te spreken over de Eindhovense bijdrage, die, zonder dat zij nieuwe feiten naar voren bracht, "contributes largely to the economy of thought." "I think that Dr. Hamaker's work is a most valuable contribution to our theoretical insight. It is only necessary to keep in mind figs. 2 and 3 of Hamaker's paper [met de basistypen potentiaalcurven] to have a nearly complete survey of the possibilities of colloidal systems; I am very grateful for his excellent graphic method."¹²⁴

123. H.C. Hamaker, "A General Theory of Lyophobic Colloids", *Rec.* 55 (1936) 1015-1026 (deel I) en *ibid.*, 56 (1937) 3-25 (deel II), en "London - v.d. Waals forces in colloidal systems", *ibid.* 57 (1938) 61-72. Hamaker wees ook zelf op zijn afwijkende invalshoek als natuurkundige. Aan het eind van het tweede artikel bedankte hij De Boer en Verwey voor hun hulp als *chemici* "in clearing away misconceptions, to which the author, being a physicist, would otherwise have fallen a prey." (p. 24). Hamaker was gepromoveerd (*cum laude*) bij L.S. Ornstein.

124. Kruyt had voor dit symposium ook de sprekers aangezocht, en hij had daarbij Hamaker op de eerste plaats gezet. Ook in zijn "General Introduction" preeft hij diens werk uitgebreid aan vanwege het grote belang van zijn nieuwe perspectief op het oude algemene vraagstuk. Zie H.R. Kruyt, "General Introduction", *CW* 35 (1938) 44-47. Hamakers voordracht was "Potential Curves as a basis for the discussion of colloid phenomena", *ibid.*, 47-55.

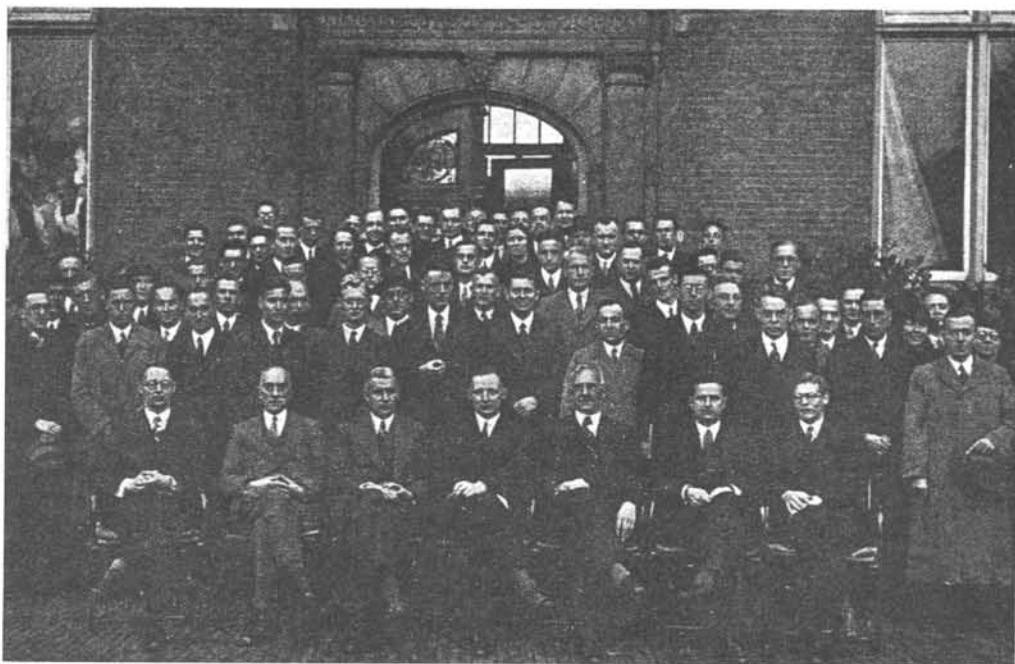
De enige zwakte in Hamakers werk was dat zijn centrale formule, waarop de potentiaalcurves gebaseerd waren, geen grote nauwkeurigheid bezat. Hijzelf was zich daarvan overigens wel bewust, want hij had met opzet simpele uitdrukkingen voor de aantrekking en afstoting van de deeltjes gekozen, om de berekeningen in eerste instantie eenvoudig en uitvoerbaar te houden. Kwantitatief accurate voorspellingen lagen zodoende nog buiten de mogelijkheden, maar het was vooral Hamakers doel geweest om na te gaan of zijn benadering tenminste kwalitatief de verschijnselen dekte - en dat deed ze. De aansporing om de precisie nu verder op te voeren was door die conclusie echter alleen maar groter geworden, en in de volgende jaren zouden ook volgende Eindhovenaren zich aan deze opgave gaan wijden. Met name Evert Verwey, die ook nauw betrokken was geweest bij de eerste pogingen van Hamaker, zou het voortouw nemen in het nader uitwerken van de methode ter oplossing van het stabiliteitsprobleem. Dat moest overigens min of meer in de vrije tijd gebeuren want op het Natlab had Verwey andere onderzoekstaken, maar het voornamelijk theoretische werk kon natuurlijk ook heel goed daarbuiten worden verricht.¹²⁵

Het belangrijkste vraagstuk dat Verwey verder zou ophelderen, betrof de onderlinge afstoting tussen colloïden. In de Utrechtse school was de heersende gedachte steeds geweest, dat de diffuse dubbellaag de deeltjes ervan weerhield te verkleven, en ook Hamaker had het effect van de dubbellaag geassocieerd met een (willekeurig gekozen) repulsiecurve. Maar bij nadere beschouwing, zo betoogde Verwey nu, was het "heelemaal niet a priori duidelijk," dat wanneer twee deeltjes elkaar naderden en hun ionenatmosferen in elkaar begonnen door te dringen "het gevolg van deze doordringing een afstoting tusschen de deeltjes zal zijn." Verschillende onderzoekers, die het effect van de nadering van twee dubbellagen hadden nagerekend, waren zelfs op aantrekking uitgekomen, terwijl anderen in soortgelijke berekeningen toch repulsie hadden gevonden. Verwey had daarom besloten het hele probleem nog eens goed te bekijken en door te rekenen, en op een vergadering van de Sectie voor Kolloïdchemie op 23 juli 1942 in Utrecht, kwam hij met een definitief oordeel: diffuse dubbellagen stoten elkaar af. Het mechanisme achter de afstoting bleek echter wel veel subtieler dan verwacht: op puur elektrische gronden zou er namelijk, in tegenstelling tot wat men altijd had aangenomen, attractie zijn, maar door de opeenhoping van ionen tussen de deeltjes was er ook een negatief entropie-effect, en dat bleek te overheersen. De traditionele koppeling van colloïdstabiliteit aan de dubbellaag was dus juist, maar om andere redenen dan altijd was aangenomen. Kruyt was niettemin enthousiast over deze Eindhovense bijdrage, en hij noemde het "verheugend dat dit fundamentele vraagstuk tot oplossing is gebracht."¹²⁶

Hierna opende Kruyt de discussie, waaruit ook de eerst geciteerde opmerking afkomstig is: *ibid.*, 55-57: 55.

125. Ook onderzoek naar het neerslaan van colloïden op een elektrode, dat Verwey met Hamaker en De Boer had uitgevoerd, leidde hen tot het nader bestuderen van de stabiliteitscondities. Daaruit was namelijk onder andere naar voren gekomen, dat dit proces grote gelijkenis vertoonde met de normale uitvlokking door elektrolyten. J.H. de Boer, H.C. Hamaker end E.J.W. Verwey, "Electro-disposition of a thin layer of powdered substances", *Rec.* 58 (1939) 633-649. Zie ook E.J.W. Verwey en J.Th.G. Overbeek, *Theory of the Stability of Lyophobic Colloids. The interaction of sol particles having an electric double layer* (New York etc., 1948) 16-17.

126. E.J.W. Verwey, "De theorie voor de wisselwerking van twee electrochemische dubbellagen, in verband met de krachten tusschen de deeltjes in suspensies en lyophobe solen", *CW* 39 (1942) 563-566. Kruyts commentaar staat op p. 566.



Figuur 18. Deelnemers aan het 'Symposium on Hydrophobic Colloids', gehouden in Utrecht op 5 en 6 november 1937. Deze foto toont onder meer hoezeer de colloïdchemische gemeenschap in Nederland gegroeid was sinds Kruyt 25 jaar tevoren zijn onderzoekingen begon. Zichtbaar zijn A.J. Rutgers, links vooraan gezeten, J.H. de Boer, zittend in het midden van de rij, E.J.W. Verwey, rechts naast de ingang met zijn hoofd half voor het huisnummer, en H.C. Hamaker, direct voor Verwey met zijn hoofd iets schuin. Opvallend is de positie van J.Th.G. Overbeek, die nog slechts doctorandus was, maar al in de rij der hoogleraren plaats mocht nemen (geheel rechts). (CW 35 (1938) 43)

Een ander probleem lag nog bij de aantrekkende kracht tussen de deeltjes, en hierop zou door Overbeek een ingenieus antwoord worden gevonden. Het was gebleken dat de London-Van der Waals-attractie over het algemeen goed met de verschijnselen overeenstemde, maar bij grotere deeltjes een stuk minder dominant was dan verwacht. Overbeek kwam nu tot het inzicht ("My major discovery (...) in perhaps all my research" zou hij later zeggen), dat de genoemde interactie niet instantaan tussen de deeltjes plaatsvond, maar een zekere tijd nodig had om overgebracht te worden, omdat zij in wezen bestond uit de transmissie van een elektro-magnetisch signaal. Voor kleine deeltjes zou dit niet veel uitmaken, maar voor grotere colloïden, waarbij de kracht over langere afstand werkte, kon gedurende de overbrengingstijd de situatie zó veranderen, dat de hele aantrekking alsnog wegviel, of zelfs omsloeg in afstoting. De grondslag van dit 'retardatie-effect' lag in een relativistische correctie op de quantummechanische afleiding van de London-interactie, en Overbeek vroeg Casimir, de belangrijkste fysicus op het Natlab (en vanaf 1946 Verweys mede-directeur) de precieze voorstelling ervan nader uit te werken.

Casimir wijdde zich inderdaad aan deze opgave, en kwam in 1948 met resultaten die volledig strookten met wat Overbeek had verwacht. Diens aanvankelijke kwalitatieve beschouwing van de retardatie kreeg zodoende een theoretisch-fysische grondslag, en de eerder gemaakte gevolgtrekking dat de deeltjesgrootte invloed had op de mate van attractie, was nu gegarandeerd en zeker.¹²⁷

Verwey en Overbeek zouden deze bevestiging echter niet meer afwachten want het succes van het project, waaraan ze vanaf 1941 samen gewerkt hadden, kwam al rond 1944 in zicht. De berekeningen op grond van de verbeterde formules voor aantrekking en afstoting waren afgerond, en ook de consequenties daarvan voor de stabiliteit van 'echte' colloïdale systemen waren bepaald. En die bleken geweldig mooi te zijn: niet alleen kon de theorie de invloed van elektrolyten op de coagulatiesnelheid voorspellen, ook de afname van die snelheid tijdens het proces kwam er uit naar voren, alsmede de bekende instabiliteit van zeer kleine colloïden. Het belangrijkste resultaat was echter dat de theorie de relatie tussen de valentie van uitvlokkende ionen en hun grenswaarde kwantitatief kon beschrijven. Verwey en Overbeek waren dan ook meer dan tevreden, en besloten de uitkomsten van hun arbeid in boekvorm te publiceren. Nog tijdens het laatste oorlogsjaar schreven ze het manuscript, en na enkele latere toevoegingen verscheen in 1948 *Theory of the Stability of Lyophobic Colloids. The interaction of sol particles having an electric double layer*. Al gauw bleek echter dat er nog andere onderzoekers waren die ongeveer tegelijkertijd tot in grote trekken dezelfde resultaten waren gekomen als Verwey en Overbeek. In Rusland hadden B.V. Derjaguin en L.D. Landau, eveneens tijdens de oorlogsjaren, een theorie van de krachten tussen colloïden opgesteld die grote gelijkenis vertoonde met die van de Eindhovenaren. Door het wegvallen van de internationale communicatie hadden de beide tweetal- len echter volledig langs elkaar heen gewerkt, en als het ware om die ongelukkige gang van zaken te corrigeren, zouden hun vier initialen nu verenigd worden in de naam van hun gezamenlijke geesteskind. De 'definitieve' oplossing van het stabiliteitsvraagstuk, eindelijk bereikt door zowel Derjaguin en Landau als Verwey en Overbeek, zou algemeen bekend worden als de 'DLVO-theorie'.¹²⁸

Het behoeft geen betoog dat Kruyt blij was met deze ontwikkeling. Het stabiliteitsprobleem, dat hem gedurende zijn gehele loopbaan als colloïdenonderzoeker had beziggehouden, was nu immers, in elk geval voor de hydrofobe colloïden, tot oplossing gebracht. Het zal echter ook duidelijk zijn dat de aard van die oplossing wel wat anders was dan Kruyt zelf doorgaans voor ogen had gehad. De DLVO-theorie was onmiskenbaar een algemene theorie, maar toch niet van hetzelfde soort als bijvoorbeeld het eerdere beeld van lading en hydratatie. Dát was een simpel en voorstelbaar kwalitatief model geweest, dat

127. H.B.G. Casimir en D. Polder, "Influence of Retardation on the London-van der Waals Forces", *Nature* 158 (1946) 787-788. Over de ontdekking van het retardatie-effect, zie ook Overbeek (n. 109), "Almost Fifty Years", 7 en J.Th.G. Overbeek, "De colloïdchemie in Nederland, in Utrecht in het bijzonder" in: *Werken aan scheikunde. 24 memoires van hen die de Nederlandse Chemie deze eeuw groot hebben gemaakt* (Delft, 1993) 115-137, m.n. 122.

128. Verwey en Overbeek (n. 125), *Theory of the Stability*, v-viii. Een groot deel van de numerieke berekeningen waarop het boek gebaseerd was, was uitgevoerd door drs. Klaas van Nes, die door Verwey en Overbeek dan ook officieel als medewerker werd opgevoerd. Over de totstandkoming van het werk, zie ook Overbeek (n. 127), "Colloïdchemie in Nederland", 121-122. Strikt definitief was de DLVO-theorie natuurlijk niet, maar zij bood wel de basis voor het beschrijven van de colloïdstabiliteit die tot op de dag van vandaag nog gebruikt wordt. Over latere correcties en aanvullingen, zie bijvoorbeeld J.Th.G. Overbeek, "The Rule of Schulze and Hardy", *Pure and Applied Chemistry* 52 (1980) 1151-1161.

voor specifieke situaties nader werd ingevuld - een "silhouette", zou Kruyt later zeggen, dat men "als geheugenbeeld kon vasthouden." De DLVO-theorie daarentegen was abstract en kwantitatief, een hecht mathematisch bouwwerk, gefundeerd in elektrodynamica en quantumfysica. Zij was ingewikkelder, maar ook veel exacter, en de colloïdchemie leek er een nieuw tijdperk mee in te gaan, zoals ook Verwey en Overbeek zelf al in het voorwoord van hun boek aangaven:

The science of colloids appears to be entering upon a new stage, which is less empirical, and where the experimental study of better defined objects will be guided rather by more quantitative theories than by qualitative "rules" and "working hypotheses". The theory of the stability of lyophobic colloids, as developed in this book, may serve as an example of this development. This stability problem has been placed on a firmer physical basis by the introduction of the Van der Waals-London dispersion forces together with the theory of the electrolytic or electro-chemical double-layer. In the present work too, these theories form the starting-points of our considerations.¹²⁹

Het verschil tussen de nieuwe theorie en Kruyts oudere voorstellingen zat hem uiteindelijk vooral in die "physical basis". De DLVO-theorie was niet toevallig ontstaan op het *Natuurkundig* Laboratorium van Philips en de hele benadering waaruit zij was voortgekomen, droeg nog steeds duidelijk het stempel van de fysicus Hamaker. Natuurlijk waren Verwey en Overbeek beiden chemici, maar het kan niet ontkend worden dat zij zeer open stonden voor fundamentele natuurkunde en niet terugdeinsden voor quantummechanica en relativiteitstheorie. Juist op het Natlab kon die interesse goed gevoed worden, doordat getalenteerde medewerkers uit verschillende disciplines er samenkwamen. Vanuit Kruyts perspectief was de oplossing van het stabiliteitsprobleem zodoende niet alleen buiten zijn eigen laboratorium gevonden, maar in zekere zin ook buiten 'zijn' klassieke colloïdchemie. De fundamentele van het vak waren in de natuurkunde komen te liggen, waarmee dientengevolge ook een veel nauwere band was ontstaan. De grens tussen colloïdchemie en fysica leek verdwenen.

7.3 *ontwikkelingen buiten: macromolecuulchemie*

Terwijl het werk in Eindhoven had geresulteerd in een continue overgang tussen colloïdchemie en natuurkunde, zorgden andere ontwikkelingen buiten Utrecht voor de aansluiting met een geheel ander vakgebied: de organische chemie. Deze ontwikkelingen hadden niets te maken met de totstandkoming van de DLVO-theorie, maar hun effect was in zeker opzicht gelijksoortig: het verdwijnen van de scheidslijnen tussen de colloïdchemie en een naburige discipline. Wel draaide het hier om een benadering van colloïdale verschijnselen, die evengoed als concurrerend kon worden gezien, en Kruyt verzette zich aanvankelijk ook fel tegen de nieuwe beschouwingwijze. Maar rond 1940 had hij zijn verzet opgegeven en besloten dat de schijnbare rivalen in feite ook heel goed zouden kunnen samenwerken, en dat de territoriumstrijd het best beslecht zou worden door het opheffen van de grenzen. Natuurlijk had hij die conclusie in aanvang voor zichzelf getrokken, maar het is tekenend dat hij haar voor het eerst publiekelijk uiteenzette in zijn functie als inleider van een symposium, waar beide benaderingen vertegenwoordigd waren, en waar het zijn taak was ze samen te brengen en tot een coherente eenheid te smeden. Als gevolg daarvan zag hij tegen het eind van zijn hoogleraarschap niet alleen continuïteit

129. Verwey en Overbeek (n. 125), *Theory of the Stability*, v.

tussen zijn eigen vak en de natuurkunde, maar ook tussen de colloïdchemie en organische scheikunde - of preciezer gezegd: tussen colloïdchemie en macromoleculchemie.

De nieuwe benadering, waar Kruyts colloïdchemie uiteindelijk mee zou fuseren, concentreerde zich op de moleculaire structuur van organische stoffen zoals rubber en koolhydraten. Haar grondlegger, de Duitse organisch-chemicus Hermann Staudinger, was rond 1920 met het idee gekomen, dat deze substanties niet zijn opgebouwd uit moleculen van gangbare grootte, maar uit extreem lange ketens die hij 'Makromoleküle' noemde. Het *leek* soms wel of kleinere deeltjes (bij zetmeel bijvoorbeeld suikermoleculen) de bouwstenen waren, maar in feite waren deze eenheden via chemische bindingen aaneengeregen tot gigantische, in zijn ogen steeds lineaire, structuren. De colloïddeeltjes, die rubber en zetmeel in oplossing te zien gaven, waren volgens Staudinger identiek met deze enkelvoudige macromoleculen, en bestonden niet, zoals bij goud- of AgI-solen, uit losse clusters van vele kleine moleculen, ionen of atomen. Dit beeld van macromoleculen was hoogst controversieel, en niet alleen omdat het anders was dan dat van de colloïdchemici (die ook rubberdeeltjes doorgaans als clusters zagen), maar vooral omdat de voorstelling regelrecht indruiste tegen de normale opvatting van moleculen in de organische en anorganische scheikunde. Staudinger ontmoette dan ook veel weerstand, en die kwam niet alleen voort uit conservatisme, maar ook uit het feit dat het bijzonder moeilijk was om argumenten vóór het bestaan van macromoleculen aan te dragen: veel geaccepteerde analysemethoden (chemische analyse, vriespuntsdaling, etc.) faalden, en nieuwere technieken zoals röntgendiffractie bleken niet doorslaggevend. Een uitslag werd dan ook niet gauw bereikt, en gedurende de gehele jaren 20 bleven voor- en tegenstanders tegenover elkaar staan. Gaandeweg werden er echter ook tussenoplossingen bedacht (zoals clusters van macromoleculen) en tegen 1930 waren veel chemici er toch van overtuigd dat lange ketenmoleculen, in één of andere vorm (Staudinger zelf geloofde alleen in kaarsrechte staven) inderdaad zouden bestaan.¹³⁰

Kruyt reageerde lange tijd niet op de nieuwe ideeën betreffende de structuur van organische colloïden, maar begin jaren 30 moet hij iets gemerkt hebben van de groeiende consensus vóór de macromoleculopvattingen, want rond die tijd besloot hij zich er zelf tégen uit te spreken. In een aantal lezingen in het buitenland, met name één op het congres van de *International Union of Pure and Applied Chemistry* in 1934, haalde hij fel uit naar de nieuwe beschouwingswijze, die hij als een concurrent zag (zij het een inferieure) van zijn eigen soort van colloïdchemie. Merkwaardig genoeg verzette hij zich niet zozeer tegen de voorstelling van macromoleculaire structuren op zich (die deed hij af als 'pure organic

130. Hermann Mark en Kurt Meyer kwamen eind jaren 20 met de hypothese dat de bedoelde stoffen bestonden uit bundels van naast elkaar liggende, vrij korte ketenmoleculen; bij cellulose bijvoorbeeld dachten ze aan een lengte van 30 tot 50 glucose-eenheden. Ook Staudinger nam overigens nog aanmerkelijk kleinere macromoleculen aan dan tegenwoordig gebruikelijk is. Staudingers eigen geliefde argument vóór het bestaan van macromoleculen was overigens de viscositeit van zijn oplossingen, die hij vertaalde naar ketenlengte met een zelf opgestelde formule. Deze betrekking stond echter aan grote kritiek bloot, onder meer omdat zij gebaseerd was op de aanname dat macromoleculen in oplossing lange starre staven vormen. Zie Yasu Furukawa, *Staudinger, Carothers, and the Emergence of Macromolecular Chemistry*, proefschrift University of Oklahoma, microfilmuitgave (Ann Arbor, 1983), m.n. hoofdstuk 2 (nog steeds het beste overzicht van de opkomst van het macromoleculbegrip, ondanks Furukawa's aanvechtbare beeld van de colloïdchemie). De memoires van Staudinger en Mark zijn gepubliceerd als Hermann Staudinger, *Arbeitsrinnerungen* (Heidelberg, 1961) en Herman Mark, *From Small Organic Molecules to Large. A century of progress* (Washington DC, 1993). Zie ook Claus Priesner, *H. Staudinger, H. Mark und K.H. Meyer. Thesen zur Größe und Struktur der Makromoleküle* (Weinheim etc., 1980).

chemistry'), maar veel meer tegen het gebruik daarvan in de beschrijving van het gedrag van de oplossingen van rubber, cellulose, etc. Dát was immers het terrein van de colloïdchemie, en daar was de nieuwe benadering aantoonbaar onvolwaardig. Kruyt identificeerde het beeld van macromoleculen heel sterk met de voorstelling van grote, polyvalente ionen, en zijn bezwaren ertegen waren nagenoeg dezelfde als die destijds tegen de theorie van Loeb, die eiwitten ook simpelweg als grote ionen had willen behandelen. Kruyt bracht de oude argumentatie dan ook in nagenoeg dezelfde vorm terug: áls men colloïdale systemen als oplossingen van normale ionen wenste te beschouwen, dan moest men ook alle inzichten kunnen verschaffen die het colloïdchemisch gezichtspunt inmiddels had opgeleverd. In een uitgebreid historisch overzicht schetste hij de verworvenheden van zijn vakgebied, uiteenlopend van de nieuwste inzichten in de structuur van de dubbellaag, tot de theorieën van vlokkiningskinetiek en coacervatie. De conclusie was duidelijk: dáár konden de macromoleculchemici nog niet tegenop. Hun ideeën waren niet meer dan 'eventueel mogelijke voorstellingen', en als zodanig hadden ze een lage gebruikswaarde: "what can be the use of looking upon a colloid particle as a giant polyvalent ion, other than as a metaphore? It would not be wrong, but it's useless."¹³¹

Ondanks de felheid van deze woorden zou Kruyt zijn verzet tegen de nieuwe zienswijze na 1934 uiteindelijk toch laten varen, en hij deed dat naarmate hij de voorstelling van macromoleculen minder ging identificeren met het Loebse beeld van polyvalente ionen in oplossing. Kruyt kreeg meer waardering voor het geheel eigene van de macromoleculaire benadering: een concentratie van de aandacht op structuur, die voortkwam uit de (niet-concurrerende) organische chemie. Aanleiding hiervoor was, dat er vanuit die organische chemie halverwege de jaren 30 nieuwe argumenten werden aangeleverd vóór het bestaan van macromoleculen, die algemeen als doorslaggevend werden gezien. In het laboratorium van de Amerikaanse firma DuPont had Wallace Hume Carothers de oude bestaansvraag opnieuw opgepakt, maar van een totaal andere kant benaderd: niet vanuit de analyse, maar via synthese. In plaats van het macromoleculaire karakter van gegeven stoffen achteraf vast te stellen, had hij bekeken of hij via herhaling van bekende syntheseprocessen zulke stoffen zou kunnen vervaardigen. Dat bleek inderdaad mogelijk via volkomen gangbare wegen, en de macromoleculen waren zodoende in één klap toch terechtgekomen binnen het kader van de normale organische chemie. Carothers synthese was gelukt, en het 'definitieve' bewijs voor macromoleculen was geleverd.¹³²

131. Kruyt (n. 118), "Modern Development", 75. Kruyt gaf soortgelijke beschouwingen in een voordracht in 1934 op University College London, waar hij sprak op een "General Discussion on Colloidal Electrolytes", georganiseerd door de *Faraday Society* en met name door Freundlich. H.R. Kruyt, "Ionic Micelle or Electric Double Layer", *Transactions of the Faraday Society* 31 (1935) 28-31. Een tweede argument dat Kruyt tegen de macromoleculchemie gebruikte (naast dat van het onvermogen om de erfenis van de colloïdchemie een plaats te kunnen geven), was dat het vak een "noblesse oblige" had om een logische verbinding te vormen met de fysica en chemie enerzijds, en met de biologie aan de andere kant; de colloïdchemie moest de "missing link in the chain of science" vormen, en met het macromoleculbegrip was zij niet tot zo'n verbinding in staat.

132. Zie Furukawa (n. 130), "Staudinger, Carothers", hoofdstuk 3. Staudinger had overigens ook zelf al met gesynthetiseerde macromoleculen gewerkt, maar omdat dit steeds additie-polymeren waren, en het mechanisme van het ontstaan daarvan niet duidelijk was, konden zijn syntheses niet als argument voor het bestaan van macromoleculen gelden. Carothers gebruikte echter de condensatie-methode, die veel beter begrepen en beheersbaar was. Het succes van Carothers' werkwijze en de geldigheid van zijn conclusies kregen nog meer bijval toen DuPont in 1938, op basis van zijn condensatie-polymerisatie, nylon begon te produceren.

Het enthousiasme over Carothers' werk was groot en ook Kruyt zou zijn opvatting over de macromoleculchemie bijstellen. Niet alleen was hij overtuigd geraakt van het bestaan van "grote enkelmoleculen", hij erkende nu bovendien de waarde van onderzoek naar de moleculaire structuur van organische colloïdale systemen. In het eerdergenoemde symposium, dat de Sectie Kolloïdchemie van de chemische vereniging aan het onderwerp wijdde, wuifde hij alle vroegere constatering van concurrentie weg en pleitte hij voor een samengaan van de colloïdchemische en organisch-chemische beschouwingwijze. Het zou goed zijn, zo betoogde Kruyt, wanneer "op zeker moment de organici kolloïdchemisch, en op een ander kolloïdchemici organisch gaan denken."¹³³ Hij wenste de macromolecul-opvattingen niet langer te zien als inferieur aan die van zijn eigen vak, maar aan de andere kant stelde hij ze evenmin voor als een overwinning op dat laatste:

[Ik heb] gemeend goed te doen de macromoleculen te kenmerken als een verrijking der kolloïdchemie en niet -zo- als af en toe getracht wordt- ze voor te stellen als een resultaat der wetenschap, dat al het oude heeft overbodig gemaakt. Ik ben integendeel van mening, dat het nieuwe gezichtspunt een gewichtige uitbreiding van vroegere mogelijkheden insluit, die even belangrijk is als de winst, die zich beoefenaren van deze nieuwe tak der organische chemie kunnen verschaffen, wanneer zij zich goed rekenschap geven van al datgene, wat reeds eerder [door colloïdchemici] gevonden en begrepen is.¹³⁴

De twee verschillende benaderingen moesten elkaar aanvullen - dat was Kruyts boodschap, maar tegelijk zag hij ook een meer fundamentele connectie. Die bracht hij op het symposium nog niet zo expliciet naar voren, maar dat deed hij wel een paar jaar later, in een lezing voor de KNAW over "Grote Moleculen".¹³⁵ Kruyt betoogde hierin dat de nieuwste ontwikkelingen in feite het hele moleculbegrip aan het wankelen hadden gebracht, en

133. *Symposium "Structuur en eigenschappen van macromoleculaire stoffen" gehouden te Utrecht op 2 en 3 Juli 1943 door de Sectie voor Kolloïdchemie der Nederlandsche Chemische Vereeniging*, separate uitgave (s.l., s.a. [1943]) 4.

134. *Ibid.*, 11. Kruyts streven naar verzoening, in plaats van splitsing, kwam ook heel tekenend naar voren in een discussie met P.H. Hermans, na de eerste lezing. Hermans stelde voor een begriponderscheid te maken tussen 'heterodispersiteit' (het vóórkomen van colloïddeeltjes van uiteenlopende grootte) en 'polymoleculariteit' (de variatie in ketenlengte in een macromoleculair systeem). De eerste term zou voor klassieke hydrofobe colloïden als goud- en zwavelsolen gereserveerd moeten blijven, terwijl de tweede natuurlijk alleen op macromoleculen kon slaan. Kruyt wilde echter niet weten van een dergelijke opsplitsing van het terrein, en deed Hermans' suggestie af als puur een kwestie van naamgeving, die slechts "tot eindelooze debatten aanleiding zou geven." *ibid.*, 29.

135. Wat Kruyt in beide voordrachten onbesproken liet, was dat er door het macromolecul toch ook een belangrijk schisma was ontstaan in zijn colloïdchemie: het stabiliteitsprobleem kon immers niet meer algemeen gesteld worden. Oplossingen van macromoleculen waren in wezen 'gewone' oplossingen van 'enkelmoleculen', en van dergelijke systemen behoefde men zich, evenmin als van een suikeroplossing, af te vragen waarom ze niet uitvlokten. Ze waren thermodynamisch stabiel, en dat gegeven had belangrijke consequenties. Ten eerste vervielen zowel lading als hydratatie als stabiliteitsfactoren (het elektro-viskeus effect, dat op het bestaan van de eerste had gedeuld, zou voortaan als een zwelling van de macromoleculkluwen geïnterpreteerd worden). Ten tweede verviel de vertrouwde indeling in hydrofiele en hydrofobe colloïden. Dezelfde soorten deeltjes zouden voortaan, op thermodynamische gronden, als reversibele en irreversibele colloïden worden aangeduid. Ze konden zo nog wel op een niet-tegenstrijdige manier besproken worden, maar een volledig identieke behandeling vanuit het perspectief van het stabiliteitsprobleem behoorde nu tot het verleden. Kruyt liet zich niet meer over deze gevolgen uit, maar zij werden wel besproken door zijn leerlingen en medewerkers aan *Colloid Science*; zie bijvoorbeeld J.Th.G. Overbeek en H.G. Bungenberg de Jong, "Sols of Macromolecular Colloids with Electrolytic Nature", hoofdstuk 7 in H.R. Kruyt (ed.), *Colloid Science. Volume II. Reversible Systems* (Elsevier, 1949) met name paragraaf 4, 5 en 6.

daarvoor achtte hij niet alleen de introductie van het macromolecuul verantwoordelijk maar ook recente inzichten uit de röntgenkristallografie. Die hadden namelijk aangetoond dat het bijvoorbeeld bij een korreltje keukenzout onmogelijk is te zeggen uit hoeveel moleculen dat eigenlijk bestaat: de samenstellende Na^+ - en Cl^- -ionen waren alle even sterk met hun burens verbonden, en er was uiteindelijk de meeste reden om zo'n kristal als opgebouwd uit één groot molecuul te beschouwen. Maar hetzelfde moest dan gelden voor bijvoorbeeld een colloïdaal AgJ -deeltje, dat altijd nog een stuk kleiner was dan een zoutkorrel: ook dat zou niet meer als een cluster moeten worden gezien, maar als één gigantisch enkelmolecuul, net zoals zijn macromoleculaire tegenhangers. "Gij zult zeggen," vervolgde Kruyt, "dat het molecuulbegrip dan geen zin meer heeft; inderdaad, maar dat hebben de natuurwetenschappen al zo vaak geleerd: wat op het ene niveau (hier de kleine moleculen) vol diepe zin is, wordt vrijwel zinloos op een ander niveau." Kruyt zag in deze ontwikkeling geen nederlaag, maar juist winst: door het verdwijnen van het moleculaire onderscheid tussen de verschillende klassen van colloïden was er een eenheid ontstaan die tevoren had ontbroken. Het begrip was naar een hoger plan getild, waarvandaan er zicht was gekomen op een nieuwe continuïteit tussen organische chemie en colloïdchemie.¹³⁶

7.4 de creatie van *Colloid Science*

De totstandkoming van de DLVO-theorie en de opkomst van de macromolecuulchemie illustreren beide voor wat voor soort problemen Kruyt aan het eind van zijn carrière als onderzoeksleider kwam te staan. Beide ontwikkelingen vonden buiten het Van 't Hoff-lab plaats en beide ontwikkelingen kwamen voort uit een invalshoek die meer of minder afweek van Kruyts eigen oorspronkelijke benadering. Maar tegelijk waren ze allebei ontegenzeggelijk relevant voor zijn soort van colloïdchemie, en Kruyt kon er onmogelijk aan voorbijgaan - zeker in zijn groeiende rol als de man van het grote overzicht. Maar kon zo'n overzicht nog wel goed gegeven worden? Liepen de benaderingen niet zo sterk uiteen, dat de eenheid, die Kruyt altijd nastreefde, onbereikbaar was geworden? Zoals we gezien hebben was dat niet het geval. Bij de oplossing van het stabiliteitsprobleem hadden de Eindhovenaren gezorgd voor een continue overgang tussen colloïdchemie en fysica, en bij de macromoleculen had Kruyt zelf het beeld geschapen van een fundamentele connectie tussen zijn eigen vak en de organische chemie. Het verdwijnen van die scheidslijnen had samenhang gegeven, maar tegelijk een gigantisch wetenschapsgebied doen ontstaan, dat Kruyt ook niet langer met 'colloïdchemie' aanduidde, maar steeds vaker met 'colloïdwetenschap', of *colloid science*. Een coherent overzicht van dit terrein was in principe mogelijk, maar men moest er wel een zeer ruime blik voor bezitten.

In dat laatste school ook de reden, dat Kruyt er niet meer toe zou komen om alleen en eigenhandig een leerboek over zijn vakgebied te schrijven. In zijn afscheidscollege verkondigde hij weliswaar "aan een derden druk van Colloids te denken", maar hij zou dat

136. H.R. Kruyt, "Grote Moleculen. Rede, gehouden in de Vergadering van de Verenigde Afdelingen der Koninklijke Nederlandsche Akademie van Wetenschappen op 11 April 1949", *KNAW-Jaarboek 1948-1949* (Amsterdam etc., 1949) 151-160. Kruyt erkende overigens dat bij macromoleculen, anders dan bij AgJ -achtige clusters, het belang van de volgorde van aaneenlegging ook een rol speelde. Anderzijds wees hij echter op het voorbeeld van bakeliet, dat zich driedimensionaal uitbreidde, en waar dus geen verschil meer bestond met anorganische colloïden: ook een bakelieten asbak bestond in wezen uit één molecuul. De 'verheffing' van be-grippen tot een grotere eenheid die Kruyt in deze lezing schetste, vertoonde weer sterke overeenkomst met de ontwikkelingsgang die hij had aangegeven in zijn inaugurele oratie, *Algemeene Theorie en Bizardere Ervaring*.

voornemen nooit meer ten uitvoer brengen, en de vraag is of hij nog in alle deelgebieden voldoende thuis was. Wat Kruyt echter wel tot stand wist te brengen, was een groots opgezette monografie, waar hij met een heel team van auteurs aan werkte. Samen met zijn oud-leerlingen Overbeek, Jonker en Bungenberg de Jong, alsmede een medewerker van laatstgenoemde (H.L. Booy), plus een drietal Nederlandse macromoleculspecialisten (P.H. Hermans, J.J. Hermans en R. Houwink), produceerde hij in de jaren vlak na de Tweede Wereldoorlog de bundel *Colloid Science*. Het boek verscheen in twee delen, in 1949 en 1952, en zou sindsdien nog vele malen ongewijzigd herdrukt worden en uitgroeien tot een algemeen standaardwerk op het gebied van colloïdenonderzoek. *Colloid Science* was een waar synthetiserend overzichtswerk, en de manier waarop het tot stand was gekomen, sloot eigenlijk veel beter aan bij de nieuwe rol die Kruyt in zijn vakgebied vervulde dan het schrijven van een nieuwe druk van *Colloids* zou hebben gedaan. Precies zoals bij de symposia had Kruyt er een groep van specialisten voor om zich heen verzameld, die elk hun specifieke bijdrage leverden. En net als bij die gelegenheden verzorgde Kruyt ook voor *Colloid Science* de "General Introduction". Dit was zijn nieuwe manier om de eenheid in het vak te handhaven, en dat gebeurde nu niet meer door één 'algemeen gezichtspunt' in te nemen, maar door verschillende behandelingswijzen te verzamelen en ze in continuïteit met elkaar te verbinden. De winst daarvan was dat het geheel van beschouwingen algemener was geworden dan ooit tevoren; de prijs ervoor was dat zelfs de grenzen naar buiten waren verdwenen, en dat Kruyt zich voor het eerst in zijn loopbaan gedwongen zag tot het schrijven van een "Justification of a colloid science". Nu de colloïdchemie haar definitieve plaats tussen de naburige disciplines had gevonden en zich met die vakgebieden had verenigd, was het noodzakelijk geworden het eigene van het werkkerrein expliciet te bepalen.¹³⁷

8. Conclusie

Aan het eind gekomen van dit omvangrijke hoofdstuk, is het goed om nog één maal een blik terug te werpen, en na te gaan wat we allemaal zijn tegengekomen in 35 jaar colloïdchemisch onderzoek. De eerste indruk daarbij zal vooral zijn: 'veel', want we hebben Kruyt in een hele reeks van situaties zijn onderzoek zien vormgeven. We hebben gezien hoe hij al gauw, uitgaande van de 'theorie Hardy-Bredig-Freundlich', een succesvolle reeks experimenten opzette. We hebben gezien hoe hij later het kinetisch onderzoek afbrak, nadat Van Arkel de bijbehorende theorie had getoetst en verworpen. We hebben gezien hoe Bungenberg de Jong juist een theorie wist op te bouwen, die zelf weer uitgangspunt werd voor verder experimenteerwerk. We hebben gezien hoe Kruyt 'lading en hydratatie' als algemene voorstelling gebruikte, die hij bij specifieke gevallen nader trachtte in te vullen. We hebben hem de *Unity* zien uitdragen, meer fundamenteel onderzoek zien opzetten, en een crisis in de colloïdchemie zien accepteren. We hebben gezien hoe Kruyt weer uit die crisis geraakte

137. Zie ook Kruyts openingsbeschouwing "Unity and diversity in science" in H.R. Kruyt (ed.), *Colloid Science. Volume I. Irreversible Systems* (Elsevier, 1952). Volume II was onlogischerwijze al eerder verschenen: Kruyt (n. 135), *Colloid Science II*. Het plan voor de uitgave van een geredigeerd overzichtswerk was al vóór de oorlog ontstaan. Tijdens de bezetting en het wegvalen van internationale contacten realiseerde Kruyt zich dat hij het project ook heel goed met alleen Nederlanders zou kunnen ondernemen. In de latere periode zou Overbeek overigens veel van het readactiewerk van Kruyt overnemen.

door zijn oude onderzoeksaanpak te blijven volgen, en hoe hij daarbij het AgJ-sol inzette als "ideaal model-kolloid". We hebben het succes van het dubbellaagprogramma geconstateerd, alsmede de gelijktijdige schaalvergroting in het Van 't Hoff-laboratorium. We hebben gezien hoe Kruyt meer een begeleider op afstand werd (de man van de "grote lijn") en hoe hij diezelfde rol ook op symposia en colloquia vervulde. En we hebben gezien waarom het in die functie moeilijker voor hem werd om de eenheid te bewaren, en hoe hij daar uiteindelijk toch nog min of meer in slaagde door, als leider van een team van co-auteurs, *Colloid Science* samen te stellen. Kortom, we hebben Kruyt onder de meest uiteenlopende omstandigheden als onderzoeksleider zien optreden, hem daarbij zijn keuzes zien maken, en steeds de richting van zijn programma zien bepalen.

De verscheidenheid lijkt groot, maar het is onze taak om na te gaan of er, door alle variatie heen, toch ook niet meer blijvende kenmerken in Kruyts benadering zijn te bespeuren - en dat is zeker het geval. Een aantal van die trekken hebben we ook al eerder geconstateerd (zie paragraaf 1), zoals Kruyts concentratie op het stabiliteitsvraagstuk en aandacht voor de processen aan de grenslaag van de colloïddeeltjes - we hebben ze terug zien komen, bijvoorbeeld in zijn voorbijgaan aan de 'instabiliteitsvoorwaarden' (aantrekkende krachten), respectievelijk zijn onderzoek van de dubbellaag, vanaf de jaren 30. Maar wat we nog veel duidelijker kunnen herkennen, is Kruyts meer algemene onderzoeksaanpak: de manier waarop hij experimenten opzette en hun uitkomsten verwerkte. Een omvattende theorie als uitgangspunt bleef voor hem voorwaarde voor het doen van onderzoek, zoals we gezien hebben bij zijn eerste proefnemingen (met de 'theorie Hardy-Bredig-Freundlich') en opnieuw na de crisis, toen de voorstelling van de diffuse dubbellaag het kader ging vormen voor een grootscheeps nieuw programma. Het was daarbij steeds niet zijn bedoeling om zo'n theorie regelrecht te toetsen, maar meer om haar aan te vullen en uit te breiden en, in geval van tegenstrijdigheden, 'naar een hoger plan te tillen'. Anomalieën waren voor Kruyt geen falsificaties, maar juist aanknopingspunten voor nieuw onderzoek, dat de tegenstelling moest wegnemen.

Wat ook regelmatig naar voren is gekomen, is Kruyts voorkeur om te werken met voorbeeldsolen - modelsystemen die de algemene vragen, afgeleid uit de bestaande theorie, het best zouden kunnen beantwoorden. Keuzes daarvan kwamen we tegen bij Van Arkels seleensol, Bungenberg de Jongs agar, de verscheidene 'typische' emulsoïden van Van der Made, Tendeloo en anderen, en bovenal natuurlijk in het AgJ-sol. Het probleem waarvoor dát systeem was uitgezocht (het opbouwen van een geheel nieuwe stabiliteitstheorie), was zó omvangrijk dat Kruyt moest zoeken naar een systeem dat werkelijk model kon staan voor alle andere colloïden. In zilverjodide vond hij zijn gedroomde voorbeeld, omdat het sol daarvan schoon was, simpel opgebouwd, en een dubbellaag bezat die eenvoudig was te manipuleren. De vraagstelling was zeer algemeen en dus moest het onderzoeksobject zeer zuiver zijn: een "ideaal model-kolloid".¹³⁸

Wellicht het belangrijkste kenmerk van Kruyts onderzoeksaanpak schuilt echter in zijn doelstelling: het streven naar een "algemeene theorie". Zo geformuleerd mag dat wellicht triviaal lijken, maar we hebben gezien dat Kruyt zich van zo'n theorie een meer concrete voorstelling maakte. Zo zocht hij niet *per se* naar een exacte theorie - wiskunde mocht, maar was niet noodzakelijk. Het ging hem er dan ook niet primair om precieze

138. Over de problematiek van de keuze van voorbeeldsystemen, zie Adele E. Clarke en Joan H. Fujimura (eds.), *The Right Tools for the Job: at work in twentieth century life sciences* (Princeton, 1992).

voorspellingen te kunnen doen, maar veel meer om een globale achtergrond te kunnen schetsen, waartegen vele specifieke verschijnselen begrepen konden worden. In die zin voldeed het oude beeld van 'lading en hydratatie' eigenlijk meer aan zijn voorstelling, dan de nieuwere DLVO-theorie (Verwey en Overbeek merkten niet voor niets op dat het vak met hun bijdrage een nieuwe fase inging). Kruyt wilde vóór alles een algemeen beeld - een "silhouette", zoals hij later zou zeggen - dat het gehele domein van colloïden kon representeren. Zijn streven was gericht op samenhang en eenheid - *binnen* de colloïdchemie, en, zoals we in zijn reactie op de macromoleculchemie gezien hebben, *tussen* dat vak en de naburige disciplines. Dát was het doel van wetenschappelijk onderzoek volgens Kruyt: het bereiken van een zo algemeen mogelijk begrip dat gold voor een zo groot mogelijk scala aan verschijnselen. En aan deze doelstelling ontleende de natuurwetenschap haar waarde, als zelfstandige onderneming maar ook voor de samenleving. Dit laatste aspect zou Kruyt niet alleen in zijn onderzoek naar voren brengen, maar ook op verscheidene andere manieren proberen uit te dragen. Maar deze activiteit, waarmee Kruyt beoogde de rol van zijn soort onderzoek in de maatschappij erkend te krijgen, zal de stof zijn voor het volgende hoofdstuk.

Hoofdstuk 5

De Maatschappelijke Betekenis van Wetenschappelijk Onderzoek

In het vorige hoofdstuk hebben we gezien hoe Kruyt zijn colloïdchemische onderzoeksprogramma vormgaf en hoe zijn rol als onderzoeksleider in de loop van de jaren evolueerde. Zoals in de inleiding echter al is aangegeven, was het inhoudelijk leiden van onderzoek niet Kruyts enige activiteit die van betekenis was voor de ontwikkeling van de natuurwetenschap in Nederland. Minstens even belangrijk waren zijn inspanningen om de relevantie van wetenschappelijk onderzoek en het nut dat de samenleving daarvan ondervond, aan de buitenwereld duidelijk te maken. Al vanaf het begin van zijn hoogleraarschap probeerde Kruyt om in bredere kring dan de puur academische meer erkenning te krijgen voor de waarde van onderzoek - en dan niet alleen voor hetgeen in zijn eigen laboratorium plaatsvond (hoewel hij dat zeker niet veronachtzaamde), maar ook en met name voor chemisch en wetenschappelijk onderzoek in het algemeen. Door dit optreden - veel meer dan in zijn hoedanigheid van colloïdchemicus - verwierf hij ook een zekere publieke bekendheid. Rond 1930 gold Kruyt als één van de belangrijkste pleitbezorgers voor een grotere rol van wetenschapsbeoefening in de maatschappij. Hoewel niet altijd onomstreden, werden zijn opvattingen gerespecteerd en gewaardeerd, en steeds vaker werd Kruyt gevraagd om zijn standpunten uiteen te zetten - in lezingen voor organisaties van studenten, in interviews voor verscheidene kranten en zelfs in "causerieën" voor de Hilversumse radio. Bovendien nam Kruyt zitting in diverse staatscommissies en particuliere organisaties die zich met de bedoelde problematiek bezighielden. In deze en nog vele andere functies kreeg hij de kans zijn visie niet slechts te verkondigen, maar om haar ook daadwerkelijk te realiseren.¹

Wat bewoog Kruyt in al deze activiteiten? Hoe stelde hij zich de maatschappelijke betekenis van wetenschappelijk onderzoek precies voor en op wat voor manieren

1. Kruyt trad in 1955 op voor de VPRO-radio met de serie "De Academicus in de Maatschappij"; alle andere hier genoemde activiteiten zullen in dit hoofdstuk ter sprake komen. Overigens is het volgende grotendeels gebaseerd op twee eerder door mij geschreven artikelen, waarnaar ik verder niet meer expliciet zal refereren: Geert J. Somsen, "Selling Science: Dutch debates on the industrial significance of university chemistry, 1900-1932" in: Anthony S. Travis, Harm G. Schröter en Ernst Homburg (eds.), *Determinants in the Evolution of the European Chemical Industry, 1900-1939: New Technologies, Political Frameworks, Markets, Companies* (Dordrecht, ter perse) 143-168 en Geert Somsen, "Hooge School en Maatschappij. H.R. Kruyt en het ideaal van wetenschap voor de samenleving", *Gewina* 17 (1994) 162-176.



HORS D'OEUVRE VARIÉ

Figuur 19. Bij het feestdiner ter viering van zijn 25-jarig doctoraat kreeg Kruyt deze collage gepresenteerd als 'gevarieerd voorgerecht'. In de prent zijn verwijzingen naar zijn activiteiten op uiteenlopende gebieden samengebracht - onder andere: zijn industriële contacten (zie de kunstzijden jurk linksonder en de rollen linoleum rechtsboven - Kruyt was adviseur bij kunstzijde- en linoleumfabrieken), zijn rol als redenaar (in het midden, achter de lessenaar), zijn pleidooien voor onderwijshervorming met Amerika als voorbeeld (zie de vlag in het midden), en zijn liefde voor autorijden (eveneens in het midden). Het merkwaardigste is Kruyts pose in toga linksboven, met een gelatinepudding op de ene hand en een driedimensionaal fasendiagram op de andere, vooral vanwege het samengaan van die twee nogal ongelijksoortige objecten. De pudding was een tamelijk banaal produkt van de Lijm- en Gelatinefabriek Delft (waar Kruyt adviseur was), terwijl het bewuste fasendiagram de meest algemene voorstelling vormde van een systeem van twee componenten. In Kruyts visie hadden algemeen begrip en industriële productie echter inderdaad alles met elkaar te maken.

(Universiteitsmuseum, Utrecht, Jac.P. Stolp)

trachtte hij zijn voorstelling aan de man te brengen? Welke taakverdeling zag Kruyt tussen de bestaande academische onderzoeksinstellingen en de sectoren in de samenleving die van hun werk zouden moeten profiteren? Hoe verhield het door hem benadrukte bredere belang van onderzoek zich eigenlijk tot zijn eigen, toch weinig op de praktijk gerichte werk? Kortom, wat wilde Kruyt en hoe trachtte hij het te bereiken? Deze vragen zullen aan de orde komen in het nu volgende hoofdstuk. De opzet is ditmaal niet chronologisch, maar de verscheidene manieren waarop Kruyt zijn ideeën uitdroeg en probeerde te realiseren worden één voor één besproken. Daarbij zullen we achtereenvolgens ingaan op zijn vele voordrachten, op de relaties die hij aanknoopte met de chemische industrie, op het eventueel praktisch relevante onderzoek dat hij in zijn eigen laboratorium liet uitvoeren, en op zijn pogingen het hoger onderwijs beter te laten aansluiten op de behoeften der maatschappij. Bovendien zullen we uitgebreid stilstaan bij de oprichting van de twee grote instanties (TNO en ZWO) die het wetenschappelijk onderzoek in Nederland na de Tweede Wereldoorlog zouden organiseren, waarbij we natuurlijk vooral aandacht besteden aan Kruyts rol in de totstandkoming van beide. Maar vóór we aan dit overzicht beginnen, is het goed om ons eerst rekenschap te geven van de herkomst van Kruyts visie, en wel op twee manieren. We zullen nagaan waar Kruyts belangstelling voor de maatschappelijke positie van onderzoekers oorspronkelijk vandaan kwam. Daartoe moeten we teruggaan naar zijn jeugdijaren en zijn studententijd in Amsterdam (dit komt in paragraaf 2 aan de orde). Maar allereerst is het nuttig om enig zicht te krijgen op de samenhang van Kruyts ideeën over de maatschappelijke betekenis van wetenschappelijk onderzoek met de manier waarop hij zelf gewend was onderzoek te bedrijven.

1. Samenhang in Streven

Het ligt goed beschouwd eigenlijk wel voor de hand dat Kruyts ideeën over de maatschappelijke betekenis van wetenschappelijk onderzoek aansloten bij de manier waarop hij zelf het werk in zijn laboratorium uitvoerde. Want wanneer Kruyt over de waarde van "onderzoek" sprak, dan had hij daarbij vanzelfsprekend (en ook blijkens zijn uitingen) in eerste instantie zijn eigen soort van onderzoek voor ogen. En dan niet zozeer *colloïdchemisch* onderzoek, maar vooral onderzoek dat was opgezet en ingericht op de manier waarop hij dat zelf gewend was te doen. In het vorige hoofdstuk hebben we gezien wat de voornaamste kenmerken waren van de wijze waarop Kruyt zijn onderzoek aanpakte. Hij richtte zijn experimenten van meet af aan op wat hij beschouwde als hét centrale vraagstuk in zijn vakgebied (de colloïdstabiliteit). Voor de beantwoording van dat vraagstuk verzamelde hij nooit gegevens van vele verschillende colloïden, maar maakte hij steeds gebruik van modelsystemen (zoals AgJ). En de uiteindelijke doelstelling van Kruyts onderzoek was altijd te komen om tot een "algemeene theorie" over een zo groot mogelijke klasse van verschijnselen. Zo'n theorie hoefde geen exact mathematisch bouwwerk te zijn en ook niet *per se* zeer precieze voorspellingen te leveren, maar moest vooral een globaal beeld geven dat voor specifieke gevallen nader zou kunnen worden ingevuld. Dat was het doel van Kruyts onderzoek en daarnaar zou hij continu, bij succes zowel als bij tegenslag, blijven streven.

De waarde van aldus ondernomen onderzoek was voor Kruyt in de eerste plaats zuiver wetenschappelijk. Het bereiken van algemeen inzicht in een grote groep

verschijnselen was natuurlijk op zichzelf een belangrijk intellectueel doel, en het streven daarnaar beschouwde Kruyt in wezen als een uiting van beschaving en een hogere "cultuurdaad". Veel meer dan het verzamelen van losstaande gegevens vormde de opbouw van samenhangend, algemeen begrip voor hem een 'verheffende' bezigheid, die de onderzoeker zelfs dichter tot God zou kunnen brengen. Kruyt bracht deze waarden regelmatig naar voren (hoewel de laatste slechts een enkele keer) en hoe meer zijn publieke reputatie de richting op ging van voorvechter van de toepassing van onderzoek, des te sterker ging hij zelf benadrukken dat het primaire belang van wetenschappelijk werk toch lag in het begrijpen op zich, en dat dat het hoofddoel vormde. "[V]óór alles", zo betoogde hij in 1938, zag Kruyt zichzelf als "man van de 'zuivere' wetenschap".²

Maar het streven naar algemeen begrip had volgens Kruyt niet alleen een zuiver wetenschappelijke en 'innerlijk verrijkende' betekenis. Het was tevens maatschappelijk gezien van de grootste waarde. Op welke manier dit het geval was, zette hij onder andere uiteen in een voordracht die hij hield in 1923 en die hij de titel gaf "Wetenschappelijk Onderzoek en Algemeen Belang". Niet iedereen was ervan overtuigd dat die twee zaken bij elkaar hoorden, zo stelde hij daar, en dat was ook wel begrijpelijk want het was lang niet altijd duidelijk hoe de samenleving zou profiteren van de academische onderzoeksactiviteit. "Is er [wel] eenig algemeen belang betrokken", zo vroeg Kruyt zich dan ook af, bijvoorbeeld "bij de oplossing der vraag, of reacties verlopen onder den invloed der donkere straling? of wel bij de vraag of de electrische lading der kolloïden capillair-electrisch is, dan wel dat deze stoffen ionen vormen? of dat de roodverschuiving der sterren al of niet in overeenstemming is met de relativiteitstheorie?" Het leek eigenlijk van niet, want juist doordat de professoren zo sterk hun eigen interesses volgden, had hun onderzoek minder weg van nuttige arbeid dan van "een hogere sportieve bezigheid van een zekere cōterie, iets als 'golf'". Maar die nutteloosheid bleek bij nader inzien schijn, zo hield Kruyt zijn toehoorders voor, en hij demonstreerde dat aan de hand van de genoemde vraag betreffende de electrische lading van colloïden. Op het eerste gezicht leek die vraag er één van puur intellectueel belang, maar de beantwoording ervan leidde tot algemene inzichten, die vervolgens wel degelijk konden worden toegepast op een scala aan praktisch relevante verschijnselen.

Ik denk b.v. aan het verfproces. Wat weet men in de verfindustrie veelal af van het eigenlijke gebeuren in dezen tak van nijverheid? De bedrijfskennis is veelal die van een werkmeester, de methoden die der toepassing van een aantal empirische recepten. Toch is in het wetenschappelijk onderzoek der kleurstof-adsorptie gebleken, dat het verfproces een typisch electro-capillair proces is en alhoewel theoretisch allerminst met deze woorden een volledige verklaring der verftechniek gegeven is, zij kenmerken het gebeuren als te behooren tot een zekere categorie van goed bestudeerde verschijnsels en zoodanige begripsvorming moet leiden tot een beter inzicht in de gebeurtenissen in het bedrijf.³

2. H.R. Kruyt, "Chemische Industrie en Landbouw", CW 35 (1938) 633-634: 633. Kruyt bracht zijn religieuze duiding van wetenschappelijk werk naar voren in een voordracht voor de Nederlandsche Christen Studenten Vereeniging in de zomer van 1920 te Nunspeet: "Het Ideaal der Universiteit", *Eltheto. Maandschrift der Nederlandsche Christenstudentenvereening* 75 (1920) 4-12, m.n. 9. Voor het cultuur- en beschavingsaspect zie onder andere H.R. Kruyt, *De Weg der Wetenschap*, rectoraatsrede 1941 (Amsterdam, 1941) en "De liefde tot de wetenschap spruit voort uit de vreugde der innerlijke verrijking" *Utrechts Nieuwsblad* (16 maart 1941).

3. H.R. Kruyt, "Wetenschappelijk Onderzoek en Algemeen Belang. Voordracht gehouden in de algemeene vergadering der Nederlandsche Chemische Vereeniging te Breda 17 Juli 1923", CW 20 (1923) 541-544: 542.

De vraag naar de colloïdale lading was voortgekomen uit zuiver wetenschappelijke nieuwsgierigheid, maar het antwoord erop kon grote betekenis hebben voor de industrie. "Want theoretisch inzicht wijst den weg naar praktische verbetering" en het door onderzoek verworven begrip kon leiden, *moest* leiden, tot "rationeele bedrijfsmethoden".⁴

Het cruciale element in Kruyts voorstelling van zaken was dat het wetenschappelijk onderzoek van belang kon zijn voor industrie, landbouw, etcetera, juist *doordat* het zich van die praktische relevantie aanvankelijk nooit iets aantrok. Kruyt erkende het paradoxale karakter van deze visie, maar hij nam de schijnbare tegenstelling weg door een onderscheid te maken tussen de 'specifieke' problemen waar men in de praktijk mee zou worstelen en het 'algemene' begrip waar de wetenschap naar streefde. Natuurlijk kon men zich in een universitair laboratorium wel gaan richten op een nauw omschreven vraagstuk uit het bedrijfsleven, maar de resultaten van aldus ondernomen onderzoek zouden altijd uitsluitend betekenis hebben voor dat ene, specifieke probleem. De uitkomsten van zuiver wetenschappelijk onderzoek hadden daarentegen per definitie een veel grotere reikwijdte, omdat zij waren voortgekomen uit een streven naar algemeen inzicht in een zo groot mogelijke klasse van verschijnselen. En dat algemene inzicht kon in tweede instantie juist ook veel breder worden toegepast. Kruyt koppelde deze tegenstelling van specifieke en algemene uitkomsten aan een onderscheid tussen "Kennis en Begrip", dat hij in 1935 uitgebreid toelichtte in een beschouwing met diezelfde titel. 'Kennis', zo stelde hij hierin, bestond uit losstaande feiten, en was het produkt van oppervlakkige bedrijfservaring of even oppervlakkig 'leerwerk' op de middelbare school. 'Begrip' daarentegen, ontstond in de onderzoekslaboratoria, waar men zich richtte op de samenhang tussen de feiten en de essentie van de onderzochte objecten, en waar men zodoende eenheid bracht in de verscheidenheid aan verschijnselen (zie Kruyts eigen colloïdchemie-programma). Deze 'begripsopbouw' leidde zo tot inzichten die niet alleen fundamenteeler waren maar vooral veel algemener geldig, en op die manier kon zuiver wetenschappelijk onderzoek dus toch meer nut hebben dan de praktijkkennis van afzonderlijke feiten.⁵

Kruyt hamerde er bij voortdurend op dat zuivere wetenschap en praktisch nut niet tegenover elkaar stonden, maar twee kanten vormden van dezelfde medaille. *Hoe* de maatschappelijke betekenis echter precies tot uiting zou komen - daarover was hij een stuk minder duidelijk, of althans wisselde zijn verklaring (zoals we zullen gaan zien) nog al eens al naar gelang publiek en omstandigheden. Het is echter goed om door al die variatie heen twee wezenlijk verschillende manieren te onderscheiden waarop het onderzoek in Kruyts visie zijn vruchten zou kunnen afwerpen. De eerste van die twee, de toepassing van de onderzoeksresultaten, hebben we zojuist gezien: het algemene begrip kon volgens Kruyt licht werpen op de vele specifieke problemen uit de praktijk. Maar Kruyt zag ook een tweede manier waarop het onderzoek zijn praktisch nut kon bewijzen, en

4. *Ibid.*

5. H.R. Kruyt, "Kennis en Begrip. Rede uitgesproken bij de aanvaarding van de Francquileerstoel 1935-1936 aan de Universiteit te Gent op 16 October 1935", *NT* 17 (1935) 139-147. Bij het verzamelen van kennis dacht Kruyt onder andere aan zijn eigen leerervaringen van vóór de universiteit. Het contrast dat hij al als eerstejaarsstudent ervoer tussen de nadruk op feiten op de HBS en de aandacht voor "den algemeenen achtergrond" bij Bakhuis Roozeboom komt hier dus in feite terug in een abstracter geformuleerd onderscheid.

die kwam tot uiting doordat er studenten aan deelnamen. In het laboratorium maakten de jonge onderzoekers zich namelijk vaardigheden eigen, die later ook van grote waarde konden zijn in een fabriek of in een andere praktijksituatie; de universiteit was dus niet alleen de leverancier van relevante inzichten, maar tevens en misschien wel vooral van waardevolle werkkrachten. Ook voor deze vorm van maatschappelijke doorwerking achtte Kruyt het essentieel dat het onderzoek zich niet richtte op specifieke praktische problemen, maar streefde naar "algemeene begripsvorming". Want wanneer een student zich daarin had bekwaamd, was hij uiteindelijk veel breder inzetbaar dan wanneer hij slechts een hoeveelheid kennis had opgenomen - hoe omvangrijk en relevant die ook mocht zijn voor de speciale vragen uit de praktijk. Kruyt nam ook deze paradox weer weg door middel van zijn onderscheid tussen kennis en begrip, ditmaal toegelicht aan de hand van het voorbeeld van de kunstzijde-industrie:

Wanneer Ge [Kruyt sprak hier tot studenten] over een grote kennis van zaken beschikt zult Ge in staat zijn bedrijfsleiding in zulk een fabriek te geven. Maar indien Gij U [van het fabricageproces] geen begripsbeeld gevormd hebt, zult Ge voor de pijnlijkste verrassingen komen te staan, zodra Ge een gewijzigd product moet maken, een dunnere, een sterkere of een mattere draad. Uw kennis beheerst misschien het bestaande zolang er geen onverwachte (door U niet gekende) gebeurtenissen plaats hebben; maar zodra er iets *anders* dan het ervarene moet gebeuren, dan wordt om begrip gevraagd. Hij, die de routine van begripsvorming heeft, zal dan de rechte man blijken te zijn. En, waar heden ten dage steeds gevraagd wordt naar nieuwe methoden om economischer te werken, om betere of nieuwe producten te maken, daar zal het ongetwijfeld blijken, dat de beste begrijper de beste kracht is.⁶

De beste begrijper was de beste werkkraft, en de meest geschikte plaats om dat te worden, zo vervolgde Kruyt, was de universiteit. Daar immers streefde men in het onderzoek voortdurend naar zo algemeen mogelijk begrip van de verschijnselen, en de "routine van begripsvorming" kon men zich dan ook het beste eigen maken in een universitair laboratorium. Ook in deze wijze van maatschappelijke doorwerking zien we dus dat Kruyts voorstelling van het praktisch nut van wetenschappelijk onderzoek direct aansloot bij zijn eigen manier onderzoek bedrijven. Of het nu ging om het toepassen van de inzichten die ermee verworven werden of om het inzetten van de studenten die erin werden opgeleid, het streven naar een "algemeene theorie" gaf het onderzoek steeds zijn grootste maatschappelijke waarde - en maakte het dientengevolge ontegenzeggelijk een zaak van groot "algemeen belang".

2. Geëngageerd Academicus

Kruyts eigen manier van onderzoek bedrijven lag onmiskenbaar ten grondslag aan zijn voorstelling van het maatschappelijk nut van wetenschappelijk onderzoek in het algemeen. Het is belangrijk om dat te constateren, maar er is natuurlijk nog niet mee verklaard waarom hij er überhaupt zo'n voorstelling op na hield en waarom hij die ook zo nadrukkelijk verwoordde en overal verkondigde. Om welke reden schonk Kruyt eigenlijk zoveel aandacht aan de maatschappelijke doorwerking van de academische activiteiten en vanwaar stelde hij zoveel belang in de positie van onderzoekers in de

6. *Ibid.*, 146.

samenleving? We kunnen een eerste antwoord op die vraag vinden wanneer we teruggaan naar Kruyts jeugd en vooral naar zijn studententijd, waarin een algemene belangstelling in maatschappelijke vraagstukken reeds werd gewekt en gestimuleerd. Veel van zijn latere opvattingen gaan daadwerkelijk terug op deze vormende periode. Zijn anti-ivoren-toren-mentaliteit bijvoorbeeld was een duidelijk produkt van het zeer geëngageerde studentenleven waaraan Kruyt met enthousiasme had deelgenomen. Om de herkomst te begrijpen van zijn latere visie zowel als van zijn manier van optreden, is het dus goed om een korte blik te werpen op deze tijd van essentiële vorming - in de studentenwereld, maar ook vanuit zijn eigen persoonlijke achtergrond.⁷

Van huis uit lijkt Kruyt namelijk eveneens een zekere maatschappelijke belangstelling te hebben meegekregen die in zijn studententijd des te sterker zou kunnen worden gevoed. Zijn vader was als uitgever van het anti-revolutionaire dagblad *De Standaard* in feite zelf een verspreider van politieke denkbeelden en hetzelfde gold voor zijn broer Herman die de uitgeverij later overnam. Abraham Kuyper nam de firma Kruyt ook geregeld in de arm voor de publikatie van andere geschriften en zodoende kwamen de familieleden in elk geval regelmatig in aanraking met levensbeschouwing en politiek.⁸ Of zij ook echt op Kuypers lijn zaten is echter minder duidelijk: het lijkt erop dat de Kruyts vrijzinniger georiënteerd waren en als Bussumse villabewoners konden ze in elk geval moeilijk tot de 'kleine luyden' worden gerekend.⁹ Maar een algemene politieke betrokkenheid zal de jonge Hugo niet vreemd zijn geweest, al was het maar omdat zijn broer John William (hun moeder was Brits en derhalve kregen sommige van de kinderen Engelstalige voornamen) actief was in de zogenaamde Bond van Christen-Socialisten, een kleine partij waarvoor hij in 1918 zelfs Tweede-Kamerlid zou worden. Bovendien kreeg 'onze' Kruyt in de jaren vóór zijn staatsexamen bijles van de classicus en dichter Herman Gorter, die in die tijd een actief propagandist was voor een radicale vorm van socialisme. Het is natuurlijk onzeker in hoeverre van Gorter en John William doorslaggevende invloed is uitgegaan, maar het staat vast dat ook Hugo Kruyt zich al vroeg tot het socialisme zou bekeren en dat hij die stellingname eveneens zou combineren met een christelijke overtuiging. Deze combinatie zou hij zijn leven lang vasthouden, aanvankelijk als lid van de SDAP, later van de PvdA, en steeds als lid en

7. Voor de wortels van het geslacht Kruyt, zie het bij de familie-uitgeverij verschenen boekwerk *627 jaar familielevens (1336-1963). Verzamelde gegevens die betrekking hebben op het geslacht Kruyt* (Bussum, 1963) en ook Ernst Cohen, "Hugo Rudolph Kruyt 1908-1933" in: *Hugo Rudolph Kruyt 1908-1933. Ter Herdenking van Zijn 25-Jarig Doctoraat* (Amsterdam, 1933) 2-47: 4-6.

8. Ook het gereformeerde blad *De Heraut* werd bij de firma Kruyt gedrukt, alsmede bekende geschriften van Kuyper als *Ons Program* en *Soevereiniteit in Eigen Kring*. De uitgeverij, die later Paris ging heten, verzorgde ook de publikatie van Hugo Kruyts Nederlandstalige geschriften en van de proefschriften van veel van zijn promovendi.

9. Vader Kruyt legde in 1887 zijn werk in de uitgeverij neer en de familie verhuisde naar de Bussumse wijk 'De Spiegel' alwaar zij, net als vele andere welgestelde Amsterdammers, een villa betrokken. In hun Amsterdamse jaren stonden de gezinsleden bij verschillende kerken ingeschreven (vader was Evangelisch-Luthers, moeder Engels-Episcopaans en de kinderen Nederlands-Hervormd) maar Hugo Kruyt gaf bij terugkomst als student geen godsdienst op. Volgens Cohen distantieerde Kruyt sr. zich van Kuyper naar aanleiding van diens "paneelzagerij", dat wil zeggen zijn losbreken uit de hervormde kerk. Zie A.N.J. Fabius, *Geschiedenis van Bussum* (Schiedam, 1973); Gemeentearchief Amsterdam, Persoonsregister; en Cohen (n. 8), "Kruyt", 5-6.

mede-bestuurder van de Remonstrantse Broederschap.¹⁰

Belangrijker echter dan zijn precieze gezindte is dat Kruyt in zijn jeugd een zekere interesse meekreeg voor maatschappelijke onderwerpen en dat hij van huis uit dus in ieder geval open stond voor politiek en levensbeschouwing. Die belangstelling zou in zijn studietijd vervolgens rijkelijk worden gevoed, want op het moment dat Kruyt tot de Amsterdamse studentenwereld toetrad was het engagement daar groter dan ooit tevoren. Traditioneel was het studentenleven altijd uitgesproken onmaatschappelijk geweest: studenten hadden zichzelf steeds beschouwd als een elitegroep die nog even gevrijwaard was van verantwoordelijkheden en verplichtingen, en als zodanig hadden zij zich altijd vrolijk uitgeleefd in hun verhevenheid boven de beslommeringen van het 'ploertendom' (de modale burgers). Tegen het eind van de negentiende eeuw begon die houding echter drastisch te veranderen, vooral doordat steeds minder studenten zelf uit de hogere bevolkingslagen afkomstig waren. De koestering van het bevoorrechte isolement raakte steeds meer op de achtergrond en sloeg zelfs om in een intensieve betrokkenheid bij de problemen van de wereld - en met name bij de 'sociale nooden': de miserabele toestand van de verpauperende arbeidersklasse. De jaren 1890 werden die van de 'Socialistische Vloedgolf' in het Nederlandse studentenleven, die in Delft was begonnen (veel HBS'ers) maar die vooral Amsterdam krachtig overspoelde. Daar wemelde het in die tijd van de 'sociale', 'socialistische' en 'sociologische' initiatieven, en het doorgebroken engagement vond uiting in nieuwe linkse bladen als *Propria Cures*, in socialistisch onderwijs (aan de Amsterdamse universiteit werd een privatdocent 'socialistische economie' toegelaten) en in *debating*- en lezingengroepen, zoals het Socialistisch Leesgezelschap, dat spectaculaire bijeenkomsten organiseerde waar bekende politici als Troelstra, Wibaut en Gorter de strijd aangingen met gereputeerde anti-socialisten zoals Treub en Talma.¹¹

Politieke discussie was er kortom genoeg in de studentenwereld waarin Kruyt zijn entree maakte, en hij zou ook geestdriftig gaan deelnemen aan alle activiteit. Hij werd een regelmatig bezoeker van 'SL' (het Socialistisch Leesgezelschap) en ontpopte zich bovendien als een fervent *debater* - bijvoorbeeld op de pagina's van *Propria Cures* waar hij al in zijn eerste jaar een scherpe polemiek aanging over de verhouding tussen christendom en socialisme.¹² Daarnaast hield Kruyt graag en geregeld referaten en koos

10. Interview met mevrouw J.M. Kruyt-Kramer, 11 december 1992. John William was een bijzonder kleurrijke figuur. Hij ging laat studeren, werd als predikant actief binnen de BCS, bezette de enige kamerzetel die die partij ooit kreeg, ontwikkelde zich steeds in extreem-linkse richting en eindigde zijn leven als Russisch spion in bezet Nederland. Zie hierover Herman Noordegraaf, *Het Christen-Socialisme van John William Kruyt en Truus Kruyt-Hogerzeil* (Voorburg, 1990). Over Gorter zie Cohen (n. 8), "Kruyt", 7.

11. Over de 'Socialistische Vloedgolf' zie: J.H.H. Hülsmann, "Student en Maatschappij" in: H. van der Bijl e.a. (eds.), *Geschiedenis van het Amsterdamsch Studentenleven 1632-1932* (Amsterdam, 1932) 551-683; A.C.J. de Vrankrijker, *Vier Eeuwen Nederlandsch Studentenleven* (Voorburg, [1939]) hoofdstuk 16 ("Moderne geest"); en Rob Hagendijk, *Het Studentenleven. Opkomst en verval van de traditionele studentenkultuur* (Amsterdam, 1980). Over de vormingsfunctie van het traditionele studentenleven en haar relatie tot het burgerlijk beschavingsideaal in de negentiende eeuw, zie P.A.J. Caljé, "De omkeer in 't studentenleven": de pogingen tot hervorming van het studentenleven rond 1920", *Groniek* 25 (1992) 75-93.

12. A.C.L.[eendertz], "Talma op S.L.", *Propria Cures* 13 (1 februari 1902) 182-183. H.R.K[ruyt], "'Talma op S.L.'", *ibid.* (15 februari 1902) 204-205. A.C.L., "Aan mijne tegenstanders", *Propria Cures* 13 (22 februari 1902) 213-215. Leendertz verdedigde in deze discussie de tegenstelling en Kruyt het "noodzakelijk samengaan" van christendom en socialisme. Voor de referaten zie Cohen (n. 8), "Kruyt", 8 en het archief van dispuut

daarvoor onderwerpen als de klassenstrijd, de invoering van een referendum, en "de sociale positie van den student en het recht van studeeren". Die laatste voordracht hield hij op een jaarvergadering van de NCSV, een landelijke christelijke studentenorganisatie waarvan Kruyt naast het corps lid was. Binnen die vereniging nam hij een nogal linkse positie in, maar hij werd daarin gerespecteerd en zou nog jaren later, als hoogleraar, het socialisme met veel gezag verdedigen op de zogenaamde Sociale Conferenties die de NCSV organiseerde.¹³ Maar ook al in zijn studententijd was Kruyt er bijzonder actief. Hij trad onder andere een jaar lang op als 'plaatselijk correspondent' voor het verenigingsblad *Eltheto*. Kruyts belangrijkste studentenactiviteiten waren echter organisatorisch van aard en deze komen onder andere naar voren in zijn medewerking aan het oprichten van een aantal verenigingen. In 1902 zette hij samen met enkele anderen de Amsterdamse afdeling van de NCSV op poten, in 1903 gaf hij mede de aanzet tot de genoemde Sociale Conferenties en begin 1906 zou hij eigenhandig een begin maken met de heroprichting van SL, het discussieforum dat een aantal jaren tevoren ter ziele was gegaan.¹⁴ Vooral dat laatste initiatief zou blijvende vruchten afwerpen en het nieuwe SL dat Kruyt ermee tot stand bracht, organiseerde nog jarenlang geruchtmakende bijeenkomsten. Bij het vijfde lustrum in 1931 werd ook Kruyt zelf gevraagd om op te treden (als eerste voorzitter en omdat hij inmiddels een gewild spreker was) en ook zijn lezing zou, geheel volgens de roemruchte SL-traditie, het nodige stof doen opwaaien - waarover later meer.

Het meest tastbare dat Kruyt zou overhouden aan het Amsterdamse studentenleven was zodoende een aantal optredens voor zijn oude verenigingen. Maar wat ons hier vooral interesseert is een eventuele 'vormende' invloed op zijn ideeën en op zijn algehele mentaliteit. De duidelijkste erfenis in dat opzicht is wellicht zijn uitgesproken (linkse) politieke stellingname en misschien nog wel meer zijn geneigdheid om daarover van gedachten te wisselen - een enthousiasme dat hem niet meer zou verlaten. Nog in de jaren 20 en 30 hield Kruyt in Utrecht regelmatig lezingen over thema's als 'kapitalisme', 'socialisatie' en 'medezeggingschap' terwijl men in studentenkringen bij tijd en wijle kon

B.E.E.T.S., Keizersgracht 323, Amsterdam.

13. Kruyt debatteerde onder andere voor de studenten op de Sociale Conferentie van de NCSV in 1924 met de liberaal Van Dorp en de 'solidarist' Katz; zie J.A.J. Meyer, "Op den Uitkijk", *Eltheto* 78 (1924) 234-239 en P.J.K., "Prof. dr. H.R. Kruyt een herinnering", *Het Parool* (7 september 1959). Genoemde voordracht uit zijn studententijd hield hij in 1904: H.R. Kruyt, "De Sociale Positie van den Student en het Recht van Studeeren", *Eltheto* 58 (1904) 150-151. Kruyts positie binnen de NCSV blijkt hier goed uit de reacties van de aanwezige predikanten. Over aard en organisatie van de NCSV zie A.J. van den Berg, *De Nederlandse Christen-Studenten Vereniging 1896-1985* ('s-Gravenhage, 1991), m.n. hoofdstuk 1.

14. A.C. Leendertz, "Aan alle Christen-studenten", *Propria Cures* 13 (8 maart 1912) 233-234. Kruyt was één van de mede-ondertekenaars van de oproep tot heroprichting. Zie verder Van den Berg (n. 14), *NCSV*, 47-49. Over de heroprichting van SL zie Kruyts oproepen en verslagen in *Propria Cures* 17 (3 februari 1906) 161, *ibid.* (10 februari 1906) 173, en *ibid.* (2 juni 1906) 313-315, alsmede "Amsterdamse Stud.-Vereniging voor Sociale Lezingen" in: *Amsterdamsche Studenten Almanak voor 1907* (Amsterdam, 1906) 188-190 en *Amsterdamsche Studenten Almanak voor 1908* (1907) 189. Zie voor de correspondentie van het SL-bestuur met potentiële sprekers vanaf 1906 het Archief A.S.V. Sociale Lezingen in Universiteitsmuseum De Agnietenkapel te Amsterdam.



Figuur 20. Studenten van het Amsterdamse dispuut B.E.E.T.S. ('Bestendige Eendracht en Trouwe Samenwerking') tijdens de inauguratie van de eerstejaars in november 1900. Kruyt zit, als een van de nieuwkomers, vóór de tafel (vierde van rechts), met rechts naast hem zijn vriend en regelmatige tegenstander in het politieke debat, A.C. Leendertz. Ook in zijn dispuut zou Kruyt zijn belangstelling voor maatschappelijke problemen kunnen ventileren. Hij hield voor zijn mede-'beetsianen' verschillende referaten, onder meer over klassenstrijd en de invoering van referenda.

(Archief dispuut B.E.E.T.S., Keizersgracht 323, Amsterdam)

luisteren naar een "politiek overzicht door H.R. Kruyt".¹⁵ Nu waren dit voor een scheikundehoogleraar alleszins bijzondere activiteiten, maar zij hebben op zich natuurlijk nog niets te maken met ideeën over de rol van *wetenschap* in de maatschappij: Kruyt zou later ook zelf benadrukken dat men allerm minst socialist hoefde te zijn om die rol te onderkennen. Een voor ons veel relevanter effect van zijn vormingsperiode betreft dan ook zijn perceptie van de eigen positie als academicus. Net als veel anderen in de zo bewust geëngageerde studentenwereld zag Kruyt zichzelf niet zozeer als lid van een geleerde elite die boven de maatschappij was verheven, maar veel meer als een hoger opgeleide met een directe wereldlijke taak. Dáárop legde hij de nadruk in het genoemde referaat voor de NCSV ("de sociale positie van den student en het recht van studeeren") en daarin school voor hem ook de functie van een organisatie als SL. Want als student moest men niet alleen zijn vak leren, maar zich ook op de hoogte stellen van de

15. Kruyt hield deze voordrachten onder andere op zogenaamde kameravonden van de afdeling Utrecht van de Vrijzinnig-Christelijke Studenten-Bond. Zie het blad *Berichten uit den Vrijzinnig-Christelijken Studentenbond* jaargangen 12 (1927-1928), 13 (1928-1929) en 15 (1930-1931). Zie ook Cohen (n. 8), "Kruyt", 40-42.

toestand in de maatschappij, waarin men immers binnenkort datzelfde vak ging uitoefenen. Het was volgens Kruyt een essentieel onderdeel van de opleiding (en niet slechts een hobby daarnaast) dat men zich rekenschap gaf van de situatie in de wereld, hetgeen hij in een oproep aan "de Jongstudenten" uiteenzette:

Ge zult toch wel voelen, dat wilt ge goed en sterk in Uw maatschappelijken werkkring komen te staan, ge in die maatschappij ook eenigermate georiënteerd moet zijn; dat ge de sociale beteekenis van uw werkkring zult moeten begrijpen. Gij, aanstaande medicus, dominee, advocaat, leeraar, gij zult in dat maatschappelijk leven Uw plaats moeten innemen, dan zult ge voor de gebreken onzer samenleving komen te staan (...). Weet, dat begrip van sociale aangelegenheden, een noodwendig element in uw vorming is, om straks sterk en voor uw plaats berekend uw taak in de maatschappij te aanvaarden.¹⁶

Studeren betekende voor Kruyt zich in de wetenschap bekwamen, maar dat mocht nooit leiden tot een soort geleerd isolement. Academics stonden niet boven of buiten de samenleving, maar functioneerden elk binnen hun 'maatschappelijke werkkring'. Het was deze notie die Kruyt uit zijn studententijd zou overhouden en die, veel directer dan zijn socialisme, de basis vormde voor zijn streven om inhoud te geven aan de maatschappelijke rol van wetenschappelijk onderzoek. Want niet alleen de medicus, dominee en advocaat konden voor de wereld van betekenis zijn, hetzelfde gold onverkort voor de chemisch onderzoeker.

3. "Samenwerking van Wetenschap en Industrie in Nederland"

Al kort na de start van zijn wetenschappelijke loopbaan in Utrecht zou Kruyt werk gaan maken van de maatschappelijke rol van het chemisch onderzoek. En dat was nodig, want het belang van die rol werd nog geenszins allerwegen onderkend. Dé 'maatschappelijke werkkring' van de academisch chemicus zou natuurlijk de chemische industrie moeten zijn - dat was de verwachting onder de studenten en dat werd ook regelmatig door hun hoogleraren zo verkondigd. Maar de werkelijke betekenis van de universitaire scheikunde voor het bedrijfsleven was in feite een stuk kleiner dan men zich graag voorstelde. Anno 1908 werkte slechts 8% van de afgestudeerde chemici in een chemische firma en de industrie leek bovendien weinig van zins om daar verandering in te brengen. In 'de praktijk' stond men over het algemeen eigenlijk vrij sceptisch tegenover de waarde van academisch opgeleiden en dat wantrouwen betrof niet eens alleen de universitaires, maar ook de chemisch technologen van de TH in Delft van wie men toch bij uitstek geschiktheid voor de industrie zou mogen verwachten. Het voornaamste bezwaar, zo liet een aantal industriëlen in het *Chemisch Weekblad* weten, betrof de geringe praktijkervaring van de academics en nog meer hun gebrek aan respect voor die praktijk. B. Wigtersma, die aan een Groningse papierfabriek werkte, had zelf vaak meegemaakt hoe minachting voor de fabriekservaring had geleid tot "een reusachtig fiasco van den man van wetenschap". En zijn Rotterdamse collega-industrieel J.F.B. van Hasselt wees op de grote kloof tussen de scheikunde die men in een academisch labora-

16. H.R. Kruyt, "Voor de Jongstudenten", *Propria Cures* 18 (13 oktober 1906) 46-47.

torium kon leren en de werkelijke processen die plaatsvonden in de chemische fabriek.¹⁷

Wigersma en Van Hasselt ventileerden deze meningen als bijdragen aan een discussie over het eventueel opzetten van een zware chemische industrie in Nederland. Deze discussie zou niet leiden tot het beoogde resultaat maar zij deed wel scherp uitkomen wat de heersende opvattingen waren over het praktisch nut van academische scheikunde. De gedachtenwisseling was ontstaan naar aanleiding van de inaugurele oratie die de Delftse hoogleraar Alphons Steger in 1912 had gehouden. Steger had erop gewezen dat het mogelijk moest zijn zo'n grootschalige industrie van de grond te krijgen, omdat in Limburg recentelijk steenkoolvelden waren blootgelegd van een bijzonder geschikte kwaliteit.¹⁸ De industriëlen erkenden dat die grondstof aanwezig was, maar ze stelden dat het nog ontbrak aan hoger opgeleide chemici die technisch leiding konden geven aan een dergelijke onderneming. De praktijkwaarde van de academici was volgens hen te gering, zoals we zojuist hebben gezien, en die scepsis bleek nu niet alleen te bestaan in het bedrijfsleven, maar ook aanwezig te zijn bij de overheid. Dit kwam naar voren in het vervolg van de discussie, toen de regering besloot de suggesties van Steger verder te onderzoeken en daartoe een 'regeerings-consulent voor de chemisch-pharmaceutische industrie' aanstelde. Om die functie te vervullen koos zij echter niet een universitaire chemicus, en zelfs geen Delftse hoogleraar, maar een apotheker, en nog wel één die sympathiek stond tegenover de opinies van iemand als Wigersma. Natuurlijk werd deze keuze betreurd en verworpen door de academici, maar hun verontwaardiging onderstreepte in feite slechts dat ze buitenspel hadden gestaan bij de besluitvorming. De Utrechtse hoogleraar Van Romburgh bijvoorbeeld sprak zijn afkeuring uit over de regeringsbeslissing maar hij deed dat in een wetenschappelijke verhandeling voor een geleerd genootschap en het was de vraag of hij daar wel het juiste gehoor mee bereikte.¹⁹ De universitaire chemicus bleef nog al te vaak een vreemde in industriële aangelegenheden - of werd in elk geval als zodanig beschouwd.

Het moet gezegd worden dat op het moment dat Kruyt actief begon te worden de situatie al enigszins was verbeterd. Dat wil zeggen: de industrie was in omvang flink aan het toenemen, en er was tenminste één bedrijf (Philips) waar men van de waarde van wetenschappelijk onderzoek overtuigd was (zie Figuur 21). Beide ontwikkelingen waren in feite het gevolg van de Eerste Wereldoorlog, waarin Nederland weliswaar geen partij

17. B. Wigersma, "De Toekomst der Chemische Industrie in Nederland", *CW* 9 (1912) 810-812. J.F.B. van Hasselt, "Chemische Procédés in Laboratorium en Fabriek", *ibid.* 10 (1913) 1052-1055. A. Vosmaer, 'adviseerend ingenieur', had soortgelijke kritiek: "Iets over Techniek en Wetenschap", *ibid.* 10 (1913) 142-147. Zie voor de werkgelegenheidscijfers *De Toekomst der Academisch Gegradeerden. Rapport van de Commissie ter Bestudeering van de Toenemende Bevolking van Universiteiten en Hoogescholen en de Werkgelegenheid voor Academisch Gevormden* (Groningen en Batavia, 1936) hoofdstuk 7: 173.

18. Alph. Steger, *De Toekomst der Chemische Industrie in Nederland. Rede uitgesproken bij de aanvaarding van het Hoogleraarsambt aan de Technische Hoogeschool te Delft den 4den Juni 1912* (Amsterdam, 1912).

19. P. van Romburgh, "Chemie en Onafhankelijkheid", *PUG* (1 juni 1915) 9-37. De 'regeerings-consulent' was H.F. Tillema; zie H.F. Tillema, "Aan Allen die Belang Stellen in den Bloei van 'Groot Nederland'", *CW* 11 (1914) 930-932 en 990-991. Drie jaar later was Van Romburgh verbaasd over de omslag die toch nog gekomen was ("Met een tooverslag kwam de belangstelling"); zie zijn rectoraatsrede "Onzacht Ontwaakt", *Jaarboek der Rijks-Universiteit te Utrecht 1917-1918* (Utrecht, 1918) 5-29.



Figuur 21. Eén van de laboratoria voor chemisch onderzoek van Philips, in 1928. Na het pionierswerk van de Delftse Gist- en Spiritusfabriek in de jaren 1880 was Philips het eerste Nederlandse bedrijf dat grootschalige research-faciliteiten opende. Hoewel het Natuurkundig Laboratorium het bekendst zou worden werd er in Eindhoven eveneens veel scheikundig onderzoek verricht. Een groot aantal leerlingen van Kruyt zou bij Philips gaan werken en Evert Verwey bracht het er na de Tweede Wereldoorlog zelfs tot directeur van toen roemruchte Natlab. De Philips-laboratoria kenmerkten zich door hun haast academische uitstraling. (CW 25 (1928) 417)

was, maar die wel een ingrijpend economisch isolement met zich mee bracht. Het was voor Philips bijvoorbeeld onmogelijk geworden om essentiële onderdelen van gloeilampen te importeren en dus werd het bedrijf gedwongen alles zelf te gaan produceren. Daartoe opende het bijvoorbeeld een glasfabriek en startte het ook, en dat is relevanter, een eigen productie van edelgasen waarmee de lampen moesten worden gevuld. Gasfabricage was een ingewikkelde technologie en onder andere om die onder de knie te krijgen stichtte men bij Philips een omvangrijk onderzoekslaboratorium.²⁰ Maar ook de

20. Ook de in 1910 ingevoerde octrooiwet speelde een rol in de oprichting van dit laboratorium. Het verband tussen patenten en research is echter niet eenduidig: in Zwitserland, waar men even laat als in Nederland octrooiwetgeving invoerde, verrichten de chemische bedrijven al decennia lang op grote schaal research, juist om andermans vindingen zelf in productie te kunnen nemen. Zie Jakob Tanner, "The Impact of Industrial Property Rights on the Swiss Pharmaceutical Industry, 1907-1939" in: Travis e.a. (n. 1), *Evolution of the European Chemical Industry*. Zie over de opkomst van industriële laboratoria in Nederland E.S.A. Bloemen,

algemene groei van de industrie was paradoxaal genoeg een gevolg van de economische isolatie. Door de geblokkeerde grenzen verdween mét de import namelijk ook de internationale concurrentie en met name die van de chemische industrie in Duitsland was altijd zo goed als onoverkomelijk geweest. Met het wegvallen ervan ontstonden dus nieuwe mogelijkheden en de Nederlandse chemische bedrijven profiteerden daarvan aanmerkelijk. De *middelen* om onderzoek en onderzoekers een rol te laten spelen kwamen zodoende in ruime mate voorhanden en ook de algemene bereidheid daartoe groeide.²¹

Kruyt werd in 1918 voorzitter van de Nederlandsche Chemische Vereniging (NCV) en in die functie stelde hij zich als één van zijn taken de industriële waardering voor wetenschappelijk onderzoek te vergroten. Anders dan zijn oudere collega Van Romburgh deed hij dat niet door de geleerde gemeenschap toe te spreken maar wendde hij zich (als niet-elitair academicus) direct tot de industriëlen zelf. Om dit te symboliseren organiseerde hij de jaarvergaderingen van de vereniging niet langer in universiteitssteden maar in 'centra van industrie'. En als een iets concretere stap deed hij op de eerste van die bijeenkomsten een dringende oproep tot "Samenwerking van Wetenschap en Industrie in Nederland". In een uitgebreide openingsvoordracht stelde Kruyt dat het "zeer te bejammeren" was dat "het contact tusschen wetenschap en industrie hier te lande steeds zoo zwak [is geweest]. Zodoende zijn de groote talenten, die hier in vroeger jaren de wetenschap vooruit gebracht hebben [Kruyt dacht daarbij aan coryfeeën als Van 't Hoff en Bakhuis Roozeboom], volkomen onvruchtbaar voor de ontwikkeling der industrie geweest."²² Het chemisch bedrijfsleven had in het verleden een unieke kans laten liggen, maar desondanks was het in de afgelopen jaren sterk gegroeid. Deze verbetering moest echter vooral aan de 'gunstige' oorlogsomstandigheden worden toegeschreven en zij was dus voorspelbaar van tijdelijke aard. Wanneer straks de oorlog voorbij was, zo hield Kruyt zijn gehoor voor, dan zou de buitenlandse concurrentie zich weer aandienen, en op dat moment was wetenschappelijke ondersteuning van levensbelang voor de chemische industrie. Want verscheidene voorbeelden uit het buitenland hadden bewezen "dat zelfs een bloeiende industrie op scheikundig gebied ten onder gaat,

"Bezieling en 'esprit d'équipe'. Industriële research in Nederland in het interbellum" in: P. Boomgaard e.a. (eds.), *Exercities in ons Verleden. 12 opstellen over de economische en sociale geschiedenis van Nederland en koloniën 1800-1950* (Assen, 1981) 153-167 en J.J. Hutter, "Nederlandse Laboratoria 1860-1940, een kwantitatief overzicht", *Gewina* 9 (1986) 150-174. Ernst Homburg, "The Emergence of Research Laboratories in the Dyestuffs Industry, 1870-1900", *British Journal for the History of Science* 25 (1992) 91-111, beschrijft de opkomst van de eerste industriële research, in Duitsland.

21. Ernst Homburg, "De overgang naar een moderne chemische industrie", *Chemisch Magazine* (1989) 741-743 en *ibid.* (1990) 311-314. Homburg laat zien dat de opkomende industrieën ook een ander karakter hadden dan voorheen: ze produceerden op grotere schaal en continu (in plaats van ladingsgewijs), ze waren meer internationaal georiënteerd en ze gebruikten geavanceerdere technologieën. Naast uitbreidingen werd ook een aantal belangrijke nieuwe bedrijven opgericht, zoals Enka, de HKI, de Koninklijke Nederlandsche Zoutindustrie en Hoogovens; vaak speelden autarkie-overwegingen hierin een rol.

22. H.R. Kruyt, "Samenwerking van Wetenschap en Industrie in Nederland", voordracht voor de jaarvergadering van de NCV op 3 april 1918, *CW* 15 (1918) 418-426: 421. Voor een weergave Kruyts taakopvatting in zijn functie als voorzitter van de NCV, zie H.R. Kruyt, "Herinneringen", *CW* 25 (1928) 342-344.

als het wetenschappelijk onderzoek haar niet op peil houdt."²³

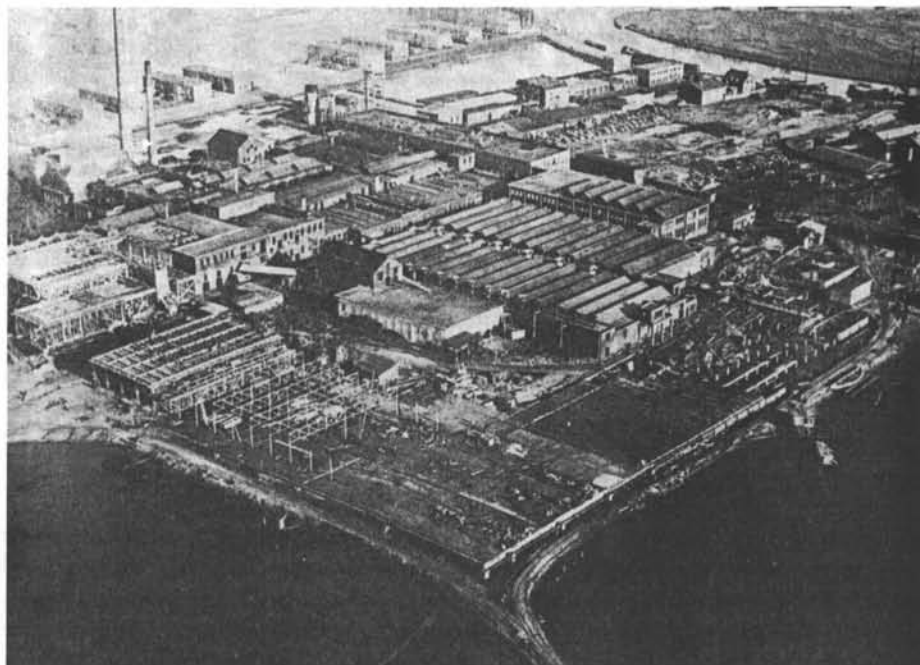
Het beeld dat Kruyt de industriëlen voorhield kwam overeen met de voorstelling die we hebben leren kennen in paragraaf 1, namelijk dat zuivere wetenschap en praktisch nut in elkaars verlengde lagen en dat er een samenhang was "van algemeen belang, onderwijs-belang en vakbelang". Wat alleen nog ontbrak was *samenwerking* - Kruyts sleutelbegrip in deze dagen - en die zou op twee manieren gestalte moeten krijgen. Ten eerste zouden de academisch chemici meer belangstelling moeten tonen voor de specifieke problemen uit de industrie ("die hen daarvoor ongetwijfeld behoorlijk zal honoreeren"), maar vooral diende er "ruime plaats te zijn voor jonge onderzoekers in de fabriek." Want daarop legde Kruyt de meeste nadruk: de bedrijven moesten de grote praktische inzetbaarheid gaan inzien van afgestudeerde chemici.

Wij kunnen u helpen aan jongelui met een algemeen begrip van de grondslagen onzer wetenschap, die hun eigen weg op vindingrijke wijze weten te kiezen; plaats ze in uw fabrieken en in uw onderzoekslaboratoria, laat ze daar de noodige vrijheid, maak ze vertrouwd met de vraagstukken, die in uw bedrijf om oplossing vragen en wees niet ongeduldig als er geen onmiddellijk resultaat komt: op den duur zullen zulke mensen toch blijken hun tractement waard te zijn.²⁴

Natuurlijk meldden de bedrijven zich niet van de ene op de andere dag *en masse* aan de universiteitspoort, maar het lijkt er wel degelijk op dat aan Kruyts oproep gehoor werd gegeven. Amper een week later namelijk stak een aantal industriëlen de hoofden bij elkaar met het voornemen een branche-organisatie op te richten om de belangen te behartigen van de gehele chemische industrie. Op zich had dat initiatief niets met Kruyts betoog te maken, maar wel het feit dat men tegelijk besloot dat naast onderlinge samenwerking tevens samenwerking met de instellingen der wetenschap noodzakelijk was voor de voortzetting van het succes in de bedrijfstak. Als vertolker van dit idee en als vertegenwoordiger van 'de wetenschap' werd Kruyt ook zelf bij de activiteiten betrokken. Toen op 17 mei 1918 de Vereniging van de Nederlandsche Chemische Industrie (VNCI) werd opgericht kreeg hij een zetel in het bestuur; omgekeerd nam één van de industriëlen zitting in het bestuur van de NCV. De coöperatie werd verder bestendig doordat de verenigde bedrijven besloten de NCV financieel te gaan ondersteunen, onder andere om het haar mogelijk te maken haar publikaties te reorganiseren. Het *Recueil des Travaux Chimiques de Pays-Bas* (hét chemisch vaktijdschrift van Nederland) kon hierdoor onder auspiciën van de chemische vereniging gebracht worden, terwijl het *Chemisch Weekblad* het gezamenlijke orgaan werd van NCV en VNCI. Dat laatste blad werd bovendien flink uitgebreid en kreeg onder andere speciale afdelingen voor industrieel nieuws en vanaf 1923 zelfs een extra katern getiteld *Chemie en Industrie*. Maar bovenal werd de relatie tussen die twee officieel vastgelegd in de

23. Kruyt (n. 23), "Samenwerking", 421. Naast de hier besproken voordracht deed Kruyt in deze periode meer oproepen tot samenwerking. Het vroegste voorbeeld daarvan is K[ruyt], "Industrie en Wetenschap", *In- en Uitvoer. Handels-Economisch Weekblad voor Nederland en zijne Koloniën* 1 (25 oktober 1916) 677-678. Ook een populariserend artikel over staalfabricage bevatte in wezen een pleidooi voor invoering van een wetenschappelijke basis in die branche; zie H.R. Kruyt en D.J.W. van Dongen, "IJzer en Staal" in: D.A. Zoethout (ed.), *De Schatten der Aarde. Hoe ze worden gewonnen, bewerkt en gebruikt* (Amsterdam, 1918) 187-220.

24. Kruyt (n. 23), "Samenwerking", 424-425. Kruyt citeerde hier uit een redevoering van Raphael Meldola, de voorzitter van de Britse Chemical Society, uit 1907.



Figuur 22. Het fabrieksterrein van de *Hollandsche Kunstzijde Industrie* te Breda, waar Kruyt adviseur was. De HKI was één van de nieuwe chemische bedrijven in Nederland, die in de jaren na de Eerste Wereldoorlog een sterke groei doormaakten. Binnen negen jaar na oprichting kon de fabriek al belangrijk worden uitgebreid, hetgeen op de voorgrond van deze foto uit 1928 te zien is. Nog vóór deze uitbreiding had de HKI bovendien dependances geopend in Frankrijk en in Spanje, terwijl een Britse dochterfabriek in voorbereiding was. De produktie van kunstzijde was in de jaren 20 een ware *high-tech* onderneming en bedrijven als de HKI openden al vroeg grootschalige onderzoeksfaciliteiten, onder andere op aandringen van Kruyt. Diens leerling Bungenberg de Jong werd in 1924 aangesteld om het research-laboratorium in Breda op te zetten en zijn latere promovendi Koets, Oosterman, Van Nouhuys, Röder en Vermaas zouden eveneens een betrekking vinden in research-instellingen van de HKI en gelieerde ondernemingen. (CW 25 (1928) 402)

statuten van de VNCI, waarin werd opgenomen dat men zou streven naar "het leggen van den voor den bloei der Nederlandsche Chemische bedrijven zoozeer gewenschten band tusschen de wetenschap en de industrie".²⁵ De samenwerking waartoe Kruyt had opgeroepen stond een half jaar later reeds zwart op wit.

25. Dit was artikel 4c; zie "Eerste Jaarverslag van de VNCI", CW 17 (1920) 2-4. De VNCI begon met dertig bedrijf-leden en groeide (met ups en downs) uit tot dé overkoepelende branche-organisatie die zij nu nog steeds is. Overigens werd het geld dat men aan de NCV doneerde ook besteed aan het opzetten van een analisetenexamen dat later uit zou groeien tot een complete zomercursus voor de opleiding van analisten in Utrecht. Voor de reorganisatie van de tijdschriften zie Rec. 39 (1920) 1. Een academicus die naast Kruyt een belangrijke rol in de VNCI zou spelen was G. Hondius Boldingh, promovendus van Van 't Hoff, buitengewoon hoogleraar in de technische scheikunde te Amsterdam en mededirecteur van de N.V. Chemische Fabriek 'Naarden'. Zie ook Cohen (n. 8), "Kruyt", 28.

4. Kruyt als Industrieel Adviseur

Kruyt zal ongetwijfeld tevreden zijn geweest met deze ontwikkelingen en zijn eigen inbreng binnen het VNCI-bestuur zal er zeker niet vreemd aan zijn geweest. Maar hoe mooi de resultaten op zich ook waren, ze hadden tevens hun beperkingen, in die zin dat de bereikte samenwerking nu voornamelijk op organisatorisch vlak bestond. Er waren formele en financiële banden geschapen tussen de chemische vereniging en het bedrijfsleven, maar daarmee was een daadwerkelijke doorwerking van de chemie als wetenschap in de industrie nog niet gegarandeerd. Een eerste manier om die doorwerking wel te realiseren diende zich echter al snel aan. Nog in 1918 richtte 'een der Grootmeesters der Nederlandsche Industrie', F.G. Waller, zich tot Kruyts promotor en collega Cohen met de vraag of die een geschikt chemicus kon aanwijzen om wetenschappelijk advies te kunnen geven bij de Lijm- en Gelatinefabriek te Delft. Cohen verwees Waller direct door naar Kruyt, niet alleen omdat lijm en gelatine colloïdchemische objecten waren maar ook vanwege diens algemene interesse in de rol van wetenschap in de industrie.²⁶ Kruyt werd nog in 1918 als 'wetenschappelijk adviseur' aan genoemd bedrijf verbonden en hij zou diezelfde functie in de loop der jaren bij verscheidene andere ondernemingen eveneens gaan vervullen - bijvoorbeeld bij de Nederlandsche Linoleumfabriek te Krommenie, de Algemeene Norit Maatschappij in Amsterdam en de Hollandsche Kunstzijde Industrie te Breda en daaraan gelieerde bedrijven in binnen- en buitenland (zie Figuur 22). Op een lijst die Kruyt in de jaren 50 maakte van zijn eigen activiteiten staan in totaal tien particuliere ondernemingen vermeld, waaraan hij in één of andere adviserende betrekking (Kruyt was ook commissaris bij een aantal bedrijven) was verbonden.²⁷

Kruyt bezat ontegenzeggelijk veel adviseurschappen maar hij was zeker niet de enige of de eerste hoogleraar die zo'n functie vervulde. Het zou ook onzin zijn om te beweren dat hij dat alleen deed om erkenning te krijgen voor de maatschappelijke waarde van de chemische wetenschap. De industrie betaalde immers ook niet onbehoorlijk voor de professorale diensten en er zal dus ook een financiële prikkel aanwezig zijn geweest. Maar belangrijker dan Kruyts eventuele motieven bij het aangaan van zijn industriële

26. Cohen (n. 8), "Kruyt", 23-25 en W.H. van Leeuwen, "Dr. F.G. Waller 1860-1935 [*in memoriam*]. Eerelid", *CW* 32 (1935) 514-517. Waller was een neef, medewerker en ook een duidelijke geestverwant van J.C. van Marken, de oprichter en directeur van de Delftse Gist- en Spiritusfabriek (de directeur van de Lijm- en Gelatinefabriek was D.H. van Everdingen). Beiden waren van het soort verlichte ondernemers dat niet alleen streefde naar winst maar ook zorgde voor goede werkomstandigheden voor hun arbeiders, onder andere door het verschaffen van huisvesting, onderwijs- en sportvoorzieningen, pensioenregelingen, etcetera. Het is opvallend dat we juist bij dit type ondernemers (denk ook aan de gebroeders Philips) de eerste inzet van wetenschap in de industrie aantreffen, met als onbetwiste pionier Van Marken die in 1885 de beroemde bacterioloog M.W. Beijerinck in dienst nam.

27. Naast de genoemde bedrijven zou Kruyt zich verbinden aan de Albatros Superfosfaat Fabrieken, de Gerofabrieken en Bredero's Bouwbedrijf (bij alle drie en bij de HKI als commissaris), aan La Seda de Barcelona (een dochter van de Algemeene Kunstzijde Unie waartoe ook de HKI behoorde), aan de research-organisatie van de AKU en aan de octrooiafdeling van Philips. Op een *curriculum vitae* dat in het Utrechts Universiteitsmuseum bewaard wordt, staat ook een commissariaat bij de Vereenigde Chemische Fabrieken sinds 1936 vermeld. Zie verder *CW* 54 (1958) 324 en Cohen (n. 8), "Kruyt", 25. Kruyts eigen lijst bevindt zich in het bezit van mevrouw J.M. Kruyt-Kramer, die haar vriendelijk aan mij ter beschikking stelde. Het is overigens opvallend dat Kruyt in het begin vooral bij echte 'colloïd-industrieën' adviseur werd en later ook bij andere bedrijven.

relaties is de manier waarop hij ze invulde: de verhouding tussen universiteit en bedrijfsleven die hij in zijn adviseurschap nastreefde en de taakverdeling die hij zich daarbij voorstelde. Het is overigens niet gemakkelijk om die zaken precies te achterhalen want veel van het advieswerk vond mondeling plaats en bovendien werden Kruyts eventuele suggesties uiteraard niet gauw publiekelijk prijsgegeven. Maar we kunnen wel een indruk krijgen van hoe hij te werk ging doordat hij een aantal malen voorlichting gaf, niet aan vertegenwoordigers van één enkel bedrijf maar aan die van een hele bedrijfstak, en van die gelegenheden zijn wel verslagen gepubliceerd. Natuurlijk zijn deze bijeenkomsten wat massaler en minder vertrouwelijk dan een persoonlijk bezoek aan een enkele fabriek, maar niettemin kunnen ze ons iets laten zien van het soort van samenwerking tussen wetenschap en industrie dat Kruyt voor ogen had.²⁸

Eén van de bedoelde bijeenkomsten vond plaats in 1921 in de Pulchri-studio te Den Haag, alwaar Kruyt optrad voor een vergadering van 'Beetwortelsuikerfabrikanten en Raffineurs'. Kruyt sprak tot deze "mannen van de praktijk" (zoals hij ze zelf noemde) met het doel hun duidelijk te maken in hoeverre de suikerfabricage zou kunnen profiteren van de "nieuwere ontwikkeling der kolloïdchemie". Men verwachtte niet teveel, zo stelde hij vooraf, en zeker niet "dat ik U een oplossing voor Uw bedrijfsproblemen kom brengen (...); de wetenschap kan op haar best slechts den weg wijzen, waarin de oplossing der moeilijkheden gezocht moet worden." Om die weg aan te geven besloot Kruyt te beginnen met een soort inleidend college in de colloïdchemie, waarin hij de (toen nog heersende) theorie van lading en hydratatie in grote trekken, en bijzonder helder en begrijpelijk, uiteenzette. Daarna spitste hij de algemene inzichten toe op het specifieke proces van 'carbonatie': een zuiveringsstap die in het vroege stadium van de suikerproductie gebruikt werd. Kruyt beschreef de werking van dit proces volledig in colloïdchemische termen en gaf een overeenkomstige duiding van het falen ervan, zoals dat zo nu en dan optrad. Hij wees echter nog niet direct op een remedie: het ging hem er in zijn betoog in de eerste plaats om aan de suikerfabrikanten te laten zien wat er zich 'eigenlijk' - dat wil zeggen wetenschappelijk gezien - in het productieproces afspeelde. En hij wilde daarmee meteen aantonen dat een vak als colloïdchemie geen dor, academisch specialisme was, maar dat het wel degelijk ook allerlei in de praktijk voorkomende verschijnselen kon beschrijven. De carbonatie was daarvan één voorbeeld, maar men kon hetzelfde demonstreren, zo beweerde Kruyt, voor vele andere relevante processen, zoals caramelvorming, 'sulfitatie', 'greinvorming', etcetera.²⁹

Kruyt, kortom, legde uit wat er in de fabriek gebeurde. Maar wat kochten de fabrikanten daar nu eigenlijk voor? Wat kon de wetenschap daadwerkelijk voor hen

28. Een ander voorbeeld, naast het hierna besprokene, is een optreden van Kruyt voor verzamelde vertegenwoordigers van de lederindustrie, op 19 september 1933 in Amsterdam. Zie H.R. Kruyt, "The Colloid Chemistry of Collagen, Gelatin and Glue", *Journal of the International Society of Leather Trades Chemists* en "Die Kolloid-Chemie des Kollagens, der Gelatine und des Leims", *Collegium*. Beide artikelen bevinden zich in de overdrukkencollectie van het (huidige) Van 't Hoff-lab te Utrecht.

29. H.R. Kruyt, "De Beteekenis van de Nieuwere Ontwikkeling der Kolloïdchemie", optreden voor de Algemeene Technische Vereeniging van Beetwortelsuikerfabrikanten en Raffineurs in de Pulchri-Studio te Den Haag op 25 april 1921. Ook dit artikel bevindt zich in de overdrukkencollectie van het Van 't Hoff-lab te Utrecht; het citaat komt van pagina 1. Kruyt was met deze industriëlen in contact gekomen via P.J.H. van Ginneken, een voormalig medewerker van Cohen én co-auteur met Kruyt (zie hoofdstuk 2, paragraaf 4), die nu directeur was van de Coöperatieve Beetwortelsuikerfabriek 'Zeeland' in Bergen op Zoom.

betekenen wanneer het er op aan kwam de in de produktie voorkomende moeilijkheden uit de weg te ruimen? Kruyt ging die hamvraag niet uit de weg, maar hij benadrukte wederom dat men niet moest denken dat "ik de oplossing bij geval in mijn zak heb". Dat te geloven zou pas van academische arrogantie getuigen en van een even grote minachting voor de bedrijfservaring:

de onderstelling, dat een leek in uw vak zoo maar, op grond van wat algemeene kennis, problemen kon oplossen, waarmede de industrie jaren, ja meer dan een eeuw, heeft geworsteld - het zou een onderschatting van de industrieele scherpzinnigheid zijn, waarvan de onjuistheid a priori vaststond. De problemen oplossen, dat moet Gij zelf in Uw eigen laboratorium doen, maar ik meen, dat gij daarbij doelmatige wegwijzing ontleenen kan aan de wetenschap, welke die gevallen in algemeenen vorm heeft leeren beheerschen, die U in specialen, misschien toevallig in zeer gecompliceerden vorm, bij Uw bedrijf tegemoet treden. (...) [D]e oplossing ligt niet klaar, zoomin in een boek als in iemands hoofd; maar de combinatie, de samenwerking van in het algemeene georiënteerde kennis met in de bedrijfspraktijk gerijpte ervaring, is de meest vruchtbare voorwaarde om tot een gewenscht resultaat te komen.³⁰

De sleutel lag zodoende weer in samenwerking, maar het soort van samenwerking dat Kruyt hier schilderde, bevatte ook een duidelijke arbeidsverdeling. De wetenschap immers verschaft de "in het algemeene georiënteerde kennis" (Kruyts expliciete onderscheid tussen kennis en begrip is van later datum), maar daarmee hield haar taak ook op. Het toepassen van de inzichten op de speciale gevallen uit de praktijk was een zaak van het bedrijfslaboratorium ("dat moet Gij zelf doen") en de wetenschappelijke instellingen hadden daar in feite niets meer mee te maken. Kruyts voorstelling van algemene inzichten in de wetenschap en specifieke problemen in de praktijk had zodoende belangrijke consequenties wat betreft de verdeling van de onderzoekstaken. De universitaire laboratoria hoefden zich niet met toepassingen bezig te houden terwijl de industriële laboratoria (toegepaste) research moesten verrichten. Dat laatste nu kwam in werkelijkheid nog maar zeer weinig voor: als ze al een laboratorium bezaten, dan beperkten de meeste bedrijven zich tot analyses en controleproeven. Kruyts uiteenzetting bevatte dus in feite een verkapte oproep om met research te beginnen en we weten inmiddels ook welk personeel hij het liefste aanbeval om die research uit te voeren. Dergelijke aanbevelingen deed hij bovendien niet alleen in algemene termen. Hij wees de industrie ook graag op zijn eigen leerlingen, van wie er velen inderdaad een onderzoeksfunctie kregen bij een bedrijf waar Kruyt adviseur was.³¹

De samenwerking die Kruyt voorstelde *leek* zodoende gericht op de behoeften van de industrie, maar was tegelijk allerm minst schadelijk voor de onderzoekers van de universiteit. Toch zou het onterecht zijn om zijn adviezen als niets meer dan uitingen van academisch eigenbelang aan te merken want de geschetste arbeidsverdeling sloot ook heel goed aan bij de bestaande talenten en soorten van expertise. Het was volgens Kruyt bijvoorbeeld aan de wetenschapsmensen om "doelmatige wegwijzing" aan de industrie te verschaffen en dit was een taak die hem persoonlijk bijzonder goed lag. Kruyts "gave

30. *Ibid.*, 5-6.

31. Om een aantal voorbeelden te noemen: Tendeloo ging naar de Lijm- en Gelatinefabriek Delft, Van der Willigen ging naar de Nederlandsche Linoleumfabriek, Oosterman en Van Nouhuys naar AKU Research, en nog een flink aantal promovendi naar de (voormalige) HKI in Breda. Bungenberg de Jong werd daar in 1924 zelfs aangenaam om een compleet researchlab op te zetten.

(...) om aan niet vakkundigen de wetenschappelijke verklaring der in het bedrijf waargenomen verschijnselen op heldere wijze uit te leggen" paste uitstekend binnen de beoogde samenwerking. Aan de andere kant bood Kruyt in zijn taakverdeling ook een ruime plaats aan de praktijkervaring, die een eigen essentiële bijdrage moest leveren - zie het bovenstaande citaat. Ook op dit punt was zijn persoonlijke handelwijze navenant: Kruyt stond erom bekend "diep in te gaan op de waarnemingen van hen, die dagelijks in een bedrijf werkzaam zijn" en hun ervaring niet ondergeschikt te maken aan het oordeel van de wetenschap. Deze kwaliteit sprak de industriëlen bijzonder aan want zij getuigde van het respect dat mensen als Wigersma en Van Hasselt onder academici zo node hadden gemist. Misschien dat dat ook zijn succes in het benaderen van de industrie kan helpen verklaren, want hij vroeg de bedrijven in feite om grote investeringen te doen. Het wetenschappelijk onderzoek dat de algemene inzichten verschafte bestond immers al, maar de research die nodig was om die inzichten van nut te maken moest nog door de industrie worden opgezet en bekostigd.³²

5. Toegepast Onderzoek in het Van 't Hoff-laboratorium?

Zoals we inmiddels gezien hebben trachtte Kruyt de maatschappelijke betekenis van wetenschappelijk onderzoek op verschillende manieren uit te dragen en inhoud te geven. Hij richtte zich in lezingen en in publikaties tot de Nederlandse industriëlen die hij maande tot samenwerking met de academisch chemici; hij werkte mee aan het tot stand komen van een organisatorische connectie tussen de VNCI en de chemische vereniging; en hij probeerde vanuit wetenschappelijk oogpunt inzicht te verschaffen in de industriële productie via zijn adviezen aan verschillende bedrijven. Maar waar Kruyt zo sterk aandrong op de waarde van wetenschappelijk onderzoek voor het bedrijfsleven, daar zou het toch in feite het meest voor de hand liggen dat hij die waarde bewees door zelf op de praktijk gericht onderzoek te gaan verrichten - of door in elk geval zo nu en dan een opdracht aan te nemen. De "samenwerking tussen wetenschap en industrie" waartoe hij aanspoorde zou immers het duidelijkst blijken te renderen wanneer de wetenschap bij tijd en wijle direct bruikbare resultaten aan de industrie zou kunnen leveren. Een dergelijke werkwijze paste wellicht niet volledig in de arbeidsverdeling zoals Kruyt die het liefst voorstelde, maar er kon natuurlijk in voorkomende gevallen goede reden zijn om van die ideale verhouding af te wijken. We hebben gezien dat Kruyt in zijn NCV-voordracht van 1918 de academici ook daadwerkelijk opriep om een actievere belangstelling voor de praktijk te tonen. En het blijkt dat hij zelf naast zijn colloïdchemische hoofdprogramma inderdaad een aantal kleinere projecten liet uitvoeren omwille van hun praktische betekenis. In het Van 't Hoff-lab vonden in de loop der jaren verscheidene onderzoekingen plaats die men onder de categorie 'toegepast' zou kunnen laten ressorteren. De vraag is echter of Kruyt ze zelf ook als zodanig beschouwde en wat voor rol dit werk precies speelde in de relatie tussen wetenschap en industrie die hij voor ogen had. Om dat na te gaan is het goed om het bedoelde werk in de verschillende vormen

32. Voor het oordeel van industriëlen over Kruyts kwaliteiten als adviseur, zie Cohen (n. 8), "Kruyt", 23-25.

waarin het werd uitgevoerd nader te bekijken.³³

Kruyt begon al vroeg in zijn loopbaan met praktisch relevante onderzoekingen. Juist toen het colloïdchemische programma aardig op gang begon te komen en er voor het eerst enkele studenten tegelijk aan deelnamen, besloot hij zich met twee van hen te gaan toeleppen op de bestudering van het verfproces. De binding van verf aan textiel was vanzelfsprekend een bekend gegeven maar over het werkingsmechanisme bestond voornamelijk verwarring. Kruyt pretendeerde niet die volledig weg te kunnen nemen, maar hij vroeg zich af of het verfproces geïnterpreteerd kon worden als 'electro-adsorptie-verschijnsel' in de trant van de vele colloïdale en capillaire fenomenen die hij met zijn hoofdonderzoek juist zo goed begon te begrijpen. Samen met zijn latere promovendi Van der Made en Van der Spek bekeek hij in 1917 en 1918 de adsorptie van kleurstoffen aan kool en 'regeeringswol' en hij stelde vast dat die inderdaad de bekende karakteristieken volgde. Het verfproces was daarmee opgenomen in een "kategorie van goed bestudeerde verschijnsels en zoodanige begripsvorming", zo stelde Kruyt later, "moet leiden tot een beter inzicht in de gebeurtenissen in het bedrijf." Kruyt had de industriële relevantie van zijn verfonderszoek dus duidelijk voor ogen en hij presenteerde de uitkomsten ervan ook op hetzelfde congres als waar hij zijn voordracht over "Samenwerking van Wetenschap en Industrie" had gehouden. Zijn werk vormde zo een voorbeeld van de actievere belangstelling voor de praktijk waartoe hij zijn mede-academici in die voordracht had opgeroepen. Ook de toehoorders plaatsten het meteen in dat kader en voorzitter Jorissen reageerde enthousiast en achtte het zeer "waarschijnlijk, dat de practijk uit dergelijk werk voordeel zal trekken."³⁴

Toch lijkt het er weinig op dat de industrie ook werkelijk van Kruyts verfonderszoek profiteerde. Hij was het op eigen initiatief begonnen en ook achteraf meldde zich geen enkele fabrikant. Van directe samenwerking was dus geen sprake en dat is ook niet zo verwonderlijk als we bedenken dat Kruyt met geen enkel woord gerept had over de eventuele consequenties van zijn uitkomsten voor daadwerkelijke produktieverbetering. Puur praktisch gezien had men in de fabriek natuurlijk weinig aan het inzicht dat het verfproces als een 'electro-adsorptie-verschijnsel' begrepen moest worden. Niettemin beschouwde Kruyt het onderzoek zelf wel degelijk als relevant voor de praktijk en in zijn rede over "Wetenschappelijk Onderzoek en Algemeen Belang" voerde hij het zelfs op als één van de sprekende voorbeelden van hoe de wetenschap "door begrip den weg

33. We hebben in het vorige hoofdstuk tevens tweemaal kunnen constateren dat Kruyts industriële contacten invloed hadden op de *hoofdilijn* van zijn onderzoeksprogramma. Zijn adviseurschap bij de Lijm- en Gelatinefabriek bepaalde mede de keuze van een hydrofiel voorbeeldsol (voor het onderzoek van Bungenberg de Jong) en beïnvloedde later de selectie van AgJ als modelstelsel. Toch blijkt de industriële invloed bij nader inzien beperkt: in het eerste geval koos Kruyt na enig beraad juist *niet* voor gelatine (in eerste instantie althans) en in het tweede geval kwam hij slechts *via* het zilverbromide, waar de Lijm- en Gelatinefabriek mee werkte, op AgJ uit. De contacten lijken eerder inspirerend dan sturend te hebben gewerkt.

34. H.R. Kruyt, "Onderzoekingen omtrent de theorie van het verfproces", voordracht voor de NCV-jaarvergadering op 4 april 1918 en daaropvolgende discussie, CW 15 (1918) 482-485: 485. H.R. Kruyt en J.E.M. van der Made, "Bijdrage tot de kennis van het verfproces", *Versl. KAW* 26 (1917) 247-252 en H.R. Kruyt en Jac. van der Spek, "Bijdrage tot de kennis van het verfproces", *KAW-verslag* 27 (1918) 109-117.

[kan] banen tot rationeele bedrijfsmethoden.³⁵ Die nogal optimistische perceptie kunnen we verklaren wanneer we bedenken dat Kruyt met zijn "samenwerking" ook een werkverdeling beoogde. Het was daarin de taak van de wetenschap om het algemeen begrip van de eventueel praktisch relevante verschijnselen te verschaffen en die bijdrage had Kruyt met zijn verfonderszoek inderdaad geleverd. Het zou nu aan de industrie zijn om de consequenties van dat begrip voor het produktieproces te achterhalen, maar dat moest zij zelf doen in haar eigen laboratoria. Kruyts aandeel in de samenwerking zat erop.

Het verfonderszoek lag niet op de echte hoofdlijn van het colloïdchemie-programma, maar het bevond zich daar evenmin ver naast. Het doel ervan was niet om te helpen bouwen aan de algemene stabiliteitstheorie, maar om te laten zien dat de daarin verworven inzichten ook van toepassing waren op een groep verschijnselen met een groot belang voor de praktijk. Door deze werkwijze kon Kruyt dicht bij huis blijven en zonder zich te hoeven verdiepen in de details van de fabricage toch werk doen dat aantoonbaar relevant was voor de industrie. Diezelfde strategie zou hij gaan volgen in een reeks van onderzoekingen die hij met zijn oud-student Van Duin verrichtte aan de heterogene katalyse. Weer wist Kruyt het verschijnsel binnen de bestaande colloïdtheorie te interpreteren en weer kon hij dus op praktische relevantie wijzen zonder veel af te wijken van de hoofdlijn van zijn onderzoek.³⁶ Het onderwerp was ook deze keer onafhankelijk gekozen maar het blijkt dat Kruyt zelfs dezelfde aanpak volgde wanneer hij een onderzoek uitvoerde in opdracht. Die situatie deed zich voor in de vroege jaren 20 toen Bungenberg de Jong aan het Van 't Hoff-lab werkte op een aanstelling van het Nederlandsch Visscherij Proefstation. Zijn taak was onderzoek te verrichten naar de processen van looien en tanen, die de Nederlandse vissers gebruikten om hun netten te verstevigen en die zij hoopten te gebruiken - afhankelijk van de resultaten van het onderzoek - om leer te vervaardigen uit palinghuiden. Maar visnetten en palinghuiden speelden nauwelijks een rol in Bungenberg de Jongs activiteiten. Zoals we in hoofdstuk 4 gezien hebben gebruikte hij zijn 'Visscherij'-tijd in de eerste plaats om verder te helpen bouwen aan de nieuwe theorie van colloïdstabiliteit. Weliswaar verrichtte hij daarnaast ook uitgebreide onderzoekingen aan looien en aan tanen, maar ook dáárin werd de oorspronkelijke vraagstelling vertaald in een theoretisch colloïdchemisch probleem. In zijn publikaties (die veelzeggend "Contributions to the *Theory of Vegetable Tanning*" heetten) verwees Bungenberg de Jong slechts op één plaats naar de betekenis van zijn resultaten voor de looipraktijk, en hij merkte zelfs daarbij op dat er nog "extensive research" nodig zou zijn om bruikbare resultaten te bereiken. Die research behoorde echter in een ander laboratorium plaats te vinden, geheel overeenkomstig de bekende arbeidsverdeling van Kruyt. Ondanks dat Bungenberg de Jongs uitkomsten niet direct

35. Kruyt (n. 3), "Wetenschappelijk Onderzoek en Algemeen Belang", 542; zie ook het eerdere citaat uit die rede in paragraaf 1.

36. H.R. Kruyt et C.F. van Duin, "Sur le Pouvoir Adsorbant de la Norite Comparé à celui du Charbon de Sang", *Rec.* 39 (1920) 679-684; "Catalyse Hétérogène et Adsorption", *ibid.* 40 (1921) 249-280; "Heterogene Katalyse en de Richting van geadsorbeerde moleculen", *Versl. KAW* 31 (1922) 400-402. Kruyt interpreteerde de katalyse als het gevolg van een oriëntatie (en niet zozeer een concentratie) van reagerende moleculen aan het grensvlak, hetgeen hij in verband bracht met nieuwe ideeën over oriëntatie van Langmuir en Harkins; zie H.R. Kruyt, "De Theorie van Langmuir en Harkins en Haar Betekenis voor de Natuurwetenschap", *CW* 20 (1923) 642-648, m.n. 647.

iets voor de visnetfabricage konden betekenen, achtte Kruyt ze dan ook van het grootste praktisch nut. Hij vond dat ze door exact het juiste soort samenwerking tot stand waren gekomen en hij voorspelde dat ze "niet zullen kunnen nalaten hun waarde voor de betreffende industrie te hebben."³⁷

Van toegepast onderzoek was in het Van 't Hoff-lab dus eigenlijk geen sprake - alleen van nadrukkelijk toepasbaar onderzoek. Of Kruyt nu vrijwillig een praktisch onderwerp ter hand nam of dat deed in opdracht van een maatschappelijke instantie, steeds hield hij vast aan dezelfde onderzoekstaakverdeling. De enige uitzondering op die regel werd gevormd door de activiteiten van W.H. Kisjes die vanaf de late jaren 20 aan het Van 't Hoff-lab werkte. Hij had daar al eerder gewerkt als bediende en bediende eerste klasse en was teruggekomen op een aanstelling van de Enka en de Lijm- en Gelatinefabriek Delft - twee bedrijven waar Kruyt adviseur was. Kisjes was ook echt in dienst van die bedrijven: hij werd door hen betaald en de curatoren van de universiteit wisten niet eens dat hij er was. Toen zij daar in 1933 achter kwamen, leidde dat dan ook tot enige protesten, maar die konden door Kruyt en conservator Moesveld gemakkelijk worden ontkracht. Hun argument was dat Kisjes het onderwijs en onderzoek nauwelijks stoorde en dat als hij daar al mee te maken had, zijn invloed louter ondersteunend was. Zijn voorname werk bestond uit het uitvoeren van analyses voor de genoemde fabrieken en daarnaast assisteerde hij wel eens een promovendus "bij de constructie der uitgebreide apparatuur." Kruyt week met de aanstelling van Kisjes dus enerzijds af van zijn ideale onderzoeksverdeling over de verscheidene soorten laboratoria, maar aan de andere kant was diens werk zo weinig met het colloïdchemisch programma verbonden dat we moeilijk kunnen beweren dat dat het beoogde patroon rigoureuus doorbrak. Bovendien had Kruyt naast Kisjes "over geen meerdere particuliere hulp de beschikking."³⁸

Het is interessant om Kruyts vrij consequente arbeidsverdeling te vergelijken met de manier van werken van zijn collega L.S. Ornstein die, eveneens in Utrecht, het laboratorium voor experimentele natuurkunde bestierde. Ornstein streefde niet minder dan Kruyt naar een "samenwerking van wetenschap en techniek", maar hij gaf daar op een geheel andere manier invulling aan. In Ornsteins lab vond in de jaren 20 en 30 op uitzonderlijk grote schaal toegepast onderzoek plaats, steeds in opdracht van het bedrijfsleven. Verschillende branche-instellingen, zoals de Warmtestichting, de KEMA en de Stichting voor Verlichtingskunde, hadden zich in de loop der jaren in Utrecht gemeld met het verzoek om laboratoriumruimte en Ornstein had die telkens direct en welwillend ter beschikking gesteld. Het werk werd in aparte ruimtes verricht maar vond niet in volstreekte isolatie van het overige onderzoek plaats, want van het geld dat het opleverde stelde Ornstein bijvoorbeeld extra assistenten aan die hun tijd over het 'zuive-

37. Kruyt (n. 3), "Wetenschappelijk Onderzoek en Algemeen Belang", 542. H.G. Bungenberg de Jong, "Contributions to the Theory of Vegetable Tanning" I, II en III, *Rec* 42 (1923) 437-472, 43 (1924) 35-67 en 46 (1927) 727-738. Over de doelstellingen van het Visscherij-Proefstation, zie *Natuurwetenschappelijke Onderzoek in Nederland* (Amsterdam, 1942) 81. Kruyt zag overigens in de werkverhouding binnen het proefstation een soort voorloper van de latere "T.N.O.-gedachte", namelijk dat er onderzoek gedaan werd, uitsluitend onder leiding van deskundigen en betrokkenen. Zie H.R. Kruyt, "Dr. Jacob Olie 1879-1955", *CW* 53 (1957) 9-10, m.n. 10.

38. Zie College van Curatoren aan secretaris [Moesveld], 12 juni [1933] (Rijksarchief Utrecht. Archief van het College van Curatoren (CvC) R59, no. 1458), correspondentie over Kisjes (CvC, no. 1456) en interview met J.Th.G. Overbeek, 28 september 1994. Kruyts promovendi Boelman en Julien bedankten Kisjes in hun dissertaties voor de geboden assistentie.

re' onderzoek en het praktische verdeelden. Bovendien liet hij veel studenten aan het praktische werk deelnemen om hen zo voor te bereiden op een toekomst in de industrie. Ornstein wist daartoe ook een viertal bijzondere leerstoelen in technische vakken naar Utrecht te halen, wederom voornamelijk particulier gefinancierd en steeds in verband staand met het toegepaste onderzoek dat er al plaatsvond. Het instituut voor experimentele fysica ontwikkelde zich zo tot een belangrijke technische instelling.³⁹

Het is moeilijk te verklaren waar het verschil tussen Kruyt en Ornstein precies vandaan kwam, maar een aantal factoren is wel aan te wijzen. Ten eerste lijkt de *aard* van het toegepaste werk dat Ornstein verrichtte heel anders dan waar Kruyt mee te maken had. Kruyt richtte zich op chemische bedrijven en wat die van wetenschappelijk onderzoek verwachtten was dat het inzicht kon geven in hun producten en productieprocessen: zij hoopten de resultaten uit het laboratorium in de fabriek 'op te kunnen schalen' en toe te kunnen passen. Ornsteins stichtingen daarentegen waren niet zozeer geïnteresseerd in de uitkomsten van zijn natuurkundig onderzoek als wel in de instrumenten en methoden die hij daarin gebruikte. Zij hoopten te kunnen delen in zijn expertise op het gebied van ijkingen en metingen en daarop was ook het meeste van zijn toegepaste onderzoek gericht. Vanuit Ornsteins lab werden bijvoorbeeld garantiecertificaten voor strijkbouten afgegeven en dat had natuurlijk niets te maken met de resultaten van zijn fysische onderzoek naar de intensiteiten van spectraallijnen, maar mogelijk wel met de daarin gebruikte meettechnieken. Het draaide hier dus niet om de toepassing van eerder verworven inzichten maar om het gezamenlijk gebruik van aanwezige instrumenten en experimentele methoden. Hét grote voorbeeld voor een instituut als dat van Ornstein, de *Physikalisch-Technische Reichsanstalt* in Berlijn, bood ook faciliteiten die door wetenschappers en industriëlen beiden werden gebruikt. De verhouding tussen academisch onderzoek en industrie lag in die situatie heel anders dan in de scheikunde (er bestond ook niet zoiets als een 'Chemisch-Technische Reichsanstalt'). Het lijkt in dit verband dan ook geen toeval dat Ornstein niet zei te streven naar een taakverdeling, maar naar een "convergeeren" van wetenschap en techniek.⁴⁰

Een andere mogelijke verklaring voor het verschil in werkwijze tussen Kruyt en Ornstein schuilt in hun verschillende persoonlijkheden. Want waar Kruyt trachtte te komen tot een scherp gedefinieerde werkverdeling die hij vervolgens omstandig via vele kanalen verdedigde en verkondigde, daar was Ornstein veel meer een directe doener. Hij aarzelde geen moment wanneer de Warmtestichting of de KEMA bij hem aanklopten en hij bood voor hun onderzoekingen faciliteiten, zelfs wanneer hij eigenlijk van mening was dat die, als het mogelijk was, in een eigen lab behoorden plaats te vinden. Toen begin jaren 30 werd voorgesteld een Centraal Laboratorium voor praktisch onderzoek in

39. Over Ornsteins toegepaste onderzoek zie H.G. Heijmans, *Wetenschap tussen Universiteit en Industrie. De experimentele natuurkunde in Utrecht onder W.H. Julius en L.S. Ornstein 1896-1940*, proefschrift Universiteit Utrecht (Rotterdam, 1994) hoofdstuk 7, en H.G. Heijmans, "Wetenschap en Industrie. L.S. Ornsteins Opmattingen over Toegepaste Natuurkunde", *Gewina* 17 (1994) 177-190. De vier bijzondere leerstoelen waren voor technische warmteleer, verlichtingskunde, elektrotechniek en technische natuurkunde.

40. Heijmans maakte deze vergelijking zelf niet. Hij plaatste Ornsteins werk in het kader van de toenemende behoefte bij bepaalde takken van industrie aan keuringswerk, kwaliteitscontrole, ijkingen en metingen. Zie Heijmans (n. 40), *Wetenschap tussen Universiteit en Industrie*, 115-121.

één van de universiteiten onder te brengen was Ornstein daar ook in principe op tegen. Maar toen een paar jaar later de Stichting voor Verlichtingskunde verzocht om onderzoekingen in zijn eigen laboratorium, stemde hij onmiddellijk toe. Veel minder dan Kruyt trachtte Ornstein in woord en geschrift een strakke arbeidsverhouding tussen wetenschap en industrie uit te werken en veel meer dan Kruyt probeerde hij die verhouding bij elke zich voordoende gelegenheid door daden te verwezenlijken. Ornstein wees er ook zelf op, dat hij "als experimentator tot doen geneigd" was en dat het niet in zijn aard lag om over de ideale verhoudingen eindeloos te discussiëren. In die lijn past ook het prachtige *ad hoc*-argument waarmee hij zijn werk verdedigde, namelijk dat het juist de zuivere wetenschap vrij stond om zich op de behoeften van de industrie te richten. Ornstein stelde de vrijheid en dadendrang in zijn vak boven enig vastgesteld werkschema en hij verkondigde dat ook onomwonden: "Vooropgesteld zij, dat geen programma, geen systematiek en geen organisatie ons helpen kan, als wij de vrije ontwikkeling van het natuurkundig denken bevorderen willen."⁴¹

6. *Hooge School en Maatschappij*

Voor Kruyt was het toelaten van toegepast onderzoek in universitaire laboratoria niet de manier waarop de wetenschap haar maatschappelijke functie diende te vervullen. Daarvoor was een andere taakverdeling noodzakelijk en om die tot stand te brengen benaderde hij de industrie, zoals we inmiddels gezien hebben, maar richtte hij zich ook tot zijn mede-academici. Want *hun* aandeel in de samenwerking was eveneens voor verbetering vatbaar - daar raakte Kruyt meer en meer van overtuigd. Aan het begin van de jaren 30 nam hij dan ook het initiatief om hier iets aan te veranderen en hij riep op tot een drastische herziening van de plaats van de universiteit in de Nederlandse samenleving. Zijn eerste pleidooi in deze zin, *Hooge School en Maatschappij* getiteld, trok meteen veel aandacht en de zeer uiteenlopende reacties die erop volgden, mondden uit in een nationale discussie over doel en organisatie van het hoger onderwijs. Kruyt werd ook zelf steeds vaker gevraagd zijn mening kenbaar te maken en hij zou onder andere nauw betrokken raken bij nieuwe initiatieven tot hervorming van het onderwijsbestel tijdens en na de Tweede Wereldoorlog. Zijn eigen inzet was echter van begin af aan dezelfde: ervoor te zorgen dat de universiteit een centrale positie in de maatschappij zou gaan innemen, en niet in academische verhevenheid daarboven. In wezen volgde hij hiermee nog altijd de opvattingen over de rol van de academicus die hij zich al in zijn studententijd had eigen gemaakt en het lijkt dan ook geen toeval dat hij zijn campagne begon met een lezing voor de vereniging die hij toen zelf had opgericht om deze opvattingen uit te dragen: SL.

De Amsterdamsche Studenten Vereeniging voor Sociale Lezingen en Sociale Studie, zoals SL voluit was gaan heten, vierde op 7 februari 1931 haar vijfde lustrum en het had het bestuur een goed idee geleden daarbij haar allereerste voorzitter uit te nodigen om

41. Geciteerd in *ibid.*, 135. Ornsteins uitte zijn weerstand tegen het vestigen van een centraal laboratorium voor toegepast onderzoek in één van de universiteiten in een reactie op een rapport van de commissie Welter, die deze mogelijkheid had bestudeerd. Zie L.S. Ornstein, "Verslag van de Lotgevallen der Rijks-Universiteit in het studiejaar 1931/32" in: *Jaarboek der Rijks-Universiteit te Utrecht 1931-1932* (Utrecht, 1932) 171-204. Ook zijn zelfkarakterisering als experimentator is hieruit afkomstig.

een voordracht te komen houden. Kruyt accepteerde, maar hij maakte van zijn lezing geen gezellige gelegenheidsspeech maar veeleer een scherp kritische aanval op de positie van de universiteit alsmede een vurig pleidooi voor de hervorming daarvan. De aanleiding van het betoog was Kruyts verblijf gedurende voorjaar en zomer van 1927 in de Verenigde Staten (zie hoofdstuk 4, paragraaf 5) en met name zijn ervaringen met het hoger onderwijs aldaar. Wat hem in Amerika vooral had getroffen was de waardering voor de universiteit die er alom bleek te bestaan: bankiers, journalisten, kooplieden, musici, onderwijzers - allen voelden zij zich sterk verbonden met hun *alma mater* (hetgeen onder andere tot uiting kwam in grote particuliere schenkingen). Hoe anders was dat in Europa, waar deze waardering op zijn best koeltjes was en waar de buitenwacht de universiteit vooral beschouwde als "een ietwat abstracte instelling, ver van de maatschappelijke werkelijkheid, dienend tot opleiding van wellicht geleerde, maar niet overmatig bruikbare mensen."⁴² Kruyt wilde die buitenwacht daarop nu niet aanspreken (dat had hij al voldoende gedaan in zijn oproepen aan de industrie) maar hij vond dat de universiteit de schuld bij zichzelf moest zoeken, met name bij haar gebleken onvermogen om met de tijd mee te gaan. Ooit, zo wist Kruyt, in de twaalfde eeuw, had men universiteiten opgericht om aan maatschappelijke behoeften te voldoen, maar sindsdien hadden de hoger onderwijsinstellingen zich verbazingwekkend weinig aan de veranderende behoeften aangepast en in hun huidige vorm leken zij in feite nog sprekend op hun middeleeuwse voorouders. De samenleving had zich ontwikkeld, maar de universiteit had zich aan dat proces onttrokken, was geïsoleerd geraakt en had "daarmede de belangstelling der Maatschappij verspeeld."⁴³

Dat verlies van belangstelling had zich volgens Kruyt vooral dáárin geuit dat de samenleving voor allerhande nieuwe onderwijsbehoeften ook nieuwe instellingen was gaan oprichten, buiten de universiteit om. Het duidelijkst was dat zichtbaar (in Nederland) in de Technische Hogeschool in Delft, de Landbouwhogeschool in Wageningen en de Handelshogeschool in Rotterdam. Maar in feite was hetzelfde gebeurd bij de vorming van allerlei lagere onderwijsinstellingen, zoals de middelbare technische scholen, de suiker-, textiel- en zuivelscholen, de onderwijzersopleiding, etcetera etcetera. Door het academisch conservatisme gedwongen waren al deze scholen zelfstandig opgericht, maar als een gevolg daarvan was elk ook een nogal geïsoleerde onderneming geworden, "ver van alle wetenschappelijkheid verwijderd". Onderwijzers kregen nimmer een hoogleraar te zien, handelslieden kwamen niet met wetenschap in aanraking en het gezichtsveld van ingenieurs bleef beperkt tot de technologie in Delft. Kruyt achtte dit "locaal-patriotisme" buitengewoon schadelijk en stelde het omgekeerde als ideaal: alle intellectuele of 'gematigd-intellectuele' opleidingen (ook die tot journalist, musicus of verpleegster) dienden te worden ondergebracht bij de universiteit. De scheidslijnen

42. H.R. Kruyt, *Hooge School en Maatschappij* (Amsterdam, 1931) 9. De brochure werd in 1932 herdrukt en zou in 1946 opnieuw worden uitgegeven, gebundeld met Kruyts rectoraatsrede van 1941.

43. *Ibid.*, 11. Dat Kruyt geen historicus was, zoals hij overigens zelf toegaf, wreekte zich hier enigszins want hij vergat in zijn schets van de ontwikkelingsgang gemakshalve de enorme veranderingen in de universiteit die zich in de negentiende eeuw hadden voltrokken, zowel in Nederland als internationaal. De grootscheepse hervormingen in Duitsland aan het begin van die eeuw en ook die in Nederland rond de Hoger Onderwijswet van 1876, hadden beide uitdrukkelijk tot doel de universiteit in haar vormende maatschappelijke functie te versterken.

moesten niet *tussen* de onderwijsinstituten lopen maar *daarbinnen*, en net als in de Verenigde Staten zouden er aan de universiteit twee soorten opleidingen dienen te bestaan. Voor de voorbereiding op vele functies zou men de studie kort en elementair kunnen houden, zoals aan het Amerikaanse *college*, en alleen voor een scholing in echt wetenschappelijk werk zou men moeten doorgaan tot en met de promotie, zoals in de Amerikaanse *graduate school*. Op die manier stelde men geen onredelijke eisen maar kwamen toch veel meer mensen dan nu het geval was in aanraking met de grote vormende kracht der wetenschap.⁴⁴

Kruyt zag wel in dat dit ideaalbeeld in Nederland, gegeven de bestaande organisatiestructuren, moeilijk te verwezenlijken zou zijn en hij stelde daartoe ook weinig concrete maatregelen voor. Voor de *impact* van zijn optreden zou dat echter weinig blijken uit te maken, want zijn voordracht wekte hevige reacties. Dát *Hooge School en Maatschappij* de aandacht trok blijkt wel uit het feit dat de gedrukte versie ervan binnen een mum van tijd was uitverkocht. Maar het effect van het betoog komt bovenal naar voren in de stortvloed aan reacties van studenten, collega-hoogleraren en de schrijvende pers die erop volgde. Vooral de kranten waren positief over Kruyts brochure. Het Algemeen Handelsblad was enigszins geschrokken van "zulke radicale meningsuitingen", die aan de vaderlandse *academia* nogal ongewoon waren, maar gaf toe: "geen mensch met gezond verstand kan de juistheid van zijn denkbeelden ontkennen." Ook de Nieuwe Rotterdamse Courant schaarde zich achter Kruyts ideeën en had "alle lof (...) voor zijn frisch en ver reikend initiatief". De redactie van *De Gids* reageerde eveneens maar zij was in haar oordeel veel negatiever. In een ietwat zuur stukje verweet men Kruyt gebrek aan kennis van het Nederlandse onderwijssysteem en onvermogen om tot een bezonnen oordeel te komen. Maar de meest serieuze kritiek kwam van Kruyts mede-universitaire, die zich onder andere in een aantal rectoraatsredes tegen zijn aanval op het universitaire bestel verweerden. J.D. van der Waals jr. bijvoorbeeld, rector van de Universiteit van Amsterdam, verdedigde het bestaande hoger onderwijs, en trok Kruyts constatering in twijfel dat het verkeerd was dat men de opleidingen tot verpleegster, onderwijzer etcetera, daarbuiten had gehouden:

Dat dit gebeurd zou zijn, zooals Kruyt zegt, omdat men die fossiele Universiteiten voor eenig practisch werk onbekwaam achtte, er is geen zweem van bewijs voor. Eerder geloof ik dat het om dezelfde reden gebeurt, waarom men een pak kleeren niet bij den bakker bestelt. Bij de Bijenkorf kan men zoowel brood als kleeren krijgen. Dat is het in Amerika gekozen systeem.⁴⁵

Het was vooral dat laatste aspect, het door "den heer Kruyt" ten voorbeeld stellen van het Amerikaanse onderwijsstelsel, dat grote weerstand bleek op te roepen. Velen zagen de quasi-wetenschappelijke opleidingen in Amerika als ongewenste uitwassen en ridiculiseerden de mogelijkheid "dat men b.v. den doctorsgraad zou kunnen verdienen met 'A

44. *Ibid.*, 22-31.

45. J.D. van der Waals jr., "Verslag van de Lotgevallen der Universiteit van Amsterdam gedurende den cursus 1930-1931", rede gehouden bij de overdracht van het rectoraat op 21 september 1931, *Jaarboek der Universiteit van Amsterdam 1930-1931* (Amsterdam, 1931) 205-224; 222-223. Overigens zat Van der Waals, als redacteur van *De Gids*, vermoedelijk ook achter het redactioneel artikel daarin: "Hoogeschool en Maatschappij", *De Gids* 95 (1931) 322-324. Zie verder Algemeen Handelsblad (26 februari 1932) en Nieuwe Rotterdamse Courant (14 juni 1933).

Study in Controlled Conditions of Cooking Hams". Jhr. B.C. de Savorin Lohman, de Utrechtse rector magnificus, wees er bovendien op dat ook de Amerikanen zelf niet tevreden waren over hun universiteiten. Zeer recentelijk had de gezaghebbende hoogleraar Abraham Flexner een uitgebreide studie op dit gebied gepubliceerd en hij had daarin juist het Europese systeem als nastrevenswaardig voorbeeld aangeprezen. Ook Kruyts naaste collega Cohen wees op deze publikatie en de filosoof A. Vloemans wijdde er zelfs een heel artikel aan in het Haagsch Maandblad, waarin hij de vloer aanveegde met het Amerikaanse hoger onderwijs. Dáár kon men promoveren op een proefschrift over damesondergoed, daar besteedden de universiteiten meer aandacht aan hun voetbalcompetities dan aan hun colleges, en daar ontbrak in feite alle rust voor de zo noodzakelijke academische overpeinzing: "Inderdaad de gruwelijkst schreeuwende jazzband is er niets bij." Volgens Vloemans was het klimaat aan de Europese universiteiten hierboven verre te verkiezen, en diende men het geleerde isolement niet te verwerpen maar te koesteren als een kostbaar cultuurbezit.⁴⁶

K. van Berkel heeft een aantal jaren geleden een historische studie gemaakt van de discussie over Kruyts brochure en die geplaatst in het kader van een langer lopend proces van Amerikanisering van de Nederlandse universiteit.⁴⁷ De reden waarom de reacties op *Hooge School en Maatschappij* zo heftig waren, zo concludeert hij, was niet dat de erin vertolkte ideeën nieuw waren (de meeste ervan waren in enige vorm al eerder geopperd) maar vooral de manier waarop Kruyt ze naar buiten bracht: hij uitte zijn kritiek direct en onomwonden, hij koos daarvoor een tijdstip waarop er toch al enige onvrede over de universiteiten bestond, en bovenal: hij richtte zich direct tot de studenten. Inderdaad bleek in hun kringen de ontvangst veruit het gunstigst en tegen de achtergrond van de beginnende crisisjaren kunnen we ons ook wel voorstellen waarom. Veel studenten waren ongerust geraakt over het maatschappelijk rendement van hun opleiding en herkenden hun eigen bezorgdheid nu in een gezaghebbend betoog. In de jaren die volgden werd Kruyt dan ook regelmatig uitgenodigd om bij studentenorganisaties zijn ideeën nader toe te lichten en er verder over te debatteren. Hij nam verscheidene van die invitaties aan, ook omdat dat hem de mogelijkheid gaf om op zijn tegenstanders te reageren. Want Kruyt was lichtelijk gepikeerd over de aard van de kritieken en hij stak die irritatie niet onder stoelen of banken. Wat hem ten eerste dwars zat was dat men meer aandacht had besteed aan het voorbeeld dat hij had gekozen dan aan de boodschap die hij uit trachtte te dragen. Ook hijzelf stond kritisch tegenover vele Amerikaanse toestanden en hij had het onderwijsstelsel in de V.S. slechts aangegrepen om te laten zien dat integratie van de universiteit in de maatschappij wel degelijk

46. Jhr. Dr. B.C. de Savorin Lohman, "Verslag van de Lotgevallen der Rijks-Universiteit te Utrecht in het studiejaar 1930-1931", rede gehouden bij de overdracht van het rectoraat in: *Jaarboek der Rijks-Universiteit te Utrecht 1930-1931* (Utrecht, 1931) 235-272, m.n. 235-236; Cohen (n. 8), "Kruyt", 46; A. Vloemans, "Amerikaanse Universiteiten: een Voorbeeld of een Schrikbeeld", *Haagsch Maandblad* 16 (1931) 68-79: 70. Vloemans putte voor zijn artikel vrijwel uitsluitend uit het boek van Flexner, *Universities, American, English, German* (New York, 1930).

47. K. van Berkel, "Amerikanisering van de Nederlandse Universiteit? De Chemicus H.R. Kruyt over Hogeschool en Maatschappij", *TGGNWT* 12 (1989) 198-225. Zie over dit onderwerp verder J.J.F. Scheper, "De Visie van de Nederlandse Reizigers in de V.S. (1865-1917) op het Amerikaanse Onderwijs", *Groniek* 86 (1984) 63-71 en A. Lammers, *Uncle Sam en Jan Salie. Hoe Nederland Amerika ontdekte* (Amsterdam, 1989), m.n. 127-128.

mogelijk was. Het hoofddoel van zijn streven was echter allerminst om te komen tot een amerikanisering van de Nederlandse universiteiten.⁴⁸

Een verwijt dat Kruyt nog veel meer raakte, was de suggestie van sommige critici dat hij het hoger onderwijs in de uitverkoop had willen doen, of dat hij "de universiteit tot een vakschool zou willen verlagen." Men leek in hem "een belager van de zuivere wetenschap" te zien, zo reageerde hij, "wat toch door mijn geheele leven in dienst der zuivere wetenschap weerlegd wordt." Kruyt voelde zich onbegrepen op dit punt en het werd hem duidelijk dat er niet alleen onder industriëlen maar ook onder academici een grote scepsis overwonnen moest worden. Want waar de industriëlen eerder hadden getwijfeld aan het nut van een wetenschappelijke opleiding, daar twijfelden de universiteairen nu aan de wetenschappelijkheid van een nuttige opleiding. Kruyts antwoord op beide aantijgingen was altijd geweest dat de veronderstelde tegenstelling niet bestond: zuivere wetenschap en praktisch nut lagen direct in elkaars verlengde. Al in 1918 had hij geroepen dat juist "zuivere wetenschap een onmisbare voorwaarde voor de ontwikkeling van het bedrijf is" en in 1936 voelde hij zich nog steeds gedwongen om uit te leggen dat wetenschappelijke vorming en vakopleiding op hetzelfde neerkwamen: "De maatschappij vraagt naar opleiding, maar die is alleen mogelijk als zij gepaard gaat met vorming. (...) Die tweeërlei functie behoeft geen tweespalt te geven." Kruyt had zijn oproep tot reorganisatie niet gedaan om het wetenschappelijk niveau van de universiteit te verlagen maar juist om dat niveau beter tot zijn recht te laten komen.⁴⁹

In de loop van de jaren 30 zou de problematiek die Kruyt had aangegeven nog voortdurend het onderwerp van discussie blijven en het initiatief daarin was vooral afkomstig uit de studentenwereld. In 1936 bijvoorbeeld organiseerden de gezamenlijke studentenverenigingen, gebundeld in de zogenaamde Volkseenheidcommissie, een grote en spraakmakende conferentie over 'Het Universiteitsvraagstuk'. De kern van dit vraagstuk betrof vooral weer de maatschappelijke betekenis van academisch onderwijs en daarover lieten ook alle sprekers hun licht schijnen. Verscheidene hoogleraren werden hiertoe uitgenodigd onder wie, inmiddels haast onvermijdelijk, Kruyt een prominente plaats innam. Zijn gezag op dit gebied was intussen zo groot geworden dat hij zich genoopt zag zijn gehoor vooraf te waarschuwen dat hij niet "de oplossing van het vraagstuk op een presenteerblaadje [kwam] aanbieden." Maar de studenten waren evengoed enthousiast over zijn optreden en beschouwden zijn betoog als "een programma voor de naaste toekomst."⁵⁰ Een ander initiatief waarbij Kruyt betrokken zou raken was de samenstelling van het rapport *De Toekomst der Academisch Gegradueerden*. Dit project kwam

48. Kruyt werd onder andere uitgenodigd door het Utrechtsch Studentencorps, vlak na zijn optreden voor SL, door het Groningse studentencorps in het voorjaar van 1932, en door de 'Centrale Commissie' van de TH in Delft omstreeks dezelfde tijd. Zie "Hoogeschool en Maatschappij. Lezing van Prof. Kruyt", onbekende krant (13 mei 1931) (Universiteitsmuseum Utrecht. Archief H.R. Kruyt (archief Kruyt) Map I); CW 29 (1932) 206-207 en 239. Alleen het studentenblad *Vox Studiosorum* reageerde negatief en verdedigde het academische "zich terugtrekken uit sociale noodzakelijkheden in een apart maatschappijtje"; zie knipsel 21 maart 1931 (archief Kruyt, Map I).

49. H.R. Kruyt, "Reorganisatie van Universiteiten en Hoogescholen" in: *Het Universiteitsvraagstuk. Verslagboek van de conferentie te Woudschoten, 21, 22 en 23 februari 1936* (Utrecht en Nijmegen, 1936) 84-91: 84 en 85.

50. *Ibid.*, 84.



Figuur 23. Kruyt tijdens een van zijn vele toespraken.
(Vakgroep Fysische en Colloïdchemie, Utrecht, J. Suurmond)

voort uit een aanzwellende discussie over het probleem van de "overbevolking der universiteiten". De crisisjaren waren de tijd van de ingenieur op de tram en dat schrikbeeld gaf aanleiding tot veel bezorgde discussie onder studenten en andere academici. Naar aanleiding hiervan had het Ministerie van Onderwijs, Kunsten en Wetenschappen in 1933 besloten een commissie in te stellen om de vermeende overbevolking nu eens precies en per vakgebied in kaart te brengen. Kruyt kreeg de leiding over het demografische onderzoek binnen de scheikunde. Samen met W.P. Jorissen als NCV-vertegenwoordiger en zijn eigen student Overbeek stelde hij de gevraagde tabellen samen. De conclusie was niet zeer positief (het aanbod op de arbeidsmarkt overtrof duidelijk de vraag), maar niettemin bleef Kruyt tamelijk optimistisch over de toekomst. In een interview over het onderwerp in januari 1938 verklaarde hij dat de vraag naar wetenschappelijk geschoolde chemici al weer flink begon aan te trekken en dat de industrieën die daarvoor verantwoordelijk waren ook duidelijk zelf het beste af waren: "De wetenschappelijk geleide bedrijven, zoals Philips, de Bataafsche, de Kunstzijde,

zitten immers het minst in moeilijkheden. Wel zij, die geen research-laboratorium hebben ingericht".⁵¹

Ook in en na de oorlogsjaren zou Kruyt zich nog intensief met de maatschappelijke positie van de universiteit bezighouden. Samen met een aantal geestverwante hoogleraren vormde hij in 1942 zelfs een kleine commissie die zich maandelijks beraadde over de vraag hoe het hoger onderwijs in de toekomst zou moeten worden vormgegeven. Twee van de leden van deze groep, W. Schermerhorn en G. van der Leeuw, werden na de oorlog respectievelijk minister-president en minister van Onderwijs, en de laatste stelde meteen een Staatscommissie in om de problematiek verder uit te werken en met voorstellen te komen. Ook Kruyt werd lid van deze werkgroep, maar omdat zij uit niet minder dan zeventig leden bestond en was opgesplitst in twintig kleinere 'secties' die elk onafhankelijk rapporteerden, was dit niet de meest geschikte plaats om zijn eigen geluid krachtig en eenduidig te laten horen. Bovendien zou het na de reportage in 1950 nog tien jaar duren voor de eerste veranderingen in de onderwijswetgeving daadwerkelijk werden doorgevoerd, en dat was langer dan Kruyt nog had te leven. Maar het is in het kader van dit proefschrift ook niet zozeer van belang wat Kruyt uiteindelijk in de wetboeken wist te krijgen als wel waar hij in de genoemde activiteiten precies naar streefde. En dat blijkt over de jaren opmerkelijk constant te zijn: ervoor te zorgen dat de universiteit zou worden tot dé centrale instelling in het maatschappelijk leven, "een levende bron, waar levend water in opborrelt, dat het omliggend gebied drinken moet."⁵²

7. TNO en ZWO

Van alle manieren waarop Kruyt de maatschappelijk betekenis van wetenschappelijk onderzoek probeerde vorm te geven zijn de belangrijkste twee hier nog niet aan de orde geweest: zijn medewerking aan de totstandkoming van TNO (in 1930) en ZWO (in 1950). Deze activiteiten waren in de eerste plaats belangrijk omdat het hier ging om twee grote overkoepelende organisaties die samen met de universiteiten het gehele nationale wetenschapsbedrijf na de Tweede Wereldoorlog zouden gaan reguleren. Gezien de enorme schaalvergroting op onderzoeksgebied die in deze periode plaatsvond, kan men met recht stellen dat TNO en ZWO Nederland binnenleidden in het tijdperk van *Big Science*. Een andere reden waarom Kruyts aandeel in de oprichting van beide organisaties tot zijn belangrijkste activiteiten gerekend moet worden, is dat zij misschien wel op de zuiverste manier zijn voorstelling van de gewenste verhouding van wetenschap en praktijk weerspiegelden. Het is geen toeval dat het begrippenpaar 'zuiver' en 'toegepast' in de namen van TNO (Toegepast Natuurwetenschappelijk Onderzoek) en ZWO (Zuiver Wetenschappelijk Onderzoek) werd opgenomen, en in het laatste geval was Kruyt daar zelfs direct verantwoordelijk voor. Toch kunnen we natuurlijk moeilijk zeggen dat

51. Algemeen Handelsblad (27 januari 1938). *De Toekomst der Academisch Gegradueerden. Rapport van de Commissie ter Bestudeering van de Toenemende Bevolking van Universiteiten en Hoogescholen en de Werkgelegenheid voor Academisch Gevormden* (Groningen en Batavia, 1936) hoofdstuk 7 (scheikunde).

52. Kruyt (n. 50), "Reorganisatie", 85. Over de oorlogs- en Staatscommissie zie H.R. Kruyt, "Reorganiatie van het Hoger Onderwijs", *Sol Iustitiae. Orgaan der Utrechtse Universitaire Gemeenschap* (2 mei 1946) en H.R. Kruyt, "Reorganisatie van het Hoger Onderwijs", *Socialisme en Democratie* 7 (1950) 13-17.

Kruyt eigenhandig de twee organisaties oprichtte. Hun totstandkoming was, nog meer dan de reorganisatie van het hoger onderwijs, het resultaat van een inspanning van verschillende mensen en verscheidene partijen.⁵³

Bij de oprichting van TNO zou Kruyt in feite zelfs pas in latere instantie worden betrokken, want de oorsprong van die organisatie lag in een tijd dat hij nog maar net hoogleraar was en nog geen naam had opgebouwd op het gebied van wetenschap en samenleving. De eerste aanzet tot het langdurige proces dat uiteindelijk in TNO zou uitmonden, werd begin 1918 gegeven met de instelling van de Commissie Lorentz door de Koninklijke Akademie van Wetenschappen (KAW) waarvan de genoemde fysicus toen voorzitter was. In de literatuur wordt de Commissie Lorentz vaak op één lijn gesteld met de Commissie Went, een volgende Akademie-werkgroep (ook genoemd naar de voorzitter) die in de jaren 20 de Wet op het TNO zou voorbereiden. Maar dat is niet helemaal correct: de Commissie Lorentz deed namelijk niet aan voorbereiding maar was zelf al een soort TNO. Beter dan met de werkgroep van Went is de Commissie Lorentz als organisatie te vergelijken met een aantal buitenlandse instellingen die eveneens tijdens en in verband met de Eerste Wereldoorlog tot stand waren gekomen. De meeste grote mogelijkheden waren er na 1914 namelijk toe overgegaan om niet alleen hun legers maar ook hun wetenschapsmensen in te zetten in de oorlogsinspanning. Aan beide kanten van het front verzezen grootschalige nieuwe onderzoeksinstituten waar men in teams van 'gemobiliseerde' wetenschappers werkte aan nieuwe wapensystemen (voornamelijk voor de gifgassenstijd) en alternatieven voor niet langer importeerbare grondstoffen (zoals in Duitsland rubber en aardolie). Voor deze doeleinden zette men in Amerika de National Research Council op, kreeg Groot-Brittannië het Department for Scientific and Industrial Research, breidde men in Duitsland de bestaande Kaiser Wilhelm Institute belangrijk uit, en kwam men ook in Frankrijk tot een nieuwe organisatie. Instellingen als deze waren ongekend, niet alleen in hun opzet en opdracht maar vooral wat betreft hun omvang. Alleen al in de laboratoria in Berlijn werkten duizenden onderzoekers en de organisatie in de VS deed daar zeker niet voor onder. Natuurlijk bracht de oorlog ook aan wetenschapsmensen een hoop ellende, maar zij gaf hun tegelijkertijd een niet te missen kans om te laten zien wat ze waard waren. Niet toevallig was het initiatief tot de oprichting van de genoemde instituten steeds uit de wetenschappelijke wereld zelf afkomstig geweest.⁵⁴

In Nederland zou het proces in veel opzichten op dezelfde manier verlopen, zij het

53. Voor de geschiedenis van TNO zie Th.J. van Kasteel, "Ontstaan en Groei van TNO" in: *Een Kwarteeuw TNO 1932-1957. Gedenkboek bij de voltooiing van de eerste 25 jaar werkzaamheid van de organisatie TNO op 1 mei 1957* (Den Haag, 1957) hoofdstuk 1 tot en met 7. Een beschouwing van een betrokkene met conclusies voor zijn eigen tijd geeft Jan Al, *Research als Overheidstaak*, proefschrift Technische Hogeschool Delft (Delft, 1952). De geschiedenis van ZWO is onlangs geboekstaafd in Albert E. Kersten, *Een Organisatie van en door Onderzoekers. De Nederlandse Organisatie voor Zuiver-Wetenschappelijk Onderzoek (Z.W.O.) 1947-1988* (Assen, 1996).

54. J.A. Johnson, *The Kaiser's Chemists. Science and Modernization in Imperial Germany* (Chapel Hill, 1990) m.n. hoofdstuk 9. Roy MacLeod, "The Chemists go to War: the Mobilization of Civilian Chemists and the British War Effort, 1914-1918", *Annals of Science* 50 (1993) 455-481. Daniel J. Kevles, *The Physicists. The History of a Scientific Community in Modern America* (Cambridge etc., 1995) m.n. hoofdstuk 7 tot en met 9. 'Ersatz' was het kernwoord voor deze organisaties in hun speurtocht naar vervangingsproducten, waar overigens ook de gifgassen onder vielen: dat waren Ersatz-producten voor het niet meer produceerbare buskruit.

dat het hier wat later op gang kwam (te laat, zoals we zo direct zullen zien) en dat het natuurlijk minder draaide om oorlogvoering dan om alternatieve produkten in verband met de geblokkeerde import. Maar het initiatief om tot een grootschalige onderzoeksinstelling te komen lag hier eveneens bij de vertegenwoordigers van de wetenschap. De betreffende academici hadden ook heel duidelijk het voorbeeld van de buitenlandse organisaties voor ogen. In november 1917 benaderde KAW-voorzitter Lorentz de toenmalige premier Cort van der Linden en hij trof bij hem en zijn collega-ministers direct "volle sympathie" voor de academische plannen, alsmede honderdduizend gulden om ze te realiseren, toendertijd een gigantisch bedrag.⁵⁵ Men besloot om een overkoepelend orgaan in te stellen (de Commissie Lorentz) dat werd onderverdeeld in kleinere subcommissies die zich elk met een bepaalde groep nijpende problemen bezig zouden houden, bijvoorbeeld het brandstoftekort, vervanging van voedingsmiddelen, het 'Stikstofvraagstuk' (in verband met kunstmest), ecetera. Het benodigde onderzoek op deze terreinen werd ook over de subcommissies verdeeld en in eerste instantie in de bestaande laboratoria van de commissieleden zelf uitgevoerd. In die zin belichaamde de organisatie dus ook slechts een uitbreiding van de bestaande Akademietafen op grotere schaal, want de regering kon altijd al opdrachten geven om onderzoekingen te laten verrichten. Maar daarnaast zouden de meeste subcommissies eveneens plannen ontwikkelen om nieuwe onderzoeksinstellingen op te richten en eind 1918 was een aantal daarvan al in een vergevorderd stadium. Er lag een compleet bouwontwerp voor een Vitaminenlaboratorium (inclusief locatie), een begroting voor een Instituut voor Wetenschappelijk Onderzoek van Brandstoffen, plannen voor grootschalig munitie-onderzoek, etcetera etcetera.⁵⁶

Toch zou geen van deze plannen verwezenlijkt worden want binnen twee jaar na haar oprichting ging de Commissie Lorentz feitelijk al ter ziele. De voornaamste reden daarvoor was natuurlijk het einde van de Eerste Wereldoorlog, waardoor de grootste noden al waren weggenomen en het bestaansrecht van de organisatie in wezen was komen te vervallen. Maar daarnaast was er ook een dieper liggende oorzaak die zich al van het begin af aan had afgetekend. Want nog tijdens de oorlog was gebleken dat de adviezen die de verschillende subcommissies produceerden steeds zo goed als ongebruikt waren blijven liggen. De uitkomsten van de academische onderzoekingen leken te worden weggeborgen in een ambtelijke la om daar vervolgens nooit meer uit te voor-

55. Lorentz' persoonlijke aantekeningen (Rijksarchief Noord-Holland, Haarlem. Archief Hendrik Antoon Lorentz (Archief Lorentz) 364. Map 'Wetenschappelijke Commissie van Advies en Onderzoek in het Belang van de Volkswelvaart en Weerbaarheid', 166). Die laatste frase was de officiële naam voor de Commissie Lorentz en weerspiegelt ook enigszins de verwantschap met de buitenlandse instellingen, die immers eveneens op welvaart en defensie gericht waren. Voor een expliciete verwijzing daarnaar zie Lorentz' openingsvoordracht in: *Mededeelingen betreffende de Wetenschappelijke Commissie van Advies en Onderzoek in het Belang van de Volkswelvaart en Weerbaarheid* 1 (1918) 4-10, m.n. 4.

56. Zie *Mededeelingen betreffende de Wetenschappelijke Commissie van Advies en Onderzoek in het Belang van de Volkswelvaart en Weerbaarheid* 4 (1919) en A. de Knecht-van Eekelen, "Het Vitaminen-Laboratorium", *Gewina* 19 (1996) 43-45. Voor het kunstmesttekort bedachten de Nederlandse onderzoekers overigens een originele oplossing. Terwijl men het in Duitsland trachtte op te heffen door het geavanceerde Haber-Bosch-proces voor stikstofwinning uit de lucht verder te perfectioneren, stelde men hier voor de schaarste te dekken door het aftappen van urinoirs en openbare toiletten. Hoewel de betreffende commissie de "bezwaren, zoowel van hygiënischen als van aesthetischen aard" erkende, leerden berekeningen dat de hoeveelheid geproduceerde "putbeer" ruim voldoende zou zijn.

schijn te worden gehaald.⁵⁷ Het praktisch rendement van het wetenschappelijk onderzoek was zodoende nihil en hoewel de academici daarvan de overheid de schuld gaven klonken er al gauw ook andere geluiden. Op 19 december 1919 gaf de chemisch technoloog C.J. van Nieuwenburg, op dat moment werkzaam bij de Glasfabrieken in Leerdam, een uitgebreide beschouwing over de kwestie, die in het *Chemisch Weekblad* afgedrukt zou worden en de aandacht zou trekken van de toenmalige minister van Onderwijs De Visser. Van Nieuwenburg zei heel goed te begrijpen waarom het werk van de Commissie Lorentz onvruchtbaar gebleven was, namelijk omdat het was uitgevoerd door het verkeerde soort onderzoekers. Het zou volgens hem *a priori* niet meer dan logisch zijn geweest dat onderzoek dat was gericht op de praktijk ook geleid zou worden door mensen met ervaring in die praktijk, en dat was nu allerminst het geval geweest. De Commissie Lorentz had bestaan uit "geleerden-pur-sang" die weinig van techniek wisten en die dientengevolge ook slechts "dor en droog commissiewerk" hadden weten te leveren.

Dat dan ook de regering in 1917 hare Wetenschappelijke Commissie van Advies en Onderzoek [de Commissie Lorentz] onder leiding der Akademie heeft gesteld, hoewel haar adviezen in hoofdzaak van technischen aard moesten zijn, lijkt ons een ernstige fout, waaraan het geringe succes van die commissie grotendeels is toe te schrijven. (...) Het merkwaardige van het geheele geval ligt o.i. [echter] niet in de tactische fout der regering, doch in het feit, dat de Akademie de opdracht heeft aanvaard, ja daartoe zelfs het initiatief heeft genomen.⁵⁸

Volgens Van Nieuwenburg kon het noodzakelijke "wetenschappelijk-technisch werk" het best plaatsvinden in een organisatie voor en door industriëlen en andere praktijkmensen en hoorde het absoluut niet thuis onder academici.

Zoals gezegd kreeg ook de minister Van Nieuwenburgs stuk onder ogen en omdat de regering er eveneens belang in stelde dat men tot een vruchtbaarder instelling kwam dan de Commissie Lorentz, vroeg hij een extern adviseur zijn licht over de zaak te laten schijnen. Deze adviseur werd Isaac P. de Vooy, een industrieel en Delftenaar maar één met een iets genuanceerdere visie dan Van Nieuwenburg. De Vooy schreef een uitgebreid rapport over de kwestie waarin hij Van Nieuwenburgs idee van een onoverbrugbare kloof tussen wetenschappelijk onderzoek en praktijkwerk weerlegde en een alternatieve organisatievorm voorstelde. Volgens De Vooy hadden zuivere wetenschap en praktijk wel degelijk met elkaar te maken, maar dienden zij te worden verbonden door de onmisbare schakel van de "technische wetenschap". De technische wetenschap richtte zich steeds op onderzoeksproblemen uit de industrie en putte voor de oplossing daarvan uit de kennis van de zuivere wetenschap: zij vormde precies de brug die Nederland zo

57. Op een vraag van de minister of de Commissie Lorentz nog in vredestand moest voortbestaan antwoordde de Akademie bevestigend onder de voorwaarde dat de regering de uitkomsten van het onderzoek ook in praktijk zou brengen. Zie Afdeling Natuurkunde der KAW aan Minister van Onderwijs, Kunsten en Wetenschappen, november 1919 (Rijksarchief Noord-Holland, Haarlem. Archief Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen (Archief KNAW) 64. Stukken over TNO, 350). Pas in 1922 werd de Commissie Lorentz officieel opgeheven.

58. C.J. van Nieuwenburg, "De Nationale Organisatie van Wetenschappelijk-Technisch Werk", lezing voor het Delftsch Natuurwetenschappelijk Gezelschap, *CW* 17 (1920) 70-75: 72. Van Nieuwenburg werd een jaar later hoogleraar analytische chemie in Delft vanaf welk moment zijn opvattingen over de waarde van wetenschap ook wat gematigder werden. Zie bijvoorbeeld zijn rede als voorzitter van de NCV in *ibid.*, 21 (1924) 223-224.

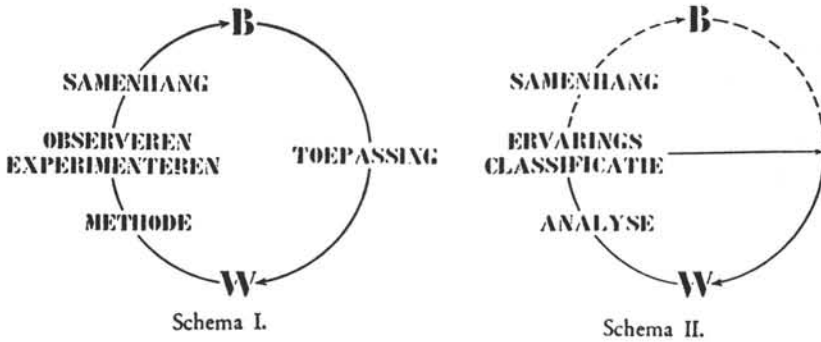
hard nodig had. De Vooy's stelde dan ook voor dat de regering vooral dit technisch-wetenschappelijk onderzoek meer zou stimuleren en het leek hem het meest voor de hand te liggen dat dat zou gebeuren in een nieuw instituut dat zou worden ondergebracht bij de Technische Hoogeschool in Delft.⁵⁹ De minister kon zich goed vinden in De Vooy's ideeën. Om ze nader uit te werken tot concrete voorstellen om het bedoelde onderzoeksinstituut op te richten, stelde hij een nieuwe werkgroep samen. Omdat de KAW nog steeds het officiële regeringsadviesorgaan was in wetenschappelijke aangelegenheden werd dit opnieuw een Akademiecommissie en kwam zij onder leiding te staan van de nieuwe Akademievoorzitter, de Utrechtse botanicus, collega en geestverwant van Kruyt, F.A.F.C. Went.

Ook de Commissie Went, waarin De Vooy's eveneens zitting had, schaarde zich achter diens denkbeelden. Er zou inderdaad een nieuw onderzoeksinstituut opgericht moeten worden met een zekere brugfunctie tussen zuivere wetenschap en praktijk, alleen hoefde dat volgens de commissie niet *per se* in Delft, maar kon het ook zeer goed verspreid over het land gebeuren. Dat zou namelijk meteen de mogelijkheid scheppen om de instelling tot een werkelijk nationale organisatie te maken waaronder ook alle reeds bestaande overheidslaboratoria, zoals proefstations, keuringsinstituten en dergelijke, zouden kunnen worden ondergebracht. Naast deze bijstelling bracht de Commissie Went nog een wijziging in de plannen van De Vooy's aan, die weliswaar klein was, maar tegelijk zeer significant. Men stelde namelijk dat De Vooy's term 'technisch-wetenschappelijk onderzoek' veranderd zou moeten worden in 'toegepast wetenschappelijk onderzoek' en dat deze herformulering ook doorgevoerd diende te worden in de taakomschrijving van het nieuwe instituut. De opgegeven reden luidde dat het laatste begrip ruimer zou zijn en op voorhand minder uitsloot, maar er lijkt daarnaast ook een ander motief te hebben meegespeeld. Want 'toegepaste wetenschap', anders dan 'technische wetenschap', droeg de veronderstelling in zich dat er iets aanwezig moest zijn dat kon *worden* toegepast - en dat was natuurlijk 'zuivere wetenschap'. De Akademieleden staken deze boodschap trouwens ook niet onder stoelen of banken, want al in zijn openingsrede beklemtoonde voorzitter Went dat zuivere wetenschap een absolute voorwaarde was voor het soort werk waar de commissie zich mee bezig ging houden. In alle rapportages van de Commissie Went klonk deze verschoven nadruk door en het was duidelijk dat men, in totale tegenstelling tot wat Van Nieuwenburg had voorgesteld, de academische wetenschap een belangrijke rol toekende in het op de praktijk gerichte onderzoek.⁶⁰

Kruyt werd in 1927 opgenomen in de Commissie Went en we kunnen ons gemakkelijk voorstellen dat hij zich in het streven daarvan goed kon vinden. Niet alleen was het doel wetenschappelijk onderzoek "in hoogere mate dienstbaar te maken aan het algemeen belang", maar ook zou dat op een manier gebeuren die volledig met zijn eigen

59. Voor De Vooy's rapport zie Is.P. de Vooy's aan Minister van Onderwijs, 12 december 1920 (Archief KNAW 64, no. 350). Overigens had de minister eerst Lorentz gevraagd om een reactie op Van Nieuwenburg's stuk en deze was zonder meer negatief: "Ik zie waarlijk niet den minsten grond voor de meening dat de commissie meer gedaan zou hebben als het Bestuur uit technici had bestaan." Lorentz aan minister van onderwijs, 11 september 1920 (Archief Lorentz 364, no. 166).

60. Voor de naamsverandering en de argumenten daarvoor, zie de reactie van de Afdeling Natuurkunde van de Akademie op het rapport van De Vooy's (Archief KNAW 64, no. 350). Voor de nadruk op zuivere wetenschap als voorwaarde, zie de voordracht van Went bij de installatie van de Commissie op 16 februari 1924 en de bespreking van het ontwerp-rapport op 24 oktober 1924 (Archief KNAW 64, no. 350).



Figuur 24. In deze schema's, afkomstig uit een rede voor het Provinciaal Utrechtsch Genootschap in 1939, zette Kruyt uiteen wat volgens hem de ware verhouding was tussen zuivere en toegepaste wetenschap. Zuiver wetenschappelijk onderzoek (aan de linkerkant van de cirkels) begint bij de werkelijkheid *W*, die uit vele specifieke feiten bestaat, en werkt via generalisaties naar het algemene begrip *B*. Toegepast wetenschappelijk onderzoek gaat uit van de reeds gevormde algemene begrip en spitst dat toe op een enkel praktisch relevant geval. In 'Schema II' wordt het pad vroegtijdig afgestoken en een nog niet geheel algemeen begrip toegepast - met dientengevolge beperkt resultaat. Kruyts doel met deze voordracht was overigens niet primair om een epistemologische theorie op te zetten, maar veeleer om de 'logische' schema's in te zetten als een argument voor de overdracht van bestaande overheidslaboratoria aan TNO, iets dat door de ambtenaren werd tegengewerkt. Kennistheorie en institutionele verhoudingen lagen bij Kruyt direct in elkaars verlengde.

(H.R. Kruyt, "Zuivere Wetenschap, Toegepaste Wetenschap en Wetenschapstoepassing", *PUG* (31 mei 1939) 9-31)

ideaalbeeld overeenstemde. Want het zou niet nodig zijn, zoals in Ornsteins laboratorium gebeurde, dat de universitaire onderzoekers zich op allerlei specifieke technische problemen zouden moeten gaan richten. En tegelijk zou worden voorkomen dat, zoals in Van Nieuwenburgs voorstelling van zaken, academische wetenschap voor de praktijk niets zou hebben te betekenen. De nieuwe schakel van het toegepast natuurwetenschappelijk onderzoek garandeerde dat de zuivere wetenschap haar eigen richting kon blijven volgen en toch verondersteld kon worden van cruciaal belang te zijn voor de praktijk. Het hele beeld van de verhouding tussen wetenschap en samenleving van waaruit de Commissie Went opereerde, sloot zodoende naadloos aan bij het soort arbeidsverdeling dat Kruyt steeds voor ogen had gehad. De enige afwijking daarvan bestond daarin dat het nu niet meer direct de bedrijven waren die de resultaten van de zuivere wetenschap zouden moeten toepassen maar dat er een nieuw instituut tussen hen en de universiteiten in werd geschoven. Anders dan bijvoorbeeld in Kruyts werk als industrieel adviseur werden de algemene inzichten niet meer rechtstreeks naar de fabriek gebracht maar moesten ze eerst een fase van toegepast onderzoek doorlopen in een speciaal daarvoor opgerichte brug-organisatie. Het feit dat zo'n organisatie nu moest worden ingesteld was echter het onvermijdelijke gevolg geweest van het falen van de Commissie Lorentz, waarbij het contact nog wel direct was geweest maar tegelijk totaal onvruchtbaar.

Kruyts taak als secretaris van de Commissie Went was eraan mee te werken dat de organisatievorm van het op te richten onderzoeksinstituut in een wetsontwerp werd vastgelegd. De naam van dat instituut, TNO, stond inmiddels al vast, maar de manier

waarop men het toegepast natuurwetenschappelijk onderzoek wilde structureren moest nog preciezer worden uitgewerkt. Uiteindelijk kwam de commissie tot een opzet die wel wat weg had van die van de oude Commissie Lorentz. Er zou een Centrale Organisatie moeten komen die al het onderzoek coördineerde, en daaronder kwamen Bijzondere Organisaties die zich elk op een speciaal maatschappelijk probleemgebied zouden richten, zoals gezondheid, voeding, landbouw, etcetera. Deze Bijzondere Organisaties voerden het onderzoek ook daadwerkelijk uit, alleen zouden ze dat niet doen in de laboratoria van Akademieleden, maar in speciaal daarvoor op te richten laboratoria. Bovendien zouden alle bestaande keuringsinstituten en proefstations van de overheid onder TNO-vlag gebracht moeten worden en daar zou ook in eerste instantie de benodigde onderzoeksruimte te vinden zijn. Het bestuur, zowel van de Centrale Organisatie als van de Bijzondere, zou volledig in handen moeten komen van gekwalificeerde wetenschappers en vertegenwoordigers van de relevante sectoren van de samenleving, zoals industriëlen en agrariërs. Zo zou TNO werkelijk een instelling van wetenschap en praktijk worden, onder het door De Vooyo's geïntroduceerde en veelvuldig aangehaalde motto "eenheid en deskundige leiding".⁶¹

Het wetsontwerp van de Commissie Went werd op 30 oktober 1930 door het parlement goedgekeurd en zou op 1 mei 1932 in werking treden. Deze vertraging van ruim anderhalf jaar bleek helaas een voorteken te zijn want de ontwikkeling van TNO verliep nog gedurende vele jaren verre van voorspoedig. Pas in 1934 kwam men ertoe de eerste Bijzondere Organisatie op te richten (die voor Nijverheid) en dat zou tot de Tweede Wereldoorlog de enige blijven. Men probeerde wel andere onderzoeksinstituten van de grond te krijgen maar er bestond grote tegenwerking van de departementale ambtenaren die daartoe de bestaande overheidslaboratoria aan TNO moesten overdragen. Er school iets tegennatuurlijks in om keuringsinstituten en dergelijke, die door het rijk gefinancierd waren en zouden blijven, zomaar in handen te geven van hoogleraren en bedrijfsleven. Dit was echter wel de bedoeling van de wet en toen prof. G. van Iterson, die vanaf 1935 het TNO-bestuur leidde, merkte dat de weerstand zo goed als onoverkomelijk was, gooide hij de handdoek in de ring en bood zijn ontslag aan. De consternatie hierover was buitengewoon groot, ook bij Kruyt die naast Van Iterson bestuurslid was geweest alsmede voorzitter van de Nijverheidsorganisatie. Zijn ideaal om wetenschappelijk onderzoek een wezenlijke rol te laten spelen in de samenleving had op het punt gestaan om gerealiseerd te worden, maar was nu weer van verwezenlijking verwijderd. Dé organisatie die daaraan had kunnen bijdragen, TNO, was op sterven na dood.⁶²

Kruyt besloot het er niet bij te laten zitten en hij hekelde de gang van zaken in een aantal felle voordrachten en artikelen. Daarbij moesten vooral de ambtenaren het ontgelden want het waren immers de "ridders van de pen en van het blauwe potlood" die de ontwikkeling van TNO het meeste hadden getraineed. Het kwam Kruyt voor dat een belangrijke achterliggende oorzaak was dat er een algemeen onbegrip bestond over hoe zuivere wetenschap, toegepaste wetenschap en maatschappij zich precies tot elkaar verhielden. In een uitgebreide beschouwing voor het Provinciaal Utrechtsch

61. Van Kasteel (n. 54), "Ontstaan en Groei", hoofdstuk 3.

62. *Ibid.*, hoofdstuk 4.

Genootschap van Kunsten en Wetenschappen, waarvan ook verslagen in de kranten verschenen, legde hij uit hoe die verhouding nu eigenlijk lag. Zuivere wetenschap, zo stelde Kruyt, werkte steeds van de specifieke objecten in de werkelijkheid naar het algemene begrip; zij vormde de activiteit van de universiteiten. Toegepaste wetenschap nam vervolgens het algemene begrip als uitgangspunt en trachtte daarmee weer een specifiek deel van de werkelijkheid te beheersen; dit was het werk van de hogescholen en de geneeskundefaculteiten (zie Figuur 24). Na deze twee fasen van wetenschap was er volgens Kruyt nog voorlichting en 'wetenschapstoepassing' noodzakelijk om de uitkomsten hun praktische relevantie te geven. Dit waren beide taken van de maatschappij maar omdat men ze in wisselwerking met de wetenschap moest uitvoeren waren daarvoor allerlei speciale *research*-instellingen opgezet: precies die instellingen die onder TNO zouden moeten resorteren. "Nu is het merkwaardig," zo concludeerde Kruyt uit zijn epistemologische beschouwing, "dat de Staat in ons schema in het geheel niet voorkomt, ja, er wezenlijk ook in het geheel niet in voorkomen kan. De enige logische weg is die van de wetenschap naar de maatschappij via wetenschappelijk geleide instellingen; de Staat kan hoogstens een bijrol spelen in die zin, dat hij zorgt, dat de keten er is, maar in de keten zelf hoort hij niet thuis, is hij een wezensvreemd element."⁶³ Kruyt achtte overheidssteun met andere woorden prima maar overheidsbemoediging pertinent verkeerd. En dat was volgens hem ook wat de ambtenaren niet begrepen hadden en waardoor de zaak zo hopeloos fout zou lopen. Want dát het uitblijven van TNO desastreus zou zijn, daar vergat Kruyt niet op te wijzen, zeker niet vlak na het begin van de Tweede Wereldoorlog, toen het er naar uitzag dat Nederland opnieuw een periode van neutraliteit en economisch isolement tegemoetging. Alle daaruit voortvloeiende noden hadden gelukkig kunnen worden door toegepast wetenschappelijk onderzoek, maar helaas:

Wij zullen straks weer verstoken zijn van allerlei noodzakelijke materialen: voor een instituut van materialenonderzoek en advies op dat gebied moet de eerste steen nog gelegd worden; wij zullen weer groote moeilijkheden krijgen met de normale voedselvoorziening: een instituut voor *research* en met ervaring inzake mogelijkheden op voedselgebied ontbreekt. Zoo zouden er vele voorbeelden te noemen zijn. Op het gebied van de wetenschappelijke paraatheid voor den strijd, zoowel in vrede als in oorlog, zijn wij schrikbarend ten achter. (...) Wie zal nog de kloof tusschen de wetenschap en de maatschappij vermogen te overbruggen?⁶⁴

Kruyts doemscenario's zouden hun uitwerking niet missen en de in 1939 benoemde nieuwe TNO-voorzitter J. Alingh Prins zou aanmerkelijk meer succes weten te boeken. Het lukte hem de departementen zover te krijgen hun laboratoria aan TNO af te staan en bovendien zou de organisatie onder zijn leiding eindelijk serieus gestalte gaan krijgen. In 1940 ontstond de Voedingsorganisatie TNO (de tweede Bijzondere Organisatie) en

63. H.R. Kruyt, "Zuivere Wetenschap, Toegepaste Wetenschap en Wetenschapstoepassing", *PUG* (31 mei 1939) 9-31: 24; ook separaat. Voor de krant artikelen zie *Utrechtsch Nieuwsblad* en *Nieuwe Rotterdamsche Courant* (31 mei 1939) (Archief Kruyt, Map I). Het epistemologische deel van zijn beschouwing gaf Kruyt al eerder in een voordracht in Gent op 10 december 1935. Zie H.R. Kruyt, "Zuivere en toegepaste Wetenschap en haar onderlinge verhouding", *Aula* 3 (1936) 161-165.

64. H.R. Kruyt, "Wetenschap en Maatschappij", *De Groene Amsterdammer* (11 november 1939). Overeenkomstige beschouwingen gaf Kruyt in "Organisatie op Toegepast Natuurwetenschappelijk Gebied", *Het Gemeenebest* 3 (1940) 22-28; "Organisatie van Research en Voorlichting", *Nederlandsch Instituut voor Efficiency* publikatie nr. 213 (november 1942); en "De Maatschappelijke Betekenis der Natuurwetenschappen", *Economisch-Statistische Berichten* (20 januari 1943) 30-32.

drie jaar later verzezen de Landbouworganisatie en de Landbouwnijverheidsorganisatie als nummers drie en vier. Bovendien werden tijdens de oorlogsjaren allerlei nieuwe onderzoeksinstellingen opgericht die meteen onder het bestuur van TNO kwamen te vallen.⁶⁵ Kruyt speelde hierin een leidende rol, want hij was voorzitter geworden van de nieuwe Voedingsorganisatie en vanaf 1943 ook van de Nijverheidsorganisatie. Bij het aannemen van die laatste functie werd hem tevens aangeboden het algemene voorzitterschap op korte termijn over te nemen van Alingh Prins, die inmiddels tegen de zeventig liep. Kruyt besloot aan het verzoek gehoor te geven maar omdat de curatoren van zijn reeds geplaagde universiteit niet graag nog een vacature hadden, zou het tot na de oorlog duren voor Kruyt inderdaad het hoogleraarschap zou neerleggen om zich *full-time* bezig te gaan houden met het bestuur van de Centrale Organisatie van TNO. Gedurende de zeven jaar dat hij die functie bekleedde werd de organisatie in belangrijke mate uitgebreid (bijvoorbeeld met de Rijksverdedigingsorganisatie en de Gezondheidsorganisatie) en groeide zij uit tot het machtige overkoepelende instituut dat zij decennialang zou blijven. Anno 1953 was de situatie zo zeer ten goede veranderd dat De Vooy's kon stellen: "Op dit ogenblik, nu Prof. Kruyt als voorzitter aftreedt, mag worden gezegd: TNO heeft een vaste plaats en burgerrecht verworven in het Nederlandse leven."⁶⁶

Gedurende de periode dat Kruyt leiding gaf aan TNO werkte hij eveneens mee aan de totstandkoming van die nieuwe organisatie voor zuiver wetenschappelijk onderzoek, ZWO. De oprichting hiervan was misschien nog wel meer dan die van TNO een collectieve onderneming waarin de regering ook een veel actievare rol speelde. Het valt zodoende nog moeilijker uit te maken waaruit Kruyt's bijdragen precies bestonden. Het staat echter vast dat hij er van begin af aan nauw bij betrokken was en deel uitmaakte van het vijftal dat premier Schermerhorn op 13 september 1945 bijeenriep om de ontwikkeling in gang te zetten. De reden waarom de regering het nodig achtte juist het zuivere onderzoek extra te gaan stimuleren, was dat de overtuiging bestond dat Nederland tijdens de oorlogsjaren wetenschappelijk gezien ver achterop was geraakt. Daarvoor werd vanzelfsprekend de sluiting van de universiteiten verantwoordelijk gehouden maar de indruk van achterstand zal mede gewekt zijn door de enorme wetenschappelijke vlucht die vooral Amerika genomen had - het land dat met een ontzagwekkend produkt van fundamenteel onderzoek de strijd met Japan had gewonnen. De verschillende commissies die de regeringsplannen gingen uitwerken, richtten zich ook sterk op het Amerikaanse voorbeeld en lieten zich voor het ontwerp van opzet en structuur van de nieuwe organisatie vooral inspireren door modellen uit de VS, zoals de pas opgerichte National Science Foundation, de Carnegie Institution en de Rockefeller Foundation. Daarnaast keek men naar het Nationaal Fonds voor Wetenschappelijk Onderzoek in België dat Nederland op dit gebied warempel vooruit leek te zijn.⁶⁷

65. Zie Van Kasteel (n. 54), "Ontstaan en Groei", hoofdstuk 5 en H.R. Kruyt, "Bij het Afscheid van Dr. Alingh Prins", *T.N.O.-Nieuws* 1 (1946) 75-76.

66. Van Kasteel (n. 54), "Ontstaan en Groei", hoofdstuk 6. H.R. Kruyt, "Afscheidscollège gehouden op Vrijdag 20 September 1946 in de Colleezaal van het Organisch Chemisch Laboratorium te Utrecht", *CW* 42 (1946) 264-270, m.n. 269.

67. Zie Nederlandse Organisatie voor Zuiver-Wetenschappelijk Onderzoek, *Voorbereiding en Werkzaamheden in de Oprichtingsperiode 1945-1949* ('s-Gravenhage, 1950) en Kersten (n. 54), "Organisatie", 10-20.

Kruyt was de eerste die gevraagd werd een plan te maken voor de nieuwe onderzoeksinstelling en in december 1945 presenteerde hij zijn ontwerp. Dit was inderdaad sterk geënt op de Belgische organisatie en vertoonde daarnaast elementen van de opzet van TNO: een overkoepelende Centrale Organisatie (Kruyt noemde die ook zo) waaronder speciale onderzoeksafdelingen vielen. Omdat een aantal onderzoeksinstituten reeds in wording was (zoals de Stichting voor Fundamenteel Onderzoek der Materie (FOM)) had Kruyt geprobeerd die alvast een plaats te geven. Maar daardoor had zijn plan als geheel wat aan helderheid en consequentheid verloren.⁶⁸ Men besloot het dan ook niet meteen aan te nemen, maar het als uitgangspunt te gebruiken voor een gedetailleerder ontwerp dat door een grotere commissie zou moeten worden aangeleverd. Deze 'Commissie Reinink', waarin ook Kruyt weer zitting had, bracht in augustus 1946 rapport uit en het plan dat hierin gepresenteerd werd, vormde weer de basis voor een wetsontwerp. Dat haalde het echter in eerste instantie niet en mede doordat in 1946 een nieuw kabinet aantrad zou het nog vele bijstellingen en amendementen vergen voor een definitieve organisatiestructuur bij wet kon worden vastgelegd. In april 1950 was het echter zover en vanaf dat moment beschikte Nederland over een grootschalige instelling die, voornamelijk door het verstrekken van subsidies, het zuiver wetenschappelijk onderzoek hier te lande (vooral aan de universiteiten) in ongekende mate zou gaan stimuleren.⁶⁹

De naam ZWO was, zoals gezegd, gekozen op suggestie van Kruyt, die de begripscombinatie 'zuiver' en 'toegepast' zelf altijd gebruikt had omdat hij vond dat daardoor de aard en onderlinge verhouding van de verschillende soorten onderzoek het best werden uitgedrukt. De combinatie van zuiver en toegepast was ook precies wat de verschillende regeringen met de oprichting van ZWO voor ogen had gestaan. Want hoeveel de opeenvolgende plannen ook verschilden, er was één constante geweest in de voorwaarden en dat was dat de nieuwe organisatie een 'tegenhanger en aanvulling' moest zijn van TNO. Dat idee lag onder andere ten grondslag aan de beslissing om de voorzitter van TNO ook in het dagelijks bestuur van ZWO op te nemen. De waarde van die combinatie bleek eveneens duidelijk tijdens het oprichtingsproces. In het verslag daarvan schreef men achteraf: "De vergaderingen, die het Dagelijks bestuur [van ZWO] met het Dagelijks Bestuur van de Centrale Organisatie voor toegepast-natuurwetenschappelijk onderzoek (T.N.O.) hield kunnen tot de meest vruchtbare resultaten (...) worden gerekend." TNO en ZWO waren als complementaire instellingen geschapen en de combinatie van beide belichaamde als het ware de taakverdeling in het onderzoek die Kruyt altijd had nagestreefd en voorgestaan. Anno 1950 was het soort verband tussen wetenschap en maatschappij dat hij vanaf het begin van zijn loopbaan met zoveel inzet had geprobeerd te bewerkstelligen, grotendeels gerealiseerd.⁷⁰

68. Kersten (n. 54), "Organisatie", 11-13.

69. ZWO (n. 68), "Voorbereiding en Werkzaamheden". Kersten (n. 54), "Organisatie", 14-36.

70. ZWO (n. 68), "Voorbereiding en Werkzaamheden". Over Kruyts inbreng in de naam van ZWO zie Frits Henry Brookman, *The Making of a Science Policy. A historical study of the institutional and conceptual background to dutch science policy in a west-european perspective*, (Amsterdam, 1979) 152. Andere gesuggereerde aanduidingen waren 'vrij onderzoek', 'fundamenteel onderzoek' en 'basic research'.

8. Succes

We hebben in dit hoofdstuk gezien hoe Kruyt op vele verschillende manieren probeerde een brug te slaan tussen (zijn) wetenschap en de Nederlandse samenleving. Hij zocht daarvoor contact met de chemische industrie (als voorzitter van de Nederlandsche Chemische Vereeniging en als industrieel adviseur), hij verrichtte in zijn laboratorium onderzoeken die nadrukkelijk 'toepasbaar' waren, hij poogde op verscheidene manieren het hoger onderwijs beter in de maatschappij te integreren, en hij werkte mee aan de oprichting van TNO en ZWO. In de gekozen middelen waren deze activiteiten zeer verscheiden, maar in hun doel kwamen ze sterk overeen. Wat Kruyt bij alle hier genoemde initiatieven voor ogen had, was erkenning te krijgen voor het maatschappelijk belang van wetenschappelijk onderzoek en die erkenning om te zetten in concreet resultaat. In hoeverre was hij daar nu in geslaagd? In welke mate leidden zijn activiteiten werkelijk tot stevigere banden tussen het universitaire onderzoek en de maatschappelijke praktijk? Het is niet eenvoudig die vragen te beantwoorden want het is voor een historicus uiterst moeilijk, zonet onmogelijk, om onweerlegbare causale connecties te leggen. Maar aan het eind van dit hoofdstuk is de kwestie van Kruyts succes zeker opportuun en als we even afzien van de vraag of het bereikte allemaal zijn persoonlijke verdienste was, kunnen we tot op zekere hoogte wel nagaan wat er gedurende zijn werkzame leven in de verhouding tussen wetenschap en maatschappij veranderde.

Zoals in paragraaf 1 is gesteld is het goed om het maatschappelijke rendement van wetenschappelijk onderzoek, zoals Kruyt dat voor ogen had, uit te splitsen in twee aspecten: het nut verkregen door toepassing van de onderzoeksresultaten enerzijds, en anderzijds het profijt van in het verrichten van onderzoek opgeleide *studenten*, die hun vaardigheden konden inzetten in bijvoorbeeld de industrie. Om met het laatste aspect te beginnen: er vond inderdaad een enorme verandering plaats gedurende de periode van Kruyts werkzaamheid. Vlak na de eeuwwisseling (het is al even eerder genoemd) werkte van de universitair gevormde chemici slechts 8% in de industrie. De universiteit leidde in die tijd voornamelijk op tot posities in het onderwijs waarin anno 1908 nog 64% van de afgestudeerden terecht kwam (de rest trad in anderssoortige overheidsdiensten, zoals gas- en waterbedrijven, keuringsdiensten en proefstations).⁷¹ In de jaren rond de Tweede Wereldoorlog waren die percentages drastisch verschoven: anno 1941 werkte ongeveer 40% van de afgestudeerde universitaire chemici in de industrie en het grootste gedeelte daarvan in de nieuw opgerichte researchlaboratoria van bijvoorbeeld de Bataafsche Petroleum Maatschappij (voorloper van Shell), de Kunstzijdeondernemingen (voorlopers van AKZO) en Philips.⁷² Op zich zijn dit al sprekende cijfers maar het is ook goed ze te vergelijken met de aantallen die betrekking hebben op Kruyts eigen school van leerlingen en de school van Bakhuis Roozeboom waarin hij zelf, één generatie eerder, was opgeleid. In Tabel 1 en 2 zijn de desbetreffende percentages verzameld. Wanneer we de arbeidsperspectieven bekijken van de leerlingen van Bakhuis

71. Deze cijfers zijn ontleend aan Tabel II 'Beroepsbeoefening der chemici in Nederland' in *Toekomst der Akademisch Gegradueerden* (n. 52), 173. Alleen de getallen voor de universitaire chemici zijn in beschouwing genomen, wat belangrijk is, want de arbeidsperspectieven van de Delftse chemisch technologen verschillen daarvan aanmerkelijk.

72. Zie voor deze gegevens Hutter (n. 21), "Nederlandse Laboratoria", 163 (Grafiek 5) en 170 (Tabel 4).

Tabel 1. Arbeidssectoren Promovendi Bakhuis Roozeboom

Industrie	2	7%
Hoger Onderwijs	8	30%
Middelbaar Onderwijs	9	33%
Proefstations, Overheid	6	22%
Diversen *	2	7%

* D.w.z. één eigenaar van een commercieel laboratorium en één Indiëganger.

Tabel 2. Arbeidssectoren Promovendi Kruyt

Industrie	27	49%
Hoger Onderwijs	10	18%
Middelbaar Onderwijs	7	13%
Proefstations, Overheid	9	16%
Diversen *	2	4%

* D.w.z. één leraar in de Utrechtse analystencursus en één arts.

Roozeboom, die tot 1907 chemici opleidde, dan vinden we ongeveer dezelfde getallen als het landelijk gemiddelde van 1908: 7% ging naar de industrie en 63% bleef in het onderwijs. Wanneer we de werkring van Kruyts leerlingen bezien, dan komen we op getallen uit die enigszins afwijken van de landelijke percentages. 49% van hen vond een betrekking in de industrie, terwijl dat in 1941 nationaal op 40% lag, hetgeen bovendien een top was: in 1949 lag het landelijk gemiddelde weer op minder dan 30%. De industrie maakte dus bovengemiddeld veel gebruik van de onderzoekers die Kruyt had opgeleid en de curve van zijn school steeg nog sterker dan de nationale. Wat betreft dit aspect van zijn streven kunnen we dan ook zeker zeggen dat Kruyt geslaagd was.

Maar wat was er terechtgekomen van dat andere maatschappelijk belang van wetenschappelijk onderzoek: de toepassing van de resultaten. Dit is natuurlijk veel moeilijker te peilen en we kunnen ons daarvoor niet verlaten op percentages en tabellen. Want wanneer is er sprake van daadwerkelijke 'toepassing' van een wetenschappelijk inzicht en hoe maken we uit of die toepassing geslaagd is? Dit zijn geen vragen die voor buitenstaanders beantwoordbaar zijn en zelfs industriëlen vinden ze vaak zeer moeilijk te beantwoorden. De toepassing van wetenschap is nu eenmaal een zeer ingewikkeld proces waarin het zo goed als ondoenlijk is aan te wijzen waar 'het' gebeurt. Maar wat we wel na kunnen gaan is of er in dat proces gedurende Kruyts tijd vertrouwen gegroeid is en of het bestaan van de toepassing van wetenschap gaandeweg meer werd erkend. Dat nu blijkt in zeer hoge mate het geval te zijn. Ten eerste maakte de scepsis ten aanzien van wetenschap, die rond 1912 nog bij industriëlen als Wigtersma en Van Hasselt aanwezig

was, plaats voor een veel grotere waardering, hetgeen met name tot uiting kwam in de oprichting van verschillende industriële researchlaboratoria, zoals die bij de zoëven genoemde bedrijven. Maar sterker nog komt het gegroeide vertrouwen in de toepasbaarheid van wetenschap naar voren in de oprichting van de twee grote nieuwe instituten die de vruchten van het onderzoek naar de samenleving zouden moeten brengen. Met TNO en ZWO was wetenschappelijk onderzoek erkend als een zaak van het algemeen belang en bovendien was dat gebeurd via een arbeidsverdeling (zuiver en toegepast onderzoek) die precies aansloot bij het ideaal van Kruyt. Anno 1950 wist hij zijn missie grotendeels geslaagd.



Slotbeschouwing

Na afloop van een van de voordrachten die Kruyt hield ter toelichting van zijn pasverschenen pleidooi *Hooge School en Maatschappij*, maakte de Groningse hoogleraar Frits Zernike een interessante opmerking. Waarom, zo vroeg hij zich af, is hervorming van de universiteiten eigenlijk noodzakelijk, en wordt "de voorgestelde wijziging door de belanghebbenden zelven [dat wil zeggen: door de samenleving] gewenscht"? Kruyts antwoord was min of meer ontwijkend. In de meeste gevallen wel, zo meende hij te constateren, maar ook wanneer dat niet zo was dan diende de universiteit zich evengoed te reorganiseren en de plicht op zich te nemen om zelf "richting te geven" aan de maatschappij.¹ Het was een prangende kwestie, die Zernike hier aansneed, al was het maar omdat ook na het antwoord de vraag blijft hangen wie nu eigenlijk precies de "belanghebbenden" waren in de voorgestelde hervormingen. Was dat de samenleving, die inderdaad in veel gevallen niet zelf om de zegeningen van het wetenschappelijk onderzoek had gevraagd? Of waren dat de universitairers, die zich weliswaar niet allemaal in *Hooge School en Maatschappij* konden vinden, maar die in veel andere gevallen wel degelijk het voortouw hadden genomen in het slaan van een brug van wetenschap naar maatschappij - denk bijvoorbeeld aan het academische initiatief tot de oprichting van de Commissie Lorentz en de latere voorbereiding van TNO. Wat bewoog universitaire onderzoekers in dit streven waarvan uiteindelijk toch vooral de samenleving zou moeten profiteren? Was het zuiver idealisme, bezat men een soort wetenschappelijk plichtsbef, of was er sprake van een welbegrepen eigenbelang? Die vragen zullen in deze slotbeschouwing aan de orde komen en het antwoord zal - vanzelfsprekend aan het eind van dit proefschrift - in eerste instantie in Kruyts activiteiten gezocht worden. Daarna volgt een kort vergelijk met enkele geestverwante en andersdenkende tijdgenoten.

Een eerste antwoord op de vraag naar de drijfveer van Kruyts maatschappelijke streven zijn we tegengekomen in paragraaf 1 van hoofdstuk 5. Daar is immers de essentiële samenhang naar voren gekomen tussen Kruyts ideeën over de maatschappelijke waarde van wetenschappelijk onderzoek en zijn eigen manier om onderzoek te bedrijven. Vooral in de doelstelling bestond er overeenkomst, want Kruyt geloofde dat de "algemeene theorie" die zijn soort onderzoek trachtte op te bouwen, tegelijk zowel

1. H.R. Kruyt, "Universiteit en Maatschappij", lezing aan de universiteit van Groningen gevolgd door discussie, *CW* 29 (1932) 206-207.

van puur wetenschappelijk interesse als van meer praktisch belang was. Hoe algemener immers de inzichten, des te ruimer hun toepasbaarheid, en hoe algemener de methoden waarmee ze verkregen waren, des te breder konden de studenten die zich erin hadden bekwaamd in de samenleving worden ingezet. Dit idee van een samengaan van wetenschappelijke en maatschappelijke belangen vinden we in vrijwel ongewijzigde vorm terug in Kruyts beeld van zuiver en toegepast wetenschappelijk onderzoek. Ook daarin gold dat hetgeen voor de eerste soort onderzoek interessant was, automatisch via de tweede categorie zijn maatschappelijke waarde kreeg. Zoals gezegd sloot het tweespan van TNO en ZWO naadloos aan bij de door Kruyt gekoesterde voorstelling.

Toch geeft deze overweging nog geen afdoende antwoord. Want als Kruyts opvattingen over de maatschappelijke betekenis van onderzoek voortkwamen uit zijn eigen manier om onderzoek te bedrijven, dan zou de volgende vraag logischerwijze moeten luiden waar die manier van onderzoeken dan vandaan kwam. Daarop zouden we weer kunnen wijzen naar hetgeen hij zich eigen had gemaakt in de leerschool van Bakhuis Roozeboom, maar een dergelijk antwoord zou als vanzelf weer leiden tot een volgende en soortgelijke vraag. Het succes van de speurtocht blijft beperkt, niet omdat we op onwaarheden of onzekerheden stuiten, maar omdat het antwoord steeds refereert aan de samenhang van Kruyts activiteiten, terwijl we op zoek waren naar de drijfveren erachter. Dat zijn wetenschappelijke en zijn maatschappelijke inspanningen twee uitingen vormden van hetzelfde streven geeft geen antwoord op de vraag waarom, maar maakt die alleen maar pragender.

Wellicht een betere manier om iets te kunnen zeggen over de drijfveren achter Kruyts activiteiten is door zijn optreden te vergelijken met dat van enkele tijdgenoten die op dezelfde fronten actief waren. Een aantal daarvan zijn we al tegengekomen - zoals Ornstein, Went en De Vooys - en over enkele andere relevante figuren zijn in de literatuur interessante studies verschenen. Het is goed om hun opvattingen over de rol die wetenschappelijk onderzoek in de samenleving zou moeten spelen, hier kort naast die van Kruyt te zetten. Om met de botanicus Went te beginnen: hij trachtte, zoals we gezien hebben, net als Kruyt een brug te slaan tussen wetenschap en praktijk, en het valt op dat zijn voorstelling van de gewenste verhouding daartussen ook sterk met die van Kruyt overeenkwam. Went legde steeds de nadruk op het noodzakelijk voorafgaan van zuivere wetenschap aan elke praktische toepassing en hij ging daarin zelfs zover (verder dan Kruyt) dat hij de 'praktijkmensen', in zijn geval suikerplanters, adviseerde *zelf* fundamenteel onderzoek te ondernemen. Later, in de naar hem genoemde Commissie, zou Went ook ruimte laten voor toegepast onderzoek, maar welke van de twee activiteiten hij het meest essentieel en waardevol achtte, daarover liet hij ook toen weinig onduidelijkheid bestaan.²

Een dergelijke opvatting van een zuivere wetenschap die steeds een voorwaarde vormt voor maatschappelijke verbetering, is eveneens geconstateerd bij een aantal collega's en leermeesters van Went. Theunissen heeft recentelijk gewezen op het belang ervan in de activiteiten van Martinus Beijerinck en vooral in die van Hugo de Vries. In een onlangs verschenen themanummer van *Gewina*, getiteld "Zuivere Wetenschap en Praktisch Nut", komt de wijde verbreidheid van die voorstelling nog eens extra naar vo-

2. Zie Wim van der Schoor, "Biologie en Landbouw. F.A.F.C. Went en de Indische Proefstations", *Gewina* 17 (1994) 145-161.

ren.³ Een figuur die in dat nummer niet behandeld wordt maar die in elk geval qua leeftijd dichter bij Kruyt stond dan Went, De Vries en Beijerinck, is de bacteriologie-hoogleraar A.J. Kluyver. Uit een recente studie van Amsterdamska blijkt dat Kluyver ook in zijn opvattingen en manier van werken zeer nauw aan Kruyt verwant was. Hij richtte zijn onderzoek eveneens expliciet op het opbouwen van een algemene theorie (in zijn geval op het gebied van de stofwisseling in microben), hij trachtte dat doel evenzo te bereiken door zijn leerlingen aan specifieke voorbeeld-systemen te laten werken, en hij probeerde, net als Kruyt, industriëlen ervan te overtuigen dat dit precies het soort onderzoek was waarvan zij uiteindelijk het meeste zouden profiteren. Want ook Kluyver bewerkstelligde nauwe contacten met de industrie en ook in zijn geval leidde dat niet tot het aannemen van op de praktijk gerichte onderzoeksopdrachten. Net als Kruyt hield Kluyver vast aan een strikte scheiding en verdeling van wetenschappelijke arbeid. En net als Kruyt lukte het Kluyver om ondanks die scheiding veel van zijn studenten aan een betrekking in de industrie te helpen - steeds onder zijn uitdrukkelijke verzekering, dat hun opleiding in de zuivere wetenschap hen *juist* geschikt maakte voor het verrichten van onderzoek in de praktijk.⁴

Naast tijdgenoten met overeenkomstige opvattingen waren er natuurlijk ook velen die anders te werk gingen dan Kruyt. We hebben daarvan reeds een voorbeeld gezien in de Utrechtse fysicus L.S. Ornstein (hoofdstuk 5, paragraaf 5), maar zoals gezegd lijkt diens werkwijze vrij uitzonderlijk voor een academicus: er is geen enkel voorbeeld bekend van iemand die op zulke grote schaal toegepast onderzoek liet verrichten in een universitair laboratorium als Ornstein. Toch zijn we ook bij anderen ideeën tegengekomen over de manier waarop wetenschappelijk onderzoek ten nutte gemaakt zou moeten worden aan de samenleving - ideeën, die op weer andere punten afweken van die van Kruyt. Denk bijvoorbeeld aan de plannen die in 1920 gepresenteerd werden door de Delftse hoogleraar en industrieel Isaac P. de Vooys (hoofdstuk 5, paragraaf 7). In diens advies aan de regering, dat later zou leiden tot de oprichting van de Commissie Went, werd helemaal geen combinatie van zuiver en toegepast onderzoek voorgesteld, laat staan een hiërarchische verhouding van die twee. De Vooys presenteerde een *driedeling*, in "techniek", "technische wetenschap" en "zuivere wetenschap", en hij stelde daarbij de middelste categorie op het hoogste plan. Niet het noodzakelijk voorafgaan van de zuivere wetenschap stond bij hem centraal, maar de essentiële brugfunctie die haar technische tegenhanger vervulde. Technisch-wetenschappelijk onderzoek werd aan de Technische Hoogeschool in Delft bedreven: dáár had de samenleving behoefte aan en dát moest de regering volgens De Vooys extra stimuleren.

Een weer andere voorstelling van zaken hebben we gezien in de visie van de ingenieur en industrieel Van Nieuwenburg (hoofdstuk 5, paragraaf 7). Hij

3. Bert Theunissen, "Het Nut van Autonomie. Een andere kijk op M.W. Beijerincks microbiologie", *Gewina* 17 (1994) 191-205 en "Knowledge is Power: Hugo de Vries on science, heredity and social progress", *British Journal for the History of Science* 27 (1994) 291-311. Hoewel in sommige opzichten vergelijkbaar waren De Vries en Beijerinck wel een generatie eerder actief dan Kruyt. Bert Theunissen en Frans van Lunteren (eds.), "Zuivere Wetenschap en Praktisch Nut. Visies op de maatschappelijke betekenis van wetenschappelijk onderzoek rond 1900", *Gewina* 17 (1994) 141-205.

4. Olga Amsterdamska, "Beneficent Microbes: the Delft School of Microbiology and its Industrial Connections" in: Pieter Bos en Bert Theunissen (eds.), *Beijerinck and the Delft School of Microbiology* (Delft, 1995) 193-214.

beargumenteerde in zijn betoog van 1919, dat er tussen de academische wetenschap en de maatschappelijke praktijk überhaupt geen enkel verband bestond, of althans dat zo'n verband niet gezocht of bevorderd diende te worden. Volgens Van Nieuwenburg begrepen academici niets van de behoeften van de industrie, een opvatting die we al eerder tegenkwamen bij industriëlen als Wigersma en Van Hasselt (hoofdstuk 5, paragraaf 3). Later als Delfts hoogleraar nuanceerde Van Nieuwenburg zijn standpunten enigszins, maar hij bleef volhouden dat de maatschappelijke praktijk in elk geval met de *universitaire* wetenschap niets te maken had. Dat hoorde volgens hem ook zo te zijn, en in die opvatting lag de reden waarom hij zich verzette tegen Kruyts oproep in *Hooge School en Maatschappij* om de universiteiten zich meer op de samenleving te laten richten. Praktijk en techniek waren voor Van Nieuwenburg in de eerste plaats zaken voor industrie en TH.⁵

We kunnen in het bestek van deze slotbeschouwing natuurlijk niet alle bestaande opvattingen over de verhouding tussen wetenschappelijk onderzoek en maatschappelijke praktijk nalopen. En zelfs al zou er de ruimte voor zijn, dan nog was het onmogelijk omdat er eenvoudigweg nog onvoldoende bekend is over de Nederlandse wetenschap en haar beoefenaren tijdens het interbellum. Maar uit het bovenstaande overzichtje kunnen we al wel enkele voorzichtige conclusies trekken die uiteindelijk op de achtergrond van Kruyts streven ook enig licht werpen. Wat namelijk opvalt wanneer we de genoemde wetenschappers vergelijken, is dat het beeld van een nuttige zuivere wetenschap - of specifieker: van een combinatie van zuivere en toegepaste wetenschap - een typisch universitaire voorstelling van zaken is. Bij industriëlen en Delftse technologen, zoals De Vooy, Van Nieuwenburg, Wigersma en Van Hasselt, komen we haar niet tegen. En bij van de universiteit afkomstige hoogleraren, zoals De Vries, Beijerinck, Went en Kruyt treffen we het beeld juist steeds wel - bij de laatste (en jongste) van hen zelfs in de uitgewerkte vorm van zuiver en toegepast onderzoek. Kluyver zou in dit rijtje overigens een uitzondering vormen, want ondanks dat zijn visie bij die van de laatstgenoemden aansloot was hij wel degelijk een Delfts hoogleraar. Maar wanneer we in ogenschouw nemen dat hij een in zijn tijd zeer praktisch vak als de bacteriologie 'wetenschappelijk' probeerde te maken, dan kunnen we ons in elk geval voorstellen dat hij er 'universitaire' opvattingen op na hield.⁶

Waarom was de voorstelling van zuiver wetenschappelijk onderzoek en toegepast wetenschappelijk onderzoek nu zo favoriet, juist onder universiteiten? Een voorlopig antwoord op die vraag zijn we al even tegengekomen bij de bespreking van de verwickelingen in de Commissie Went, waarvan de voorzitter er op aandrong dat De Vooy's beeld van een technische wetenschap vervangen zou worden door een schema van zuiver en toegepast (hoofdstuk 5, paragraaf 7). Het voordeel van die voorstelling voor universiteiten was niet slechts dat 'hun' zuivere wetenschap erin vóórkam, maar

5. Zie Van Nieuwenburgs commentaar op Kruyts toespraak "Hooge School en Maatschappij" op 15 maart 1932 in Delft, CW 29 (1932) 239.

6. Over het gebruik van de tegenstelling zuiver/toegepast in andere contexten, zie Robert Bud en Gerrilynn K. Roberts, *Science versus Practice. Chemistry in Victorian Britain* (Manchester, 1984), m.n. 69-95; Christoph Meinel, "Theory or Practice? The eighteenth-century debate on the scientific status of chemistry", *Ambix* 20 (1983) 121-133; en Bernadette Bensaude-Vincent, "Une ou Deux Chimies? 'Pur' et 'appliqué' en version française", *Culture Technique* no. 23 (1991) 16-31.

ook dat de uiteindelijke praktische waarde daarvan werd gegarandeerd zonder dat het onderzoek zich werkelijk op praktische vraagstukken hoefde te gaan richten. Door de combinatie van zuiver en toegepast kon de vrijheid van de universitaire wetenschappers onverkort worden gehandhaafd terwijl het maatschappelijk nut van hun werk zou komen vast te staan. De gekoesterde voorstelling van de twee soorten onderzoek bood de universitaireren behoud van hun autonomie plus de erkenning van hun betekenis voor de samenleving. Zo beschouwd is het geen wonder dat het beeld juist door hen werd omarmd en uitgedragen.

Met dit inzicht wordt het ook duidelijk wat de voornaamste drijfveer was achter de activiteiten van Kruyt en de zijnen. Want de reden waarom de universitaireren zich zo inspanden om de voorstelling van zuivere en toegepaste wetenschap aan de man te brengen en haar als organisatievorm daadwerkelijk te realiseren, is dat de combinatie van die twee hun voordelen bood die ze tot dan toe hadden moeten ontberen. De autonomie in het onderzoek was reeds lang een verworvenheid; sinds de universiteit in 1876 een ware onderzoeksinstelling was geworden, was ook de zelfstandigheid van de hoogleraren in het leiden van de laboratoriumwerkzaamheden een feit. Waar het echter nog altijd aan ontbrak, was een substantiële erkenning voor de maatschappelijke waarde van het wetenschappelijke onderzoek. Nog jaren na de hoger-onderwijshervorming werden er vraagtekens gezet bij het nut en rendement van de dure universiteiten. Invloedrijke Tweede-Kamerleden drongen er regelmatig op aan dat de kostbare reorganisatie gecompenseerd zou worden door de sluiting van een of meer universiteiten. In hoofdstuk 5 hebben we bovendien gezien hoe beperkt de maatschappelijke betekenis van universitaire onderzoek werkelijk was rond 1910. Van toepassing van resultaten kon men nauwelijks spreken en ook de inzetbaarheid van de studenten, die waren opgeleid in het verrichten van onderzoek, was niet zeer breed ontwikkeld. Dát was wat de verschillende universitaireren probeerden te veranderen en dat was ook wat Kruyt beoogde te verbeteren. Dat hij daarin succes had, vertelt ons iets over de toestand van de wetenschap aan het eind van het interbellum: een sterk uitgebreide arbeidsmarkt voor universitaire chemici en een inbedding van het academisch onderzoek in de samenleving via TNO en ZWO. Dat Kruyt echter aan zijn activiteiten begon, laat iets zien van de aanmerkelijk kwetsbaarder situatie waarin de wetenschap zich rond de eeuwwisseling bevond. Op het onbetwiste hoogtepunt van de Tweede Gouden Eeuw was de maatschappelijke betekenis van wetenschappelijk onderzoek in feite nog zeer gering, en het was Kruyts levenslange streven om daar verandering in te brengen.



Summary

"Scientific Research and the Common Good". The Chemistry of H.R. Kruyt (1882-1959)

In the last quarter of the nineteenth century Dutch science entered an era sometimes referred to as its Second Golden Age (the first one being the seventeenth century). Physicists like Van der Waals and Lorentz, biologists like Hugo de Vries and chemists such as J.H. van 't Hoff made contributions to their fields which earned the highest international esteem. Historians of science in the Netherlands have recognized these accomplishments and given them considerable attention. They have, among other things, tried to examine what caused the sudden efflorescence, pointing at the educational reform of 1876 as one of the major facilitating factors. This reorganization not only provided the new laboratories, staff and funding that enabled the achievements, but more generally placed systematic research at the core of university activity and thus created a new generation of fully professionalized research scientists.

The era following the Second Golden Age has received much less historical attention, even though Dutch science continued to be highly valued up to the Second World War. The few studies that do exist, however, suggest some novel developments as well. In the first place, the inter-war period seems characterized by an unprecedented growth of the scale on which science was undertaken, replacing the investigations of individuals with those of sizable research schools. Secondly, the role of scientific research in Dutch society seems to have undergone important changes, culminating in the establishment, around World War II, of two national institutes for the organization of science in the Netherlands (literally named Pure Scientific Research and Applied Scientific Research). Although these two developments have been noted, much remains unclear about them, for example how they related to each other and in what way they shaped the transition from the Second Golden Age to postwar Big Science.

This dissertation aims to contribute to the understanding of Dutch science in the inter-war period, and it does so by examining the activities of one of its most influential representatives: the chemist Hugo Rudolph Kruyt (1882-1959). Between the wars, Kruyt became a central figure in the scientific community of the Netherlands, and his work clearly reflects both of the characteristics indicated above: first, he was the founder and leader of a large and expanding research school, in the then promising field of colloid chemistry; and second, he was a widely-known advocate for a strong role of science in

society, who was instrumental in the establishment of both the Pure and the Applied Scientific Research organizations. Since the furthering of research lay at the heart of both of these activities, the study of Kruyt's endeavors is undertaken as a history of research rather than as a history of ideas. Apart from being more appropriate to the type of contributions that Kruyt made, this approach also makes it better possible to connect his efforts in the laboratory to those outside of it. Since both his direction of investigations and his pleas for the significance of science entailed the organization and justification of research, they can be seen as two aspects of one goal-oriented program.

While questions concerning Kruyt's development as a practitioner and advocate of scientific research provide the thread of the entire exposition, the dissertation is divided into five chapters. Chapters 1 through 3 outline Kruyt's training, institutional basis and research area, respectively, and prepare the ground for the more extensive discussion, in Chapters 4 and 5, of his most important activities: the construction of an expanding research program and his endeavors to promote the role of science in society. A concluding section ties both efforts together and investigates the particular aims of Kruyt's undertaking by comparing it with similar actions of some contemporaries.

Chapter 1 discusses Kruyt's education as a student in Amsterdam under the charismatic chemistry professor H.W. Bakhuis Roozeboom. Replacing Van 't Hoff after his departure for Berlin in 1896, Roozeboom built up a highly influential research school. Twenty years after his death in 1907, practically all chairs in physical chemistry in the country were taken by his pupils or former collaborators. Because of this exclusive influence, the area that Roozeboom developed - phase rule chemistry - became a predominantly Dutch science, and was acknowledged as such in the Netherlands as well as abroad. It would shape the ways of thinking and the research attitudes of the generation of physical chemists to come, even if they later abandoned the field in its strict definition.

In Roozeboom's hands, the phase rule not only constituted the area of knowledge pertaining to heterogeneous chemical equilibria, it also opened up a field of investigation. The guiding framework of his research program was what he called "the edifice" of phase rule chemistry. This "building" was in fact a classification scheme of all possible chemical systems, the structure of which could be derived from thermodynamical considerations (the phase rule determined what sorts of chemical behavior could exist, given a number of components). Roozeboom's aim in the laboratory was to connect every theoretical possibility to a real observation of that particular type of chemical system. His strategy to accomplish this was to deduce the expected form of behavior from the theory, select an "example system" that would be likely to display it, and have his students confirm the predictions experimentally. In the course of his professorship, this procedure "filled in" many "rooms" of the building and thus "raised the edifice" from its plan.

Roozeboom's students, and especially Kruyt, took many lessons from their training. First, they learned phase rule chemistry as a body of knowledge that they often continued to teach themselves, even if they left the field as a research area. Second, they came to regard equilibrium conditions as central to the understanding of chemical systems and phenomena. Third, they took a pre-existing theoretical framework as indispensable for the practice of research. Such a framework did not need to be fully certain and established, but on the contrary should contain the 'gaps' that invited

further investigation, the outcomes of which would in turn contribute to its perfection. Theory, in order words, provided both the starting point and the ends of all experimentation, and Roozeboom's students frequently evoked this feature to distinguish their work from the mere gathering of facts. As a true band of dedicated followers of Roozeboom, they felt part of an elevated intellectual undertaking.

Kruyt's general background having thus been pointed out, the specific path that led him to his eventual research position is described in the more biographical **Chapter 2**. One event that particularly determined his way was a major controversy that arose after the sudden death of Roozeboom in 1907. Roozeboom's students at that moment - Kruyt among them - had great difficulties with his intended successor, A. Smits, and they voiced their objections in pamphlets and public protests that (backed by Van 't Hoff) made it to City Hall. Although the thrust of their complaints is hard to uncover, it seems that their main problem was with Smits' personality and his conduct in matters of science, which they regarded as far inferior to that of his predecessor. Roozeboom's students saw themselves as guardians of their master's heritage and they wanted to preserve the sort and style of research which they had learned and had come to value.

After the chair was given to Smits despite all the protests, Kruyt decided to leave his position and go to the University of Utrecht, where he would soon complete his PhD with Ernst Cohen. This move turned out to be a rather fortunate one, for Utrecht soon took over as the leading institute in physical chemistry in the country. This shift had been partly effected by the construction of the Van 't Hoff laboratory in 1904, which was one of the world's best labs in the field. Cohen had designed it himself and had put all of the expenses that normally went to an aesthetic exterior toward furnishings and instrumentation. He considered himself a master of precise experimentation and was very generous in providing facilities for this purpose. Cohen's support was equally crucial to the career of Kruyt, who would rapidly rise in academic position. Eight years after his arrival in Utrecht, he had his own floor in the Van 't Hoff lab plus a new professorship beside Cohen. By that time he had also left the beloved field of phase rule chemistry (which he considered finished) and started to work on a completely new research area called colloid chemistry.

Chapter 3 outlines the state and identity of colloid chemistry - the field in which Kruyt would build his influential research school - by the time he entered it around 1910. It traces its prehistory from the work of Thomas Graham, who first coined the term "colloid" in 1861, to the variety of interests in colloids that had emerged by the turn of the century. The loose definition of what was colloidal - any structure about the size of a protein particle - made the concept applicable to a host of materials, many of which (rubber, cellulose, proteins) were highly significant for industry and medicine. Since existing chemical approaches seemed unsuccessful in these areas, the colloid concept was used to draw the various interests together into a united and autonomous research field. Special journals, laboratories, chairs and professional organizations were soon established to give colloid chemistry its own place on the map of science. This rapid and successful institutionalization reflected the enormous confidence in the potential of the new discipline. The relevance of the field was further acknowledged by at least three Nobel Prizes awarded to colloid work.

Current historiography has pictured colloid chemistry from the perspective of the

disciplines that later (to some extent) supplanted it, in particular polymer chemistry and molecular biology. More specifically, some historians have reduced the entire field to a mere "aggregate theory", the 'erroneous' precursor of the concept of macromolecules which is central to these later fields. Whereas this reduction is objectionable in many ways, its main flaw is that it hides the wide variety of interests and approaches that were actually present within colloid chemistry. Two of those are recovered in this chapter: the 'classical' chemistry of Jacques Duclaux and others, which tried to explain the behavior of colloids from their complex molecular constitution, and the physical-chemical approaches of Wolfgang Ostwald and Herbert Freundlich, which emphasized the dispersity of colloids and the particles' surface phenomena. For the latter, colloid chemistry was part of a more general *Kapillarchemie*, that also studied the properties of macroscopic surfaces.

Kruyt was drawn to colloid chemistry after reading Ostwald and Freundlich's new textbooks in 1910. Before that, however, the subject had already been much discussed and even practiced in the Netherlands. J.M. van Bemmelen had pioneered the field in a series of ground-breaking experiments, Kruyt's teachers Roozeboom and Lobry de Bruyn had engaged in a vigorous debate on the number of phases in colloids, and H.W. Woudstra had more recently performed extensive investigations. None of this work would yet attract Kruyt to the new field, however, since all of it lacked what he had learned to be the essential prerequisite of research in general: an overarching, but not yet perfect theory, in this case of colloid behavior. He did find such a theory in the books of Ostwald and Freundlich and with this condition fulfilled, he was ready to embark on his own investigative program.

Chapter 4 offers an extensive analysis of the ways in which Kruyt shaped his large and expanding research program. By the time he left his chair in 1946, he had published hundreds of articles and trained 62 PhD students, of whom at least 8 would become professors themselves and start to build their own subsequent research centers. Others would move to important industrial positions and thus Kruyt's "Utrecht School" developed into a prime source of influential chemists in the Netherlands. In the course of the chapter, the work of the most significant of these pupils (Van Arkel, Bungenberg de Jong, Tendeloo, Verwey, Overbeek) is discussed. While the overall aim is analytical, the order of presentation of the research program is chronological: a sequence of episodes in the laboratory is used to illustrate Kruyt's particular way of planning and leading large-scale research.

The earliest work was still quite small-scale, however, and Kruyt's emphases in carrying it out reflected his education by Roozeboom. Just as in phase rule chemistry (and unlike in most colloid chemistry), Kruyt took the stability conditions of colloidal systems as the guiding problem of his investigations. An overarching theory, employed as the starting point for the research, was taken from Freundlich with whom he had spent a summer internship in 1912. Kruyt's own early investigations focussed on some 'gaps' in this theory, which he managed to 'fill up' in order to complete its perfection. Further work not merely confirmed the existing theory, but rather expanded it with a new set of kinetic considerations. The particular sort of theory that Kruyt aimed at is demonstrated by his reactions on the work of two of his most gifted students: A.E. van Arkel and H.G. Bungenberg de Jong, both future Leiden professors. While Van Arkel derived an exact mathematical framework from the work of Perrin and Smoluchovski,

which he subsequently tested and partially rejected, De Jong devised a more qualitative picture in which, for the first time, all sorts of colloids could be understood. Kruyt preferred the latter achievement over Van Arkel's 'testings', for those left him with either a fully confirmed theory or with no theory at all, and both cases made further research (in Kruyt's way) impossible.

In contrast, Bungenberg de Jong's results served as the springboard for a whole new set of investigations. His explanation of colloid stability, based on the charge and hydration of the particles, was used to build up a completed all-embracing theory of colloid behavior. After a series of students had filled in the remaining 'gaps' for all types of colloids (proteins, carbohydrates, rubber, etc.) by experimental confirmation, Kruyt proudly presented this theory in a new textbook and in his keynote address at the 1927 American National Colloid Symposium, entitled "Unity in the Theory of Colloids". The enthusiasm was great, particularly since this work was supposed to counter Jacques Loeb's recent attacks on colloid chemistry as a whole. Nevertheless, after a few years of continued investigation into the foundations of the theory, it became apparent that especially the view of an adsorbed charge on colloidal particles was too simple and could not be maintained after all.

Kruyt's response to this "crisis" around 1930 was to start a new program of research conducted in the old fashion. To do so, he took a new starting-point theory (based on Gouy's treatment of the electrical double layer), a new set of model systems, and the old guiding question: what causes the stability of colloids? The example systems were very carefully selected this time: Kruyt needed as simple and clean a colloid as possible in order to provide the most generalizable answers, and he came up with silver halides as his "ideal model colloids". Thus newly prepared, he and his Utrecht School managed to build up a completely new theory of colloid behavior, that was as general and overarching as the former one. It was also much more complicated, however, and the refinement of the picture of the electrical double layer became a project that continued until the end of Kruyt's professorship and involved a large number of collaborators.

Because of the ongoing growth of his school, Kruyt's role as a research leader changed considerably over the years. Instead of participating in the experimentation himself, he became more and more of a background figure, who left the daily guidance of the students to his assistants. Kruyt's main role in the program became to establish and guard the "grand trend" in the individual investigations, a task that was well suited to his already existing emphasis on general theory. He performed a similar role in international conferences and at the many Dutch colloid symposia that were organized in the 30s, where Kruyt was often invited to give a "general introduction" that would tie together the various contributions. Although this function enabled him to stay involved in the construction of a general theory of colloid behavior, the involvement was undeniably more passive than before. Kruyt was forced to yield control over some important new developments, such as the emergence of polymer interpretations and the 'definitive' resolution of the stability problem by his former students Verwey and Overbeek. He finally solved this problem by bringing together all contributors to these new trends and compile a comprehensive treatise for which, once more, he himself wrote the "General Introduction". The resulting two volumes called *Colloid Science* (1959-1952), that became a standard reference for the decades to come, thus form a perfect reflection of Kruyt's changed role as a leader of an expanding research school.

The chapter ends with a brief review of the way in which Kruyt directed his research

program. Three main characteristics of his practice are identified: the use of an overall theory with 'gaps' as a starting point of inquiry, the employment of selected model systems as a means to fill in the gaps through specific investigations, and the adoption of a "general theory" (a qualitative, non-mathematical picture) as the final and determining aim of the research as a whole.

Chapter 5 discusses Kruyt's efforts to promote a stronger role for scientific research in Dutch society and the channels he employed to communicate his message. The chapter opens with a brief analysis of Kruyt's representation of the role of science and how this picture was connected to his own particular way of doing research. According to Kruyt, the construction of a general theory in the sense described in Chapter 4 was not only an intellectual objective and a goal in itself (the aim of a true "pure science") but also an endeavor from which the wider society would profit most. In order to sustain this claim, Kruyt framed an opposition between a "general understanding" that was truly scientific and applicable to a variety of practically important cases, and "factual knowledge" that was the result of mere "experience" and had an intrinsically limited scope. General understanding, Kruyt argued, would in the end be most valuable to industry, agriculture, medicine, and so on, just as students trained in establishing general theories (such as his own) were the most versatile employees. This picture of a useful pure science enabled Kruyt to claim enormous practical value of academic research without having to subject its practice to the specific needs of society.

That Kruyt would become so active in the politics of science stemmed in part from the socialist orientation which he had taken on since he was a student. In his college days, a wave of social consciousness had washed over the Dutch universities and created a generation of academics who took strong non-elitist stances with respect to their education and working life. As an active participant in this movement, Kruyt believed in the necessary autonomy of university research, but was at the same time actively concerned with its functioning in the wider society. In 1931 he caused a nation-wide debate by calling for a drastic reorganization of higher education, that should remove its "medieval" learned isolation and make the universities the most central institutions of society. And earlier, as a president of the Dutch Chemical Society, he started a large campaign for "Cooperation between Science and Industry in the Netherlands". The precise sort of cooperation at which Kruyt aimed is clearly demonstrated by his actions as a consultant to a variety of industries. In his view, collaboration should always embody a certain distribution of labor, with the universities having the task of providing general insights and industrial research labs applying those insights to practical cases. Since most Dutch firms did not yet have such laboratories by the start of the inter-war period, the form of cooperation which Kruyt proposed implied a call to establish those facilities (and staff them with his own students). In his own lab, Kruyt consistently maintained the same division of labor by refusing to accept any practical industrial assignments and by always practicing research that could be presented as 'pure', but 'applicable'.

Kruyt's most important endeavors to promote the role of science in society are his contributions to the establishment of the two national organizations called Pure Scientific Research (1950) and Applied Scientific Research (1931). The latter institute was a late result of the First World War, when the Dutch Academy of Sciences convinced the government that an expansion of scientific research could alleviate the pressures of

economic isolation, just as it did in Great-Britain, Germany and the U.S. After the war, some industrialists objected to the academicians' monopoly on practically oriented investigations (and their resulting uselessness) and proposed the establishment of state-sponsored research laboratories, directed only by representatives of 'practice'. These opposing views were soon joined by still different ones from the government and the Delft Polytechnic, and Kruyt got involved in the extensive negotiations required to find a compromise solution. The form of research organization that finally emerged from these debates was very much in line with what academics like Kruyt had had in mind: an institute called Applied Scientific Research, that was to carry out investigations that took the results of university research and made them valuable to society. Kruyt was later asked to draw the plan for the alleged 'sister organization' called Pure Scientific Research, which arose after the Second World War and was to sponsor university science on a larger scale than ever before.

A final section in Chapter 5 indicates the success Kruyt experienced from his endeavors. Although he was of course not the only force bringing about the changes, he certainly saw the relevant developments go in his preferred direction. For example, the industrial employment rate of university chemists rose from 8% in 1908 to almost 50% by 1938. Over the same period, Kruyt's own school produced even better figures. Moreover, the practical usefulness of the results of academic science would not only be acknowledged but even be literally institutionalized in the organizations Pure and Applied Scientific Research. The dual scheme of pure and applied science fit exactly the distribution of labor that Kruyt had tried so hard to establish. By the end of his professional life, Kruyt could look back to a mission accomplished.

The concluding section of the dissertation addresses the question why. Why did Kruyt spend so much effort in attempting to make scientific research valuable for the wider society? It has already become clear that his views of the social significance of science were intimately connected with the particular way in which he conducted his own research: the "general theory" built up in his program was supposed to form the starting point for a host of subsequent "applications". Nevertheless, the fact that Kruyt's research practice and his campaign for application were two parts of the same undertaking does not answer the question of what motivated his endeavors but only makes it more pressing. In order to identify what was the driving force, Kruyt's views are compared with the different ideas on the role of science in society that some of his contemporaries aimed to realize.

Reviewing the opinions on how research should be organized in order to meet practical needs makes it apparent that the dual organization of pure and applied science was to a large extent a university scientists' projection. Representatives of the Polytechnic typically favored a three-fold scheme in which their own "technological science" formed the essential link between pure science and society. Industrialists often voiced still different opinions and demanded a complete separation of practical research from academia. The reason why the pure/applied scheme was favorite among university scientists is that it provided them with two major benefits. First, it made (their) pure research a crucial precondition for any application, and arguably for all material progress; second, it did so without the requirement that 'pure scientists' needed to make any adaptation - they retained unrestricted autonomy. University scientists would maintain complete control over the course of their research while the utility (and thus

necessity) of that research would be formally guaranteed.

Of those two benefits, academic autonomy in research had already been well-established since the educational reforms of 1876 and the subsequent Second Golden Age of Dutch science. But the practical usefulness of university research was certainly not generally acknowledged. Around the turn of the century, it was in fact not very obvious that academic science led to any demonstrable material benefit and the state's need to sponsor the research university was frequently questioned. It was this circumstance which university scientists like Kruyt tried to alter, and in these attempts they were very successful. After the Second World War, scientific research came to be regarded as crucial to the prosperity of the nation and the establishment of the Pure and Applied Scientific Research organizations indeed institutionalized this vital role. Kruyt's efforts to connect autonomous university research to the practical needs of society were instrumental in this development, and his life-long endeavors thus mark the transition from Second Golden Age to Big Science in the Netherlands.

Bronnen en Literatuur

Verklaring der Afkortingen

<i>CW</i>	Chemisch Weekblad.
<i>KZ</i>	Kolloid-Zeitschrift.
<i>NNGC</i>	Handelingen van het Nederlandsch Natuur- en Geneeskundig Congres.
<i>NT</i>	Natuurwetenschappelijk Tijdschrift.
<i>Proc. KAW</i>	Proceedings of the Section of Sciences of the Koninklijke Akademie van Wetenschappen.
<i>PUG</i>	Verslag van het verhandelde in de Algemeene Vergadering van het Provinciaal Utrechtsch Genootschap van Kunsten en Wetenschappen.
<i>Rec.</i>	Recueil des Travaux Chimiques de Pays-Bas.
<i>TGGNWT</i>	Tijdschrift voor de Geschiedenis der Geneeskunde, Natuurwetenschappen, Wiskunde en Techniek.
<i>Versl. KAW</i>	Verslagen en Mededeelingen der Koninklijke Akademie van Wetenschappen.
<i>ZPC</i>	Zeitschrift für physikalische Chemie.

Geraadpleegde archieven

Universiteitsmuseum Utrecht:

- Stukken betreffende H.R. Kruyt.
- Stukken betreffende het Van 't Hoff-laboratorium.

Universiteitsarchief Utrecht:

- Archief van de Faculteit der Wis- en Natuurkunde van de Rijksuniversiteit Utrecht.

Rijksarchief provincie Utrecht, Utrecht:

- Archief van het College van Curatoren van de Rijksuniversiteit Utrecht.
- Archief Nederlandsche Christen-Studenten Vereeniging.

Gemeentearchief Amsterdam:

- Archief van de Faculteit der Wis- en Natuurkunde van de Universiteit van Amsterdam.
- Archief van het College van Curatoren van de Universiteit van Amsterdam.

- Archief Gemeenteraad Amsterdam.
- Archief Gemeente-Secretarie Afdeling Onderwijs.
- Persoonsregister.

Universiteitsmuseum De Agnietenkapel, Amsterdam:

- Archief SL.

Historisch Documentatiecentrum voor het Nederlands Protestantisme, Vrije Universiteit, Amsterdam:

- Archief Kuyper.

Rijksarchief provincie Noord-Holland, Haarlem:

- Archief KNAW.
- Archief Lorentz.

Archief B.E.E.T.S., Keizersgracht 323, Amsterdam.

Archief KNCV, Den Haag.

Nagelaten stukken Kruyt, mevr. J.M. Kruyt-Kramer, Utrecht

Interviews

J.Th.G. Overbeek, 4 november 1992 en 28 september 1994.

J.A.W. van Laar, 14 oktober 1994.

Mevr. J.M. Kruyt-Kramer, 11 december 1992 en 24 februari 1993.

Izaak M. Kolthoff door George D. Tselos, 15 maart 1984; transcript: Oral History Series no. 0027, Chemical Heritage Foundation, Philadelphia, Verenigde Staten.

Gepubliceerde Bronnen

Een nagenoeg volledige bibliografie van Kruyts werk is verschenen in het *Chemisch Weekblad*, en wel in drie delen, die respectievelijk de tijdvakken tot 1933, tussen 1933 en 1946, en tussen 1946 en 1958 beslaan. Zie W.A.T. Cohen - de Meester, "Bibliografie H.R. Kruyt", *CW* 30 (1933) 451-457; F.W. Klaarenbeek, *ibid.* 42 (1946) 250-254; en J.Th.G. Overbeek, *ibid.* 54 (1958) 322-324. In deze bibliografie zijn niet opgenomen: de bundel *Adsorptie/De Gedaantewisseling van de Stof* (Den Haag, 1926), een ongeautoriseerde uitgave van twee cursussen gegeven door Kruyt en Cohen, alsmede de publikaties genoemd in Hoofdstuk 4, noot 1, 22, 42 en 51.

De vakgroep Fysische en Colloïdchemie van de Universiteit Utrecht beheert een collectie overdrukken van publikaties van in het Van 't Hoff-laboratorium verricht onderzoek, teruggaand tot het jaar van oprichting van dat lab, 1904. Het Instituut voor Geschiedenis der Natuurwetenschappen te Utrecht beschikt over een verzameling ingebonden overdrukken van publikaties van Ernst Cohen, gelardeerd met brieven en krantartikelen naar aanleiding van zijn activiteiten.

Secundaire Literatuur

- Al, J., *Research als Overheidstaak*, proefschrift Technische Hogeschool Delft (Delft, 1952).
- Allen, G., *Life Sciences in the Twentieth Century* (2e druk; Cambridge, 1981).
- Amsterdamska, O., "Beneficient Microbes: the Delft School of Microbiology and its Industrial Connections" in: Bos en Theunissen, *Beijerinck*, 193-214.
- Barnes, B. en D. MacKenzie, "Scientific Judgment: the biometry-Mendelism controversy" in: Barnes en Shapin, *Natural Order*, 191-210.
- Barnes, B. en S. Shapin, *Natural Order. Historical studies of scientific culture* (Beverly Hills, 1979).
- Bensaude-Vincent, B., "Une ou Deux Chimies? 'Pur' et 'appliqué' en version française", *Culture Technique* no. 23 (1991) 16-31.
- Bensaude-Vincent, B. en I. Stengers, *Histoire de la Chimie* (Parijs, 1993).
- Berg, A.J. van den, *De Nederlandse Christen-Studenten Vereniging 1896-1985*, proefschrift Vrije Universiteit Amsterdam ('s-Gravenhage, 1991).
- Berkel, K. van, *In het Voetspoor van Stevin. Geschiedenis van de natuurwetenschap in Nederland 1580-1940* (Meppel, 1985).
- Berkel, K. van, "Amerikanisering van de Nederlandse Universiteit? De Chemicus H.R. Kruyt over Hogeschool en Maatschappij", *TGGNWT* 12 (1989) 198-225.
- Bijl, H. van der, e.a. (eds.), *Geschiedenis van het Amsterdamsch Studentenleven 1632-1932* (Amsterdam, 1932).
- Bloemen, E.S.A., "Bezieling en 'esprit d'équipe'. Industriële research in Nederland in het interbellum" in: Boomgaard, *Exercities*, 153-167.
- Blom, J.C.H. e.a. (eds.), *Een Brandpunt van Geleerdheid in de Hoofdstad. De Universiteit van Amsterdam rond 1900 in vijftien portretten* (Amsterdam, 1992).
- Boomgaard, P. e.a. (eds.), *Exercities in ons Verleden. 12 opstellen over de economische en sociale geschiedenis van Nederland en koloniën 1800-1950* (Assen, 1981).
- Bos, P. en B. Theunissen (eds.), *Beijerinck and the Delft School of Microbiology* (Delft, 1995).
- Brock, W.H., *The Norton History of Chemistry* (New York, 1993).
- Brookman, F.H., *The Making of a Science Policy. A historical study of the institutional and conceptual background to dutch science policy in a west-european perspective*, proefschrift Vrije Universiteit Amsterdam (Amsterdam, 1979).
- Brugmans, H., J.H. Scholte en P. Kleintjes (eds.), *Gedenkboek van het Athenaeum en de Universiteit van Amsterdam, 1632-1932* (Amsterdam, 1932).
- Bruyn, P.L. de, J. Lyklema en A. Vrij (eds.), *Fifty Years Integration of Forces* (s.l., 1981).
- Buchwald, J.Z. (ed.), *Scientific Practice. Theories and Stories of Doing Physics* (Chicago, 1995).
- Bud, R. en G.K. Roberts, *Science versus Practice. Chemistry in Victorian Britain* (Manchester, 1984).
- Caljé, P.A.J., "'De omkeer in 't studentenleven': de pogingen tot hervorming van het studentenleven rond 1920", *Groniek* 25 (1992) 75-93.
- Charité, J. (ed.), *Biografisch Woordenboek van Nederland* (3dln.; 's-Gravenhage, 1979-1989).
- Charle, C. en Eva Telkès, *Les Professeurs du Collège de France. Dictionnaire Biographique 1901-1939* (Paris, 1988).

- Clarke, A.E. en J.H. Fujimura (eds.), *The Right Tools for the Job: at work in twentieth century life sciences* (Princeton, 1992).
- Cohen, E., "Hugo Rudolph Kruyt 1908-1933" in: *Hugo Rudolph Kruyt 1908-1933. Ter Herdenking van Zijn 25-Jarig Doctoraat* (Amsterdam, 1933) 2-47.
- Dolby, R.G.A., "The Emergence of a Specialty, a Case Study: Physical Chemistry" in: *Actes XIIIe Congrès International d'Histoire des Sciences* (12 dln.; Parijs, 1971) VI, 29-32.
- Ede, A.G., *Colloid Chemistry in North America. The Neglected Dimension*, proefschrift University of Toronto, microfilmuitgave (Ann Arbor, 1993).
- Ede, A.G., "When is a tool not a tool? Understanding the role of laboratory equipment in the early colloid chemistry laboratory", *Ambix* 40 (1993) 11-24.
- Ede, A.G., "Colloids and Quantification: The Ultracentrifuge and its Transformation of Colloid Chemistry", *Ambix* 43 (1996) 32-45.
- Elliott, J.E., "Instrumentation and Colloid Chemistry in Germany, 1900-1930" (ongepubliceerde lezing, Leipzig, 1988).
- Elliott, J.E., "Colloid Technology and Process Engineering in Germany" (ongepubliceerde lezing, Jeruzalem, mei 1990).
- Emmerik, E.P. van, *J.J. van Laar (1860-1938). A Mathematical Chemist*, proefschrift Technische Universiteit Delft (s.l., 1991).
- Fabius, A.N.J., *Geschiedenis van Bussum* (Schiedam, 1973).
- Florkin, M., *A History of Biochemistry* (Amsterdam etc., 1972; *Comprehensive Biochemistry*, dl. 30).
- Fockema Andreae, J.P. e.a. (eds.), *De Utrechtse Universiteit 1815-1936* (Utrecht, 1936).
- Fruton, J., *Molecules and Life. Historical essays on the interplay of chemistry and biology* (New York etc., 1972).
- Furukawa, Y., "Hermann Staudinger and the Emergence of the Macromolecular Concept", *Historia Scientiarum* 22 (1982) 1-18.
- Furukawa, Y., *Staudinger, Carothers, and the Emergence of Macromolecular Chemistry*, proefschrift University of Oklahoma, microfilmuitgave (Ann Arbor, 1983).
- Gillispie, C.C. (ed.), *Dictionary of Scientific Biography* (18 dln.; New York, 1970-1990).
- Glas, E., *Chemistry and Physiology in their Historical and Philosophical Relations*, proefschrift Rijksuniversiteit Utrecht (Delft, 1979).
- Golinski, J., "The Theory of Practice and the Practice of Theory", *Isis* 81 (1990) 492-505.
- Groen, M., *Het Wetenschappelijk Onderwijs in Nederland van 1815 tot 1980. Een onderwijskundig overzicht* (3dln.; Eindhoven, 1987-1989).
- Hacking, I., "Introduction" in: Buchwald, *Scientific Practice*.
- Hagendijk, R., *Het Studentenleven. Opkomst en verval van de traditionele studentenkultuur* (Amsterdam, 1980).
- Hakfoort, C., "Science Deified: Wilhelm Ostwald's Energeticist World-View and the History of Scientism", *Annals of Science* 49 (1992) 525-544.
- Heijmans, H.G., *Wetenschap tussen Universiteit en Industrie. De experimentele natuurkunde in Utrecht onder W.H. Julius en L.S. Ornstein 1896-1940*, proefschrift Rijksuniversiteit Utrecht (Rotterdam, 1994).
- Heijmans, H.G., "Wetenschap en Industrie. L.S. Ornsteins Opvattingen over Toegepaste Natuurkunde", *Gewina* 17 (1994) 177-190.
- Heller, W., *Herbert Freundlich. A Biographical Essay in Commemoration of His 100th Birthday* (Detroit, 1980).

- Hiebert, E.N., "The Energetics Controversy and the New Thermodynamics" in: Roller, *Perspectives*, 67-86.
- Hofmann, A.W. von, *Zur Erinnerung an vorangegangene Freunde. Gesammelte Gedächtnisreden* (2dln.; Braunschweig, 1888).
- Holt, N.R., "A Note on Wilhelm Ostwald's Energism", *Isis* 61 (1970) 386-389.
- Homburg, E., "De overgang naar een moderne chemische industrie", *Chemisch Magazine* (1989) 741-743 en *ibid.* (1990) 311-314.
- Homburg, E., "The Emergence of Research Laboratories in the Dyestuffs Industry, 1870-1900", *British Journal for the History of Science* 25 (1992) 91-111.
- Homburg, E., *Chemische Techniek in Nederland in de Negentiende Eeuw* (Zutphen, 1994).
- Hooykaas, R., "Hendrik Willem Bakhuis Roozeboom (1854-1907), grondlegger der phasenleer", *Geloof en Wetenschap* 53 (1955) 68-77.
- Hoytink, G.J., "Physical chemistry in The Netherlands after Van 't Hoff", *Annual Review of Physical Chemistry* 21 (1970) 1-16.
- Hülsmann, J.H.H., "Student en Maatschappij" in: Van der Bijl, *Amsterdamsch Studentenleven*, 551-683.
- Hutter, J.J., "Nederlandse Laboratoria 1860-1940, een kwantitatief overzicht" in: Visser en Hakfoort, *Werkplaatsen*, 150-174.
- Johnson, J.A., *The Kaiser's Chemists. Science and Modernization in Imperial Germany* (Chapel Hill, 1990).
- Jorissen, W.P. en W.E. Ringer, *H.W. Bakhuis Roozeboom 1854-1907* (Haarlem, 1907; Mannen & Vrouwen van Beteekenis in onze dagen, dl. 37).
- Kamminga, H., *Studies in the History of Ideas on the Origin of Life from 1860*, proefschrift University of London (1980).
- Kasteel, Th.J. van, "Ontstaan en Groei van TNO" in: *Een Kwarteeuw TNO 1932-1957. Gedenkboek bij de voltooiing van de eerste 25 jaar werkzaamheid van de organisatie TNO op 1 mei 1957* (Den Haag, 1957) hoofdstuk 1 tot en met 7.
- Kerker, M., "The Svedberg and Molecular Reality", *Isis* 67 (1976) 190-216.
- Kersten, A.E., *Een Organisatie van en door Onderzoekers. De Nederlandse Organisatie voor Zuiver-Wetenschappelijk Onderzoek (Z.W.O.) 1947-1988* (Assen, 1996).
- Kevles, D.J., *The Physicists. The History of a Scientific Community in Modern America* (Cambridge etc., 1995).
- Kloek, J.J. en W.W. Mijnhardt (eds.), *De productie, distributie en consumptie van cultuur. Balans en Perspectief van de Nederlandse cultuurgeschiedenis* (Amsterdam, 1991).
- Knecht-van Eekelen, A. de, "Het Vitaminen-Laboratorium", *Gewina* 19 (1996) 43-45.
- Knight, D., *Ideas in Chemistry. A history of the science* (New Brunswick, 1992).
- Kohler, R.E., "The History of Biochemistry: A Survey", *Journal of the History of Biology* 8 (1975) 275-318.
- Kohler, R.E., *Lords of the Fly. Drosophila Genetics and the Experimental Life* (Chicago, 1994).
- Kox, A.J. en M. Chamalaun (eds.), *Van Stevin tot Lorentz. Portretten van Nederlandse natuurwetenschappers* (Amsterdam, 1980).
- Lammers, A., *Uncle Sam en Jan Salie. Hoe Nederland Amerika ontdekte* (Amsterdam, 1989).
- Laszlo, P., *A History of Biochemistry (Comprehensive Biochemistry dl. 34A; Amsterdam etc., 1986)*.
- Leeewater, A., "The Development of Wilhelm Ostwald's Chemical Energetics",

- Centaurus* 29 (1986) 314-337.
- Lunteren, F. van, "Van Meten tot Weten'. De Opkomst van de Experimentele Fysica aan de Nederlandse Universiteiten in de Negentiende Eeuw", *Gewina* 18 (1995) 102-138.
- MacLeod, R., "The Chemists go to War: the Mobilization of Civilian Chemists and the British War Effort, 1914-1918", *Annals of Science* 50 (1993) 455-481.
- Mark, H., *From Small Organic Molecules to Large. A century of progress* (Washington DC, 1993).
- Mazumdar, P.M.H., "The Antigen-Antibody Reaction and the Physics and Chemistry of Life", *Bulletin of Medical History* 48 (1974) 1-21.
- Meinel, C., "Theory or Practice? The eighteenth-century debate on the scientific status of chemistry", *Ambix* 20 (1983) 121-133.
- Morgan, N., "The Strategy of Biological Research Programmes: Reassessing the 'Dark Age' of Biochemistry, 1910-1930", *Annals of Science* 47 (1990) 139-150.
- Noordegraaf, H., *Het Christen-Socialisme van John William Kruyt en Truus Kruyt-Hogerzeil* (Voorburg, 1990).
- Nye, M.J., *Molecular Reality. A perspective on the scientific work of Jean Perrin* (London en New York, 1972).
- Nye, M.J., "Explanation and Convention in Nineteenth-Century Chemistry" in: Visser e.a., *New Trends*, 171-186.
- Olby, R.C., "The Macromolecular Concept and the Origins of Molecular Biology", *Journal of Chemical Education* 47 (1970) 168-174.
- Olby, R.C., *The Path to the Double Helix* (London, 1974).
- Olby, R.C., "The Significance of the Macromolecules in the Historiography of Molecular Biology", *History and Philosophy of the Life Sciences* 1 (1979) 185-198.
- Ostwald, G., *Wilhelm Ostwald. Mein Vater* (Stuttgart, 1953).
- Ostwald, W., *Lebenslinien. Eine Selbstbiographie* (3 dln.; Berlijn, 1926-1927).
- Partington, J.R., *A history of chemistry* (4 dln; London, 1964) IV.
- Pauly, P.J., *Controlling Life. Jacques Loeb and the engineering idea in biology* (New York, 1987).
- Pickering, A., "From Science as Knowledge to Science as Practice" in: Pickering, *Science*, 1-26.
- Pickering, A. (ed.), *Science as Practice and Culture* (Chicago, 1992).
- Priesner, C., *H. Staudinger, H. Mark und K.H. Meyer. Thesen zur Größe und Struktur der Makromoleküle* (Weinheim etc., 1980).
- Rip, A., en E. Boeker, "Scientists and Social Responsibility in the Netherlands", *Social Studies of Science* 5 (1975) 457-484.
- Roller, D.H.D (ed.), *Perspectives in the History of Science and Technology* (Norman, 1971).
- Root-Bernstein, R.S., *The Ionists: founding physical chemistry, 1872-1920*, proefschrift Princeton University, microfilmuitgave (Ann Arbor, 1980).
- Scheper, J.J.F., "De Visie van de Nederlandse Reizigers in de V.S. (1865-1917) op het Amerikaanse Onderwijs", *Groniek* 86 (1984) 63-71.
- Schoor, W. van der, "Biologie en Landbouw. F.A.F.C. Went en de Indische Proefstations" in: Theunissen en Van Lunteren, *Zuivere Wetenschap*, 145-161.
- Servos, J.W., "A Disciplinary Program that Failed: Wilder D. Bancroft and the *Journal of Physical Chemistry*, 1896-1933", *Isis* 73 (1982) 207-232.
- Servos, J.W., *Physical Chemistry from Ostwald to Pauling. The Making of a Science in*

- America* (Princeton, 1990).
- Shapin, S. en S. Schaffer, *Leviathan and the Air-Pump. Hobbes, Boyle, and the Experimental Life* (Princeton, 1985).
- Snelders, H.A.M., "The Dutch Physical Chemist J.J. van Laar (1860-1938) versus J.H. van 't Hoff's 'Osmotic School'", *Centaurus* 29 (1986) 63-71.
- Snelders, H.A.M., "J.H. van 't Hoff en de fasenleer", *TGGNWT* 9 (1986) 10-24.
- Snelders, H.A.M., "J.H. van 't Hoff's Theorie van de Verdunde Oplossingen (1886)", *TGGNWT* 10 (1987) 2-19.
- Snelders, H.A.M., *De geschiedenis van de scheikunde in Nederland. Van alchemie tot chemie en chemische industrie rond 1900* (Delft, 1993).
- Somsen, G., *Problemen van Oplossingen. Openbare les Vrije Universiteit, 28 november 1973* (s.l., s.a.) 3-11.
- Somsen, G.J., "Hooge School en Maatschappij. H.R. Kruyt en het ideaal van wetenschap voor de samenleving" in: Theunissen en Van Lunteren, *Zuivere Wetenschap*, 162-176.
- Somsen, G.J., "Goed bedoeld geneesmiddel valt verkeerd", *Chemisch Magazine* (1994) 261-262.
- Somsen, G.J., "Selling Science: Dutch debates on the industrial significance of university chemistry, 1900-1932" in: Travis e.a., *Determinants*, 143-168.
- Staudinger, H., *Arbeitserinnerungen* (Heidelberg, 1961).
- Tanner, J., "The Impact of Industrial Property Rights on the Swiss Pharmaceutical Industry, 1907-1939" in: Travis e.a., *Determinants*.
- Theunissen, B., *Eugène Dubois en de Aapmens van Java. Een bijdrage tot de geschiedenis van de paleoantropologie* (Amsterdam, 1985).
- Theunissen, B., "Knowledge is Power: Hugo de Vries on science, heredity and social progress", *British Journal for the History of Science* 27 (1994) 291-311.
- Theunissen, B., "Het Nut van Autonomie. Een andere kijk op M.W. Beijerincks microbiologie" in: Theunissen en Van Lunteren, *Zuivere Wetenschap*, 291-311.
- Theunissen, B. en F. van Lunteren (eds.), *Zuivere Wetenschap en Praktisch Nut. Visies op de maatschappelijke betekenis van wetenschappelijk onderzoek rond 1900*, themanummer van *Gewina* 17 (1994).
- Travis, A.S., H.G. Schröter en E. Homburg (eds.), *Determinants in the Evolution of the European Chemical Industry, 1900-1939: New Technologies, Political Frameworks, Markets, Companies* (Dordrecht, ter perse).
- Traynham, J.G. (ed.), *Essays on the History of Organic Chemistry* (Baton Rouge, 1987).
- Verwey-Jonker, H., *Er Moet een Vrouw in. Herinneringen in een kentering van de tijd* (Amsterdam, 1988).
- Visser, R.P.W. en C. Hakfoort (eds.), *Werkplaatsen van Wetenschap en Techniek*, themanummer van *TGGNWT* 9 (1986).
- Visser, R.P.W. e.a. (eds.), *New Trends in the History of Science. Proceedings of a conference held at the university of Utrecht* (Amsterdam, 1989).
- Visser, R.P.W., "Het 'Nederlansch Natuur- en Geneeskundig Congres' over de relatie natuurwetenschap en samenleving, 1887-1900", in: Kloek en Mijnhardt, *Productie, Distributie en Consumptie*, 37-48.
- Vrankrijker, A.C.J. de, *Vier Eeuwen Nederlandsch Studentenleven* (Voorburg, [1939]).
- Wachelder, J.C.M., *Universiteit tussen Vorming en Opleiding. De modernisering van de Nederlandse universiteiten in de negentiende eeuw*, proefschrift Universiteit Maastricht (Hilversum, 1992).

- Werken aan scheikunde. 24 memoires van hen die de Nederlandse Chemie deze eeuw groot hebben gemaakt* (Delft, 1993).
- Willink, B., "Origins of the Second Golden Age of Dutch Science after 1860: Intended and Unintended Consequences of Educational Reform", *Social Studies of Science* 21 (1991) 503-526.
- Wheeler, L.P., *Josiah Willard Gibbs. The history of a great mind* (New Haven, 1952).
- Woltjer, J.J., *Recent Verleden. De geschiedenis van Nederland in de twintigste eeuw* (Amsterdam, 1992).

Register

- Abegg, R. 43
Adriani, H.G. 101
Adriani, J.H. 27
Alingh Prins, J. 204, 205
Arkel, A.E. van 106-111, 150, 164
Arrhenius, S. 14, 77, 119, 123
Aten, A.H.W. (sr.) 12, 22, 23, 40, 42, 45, 46
- Backer, H.J. 149
Bakhuis Roozeboom, H.W. 6, 8-13, 15-27, 29-35, 37-46, 49, 52, 61, 85-90, 93, 171, 207, 208, 212
Bancroft, W.D. 12, 20, 33, 34, 77, 80, 125, 126
Banning, W. 3
Barus, C. 61
Basinski, A. 147
Baudrimont, A. 58
Beijerinck, M.W. 3, 183, 212-214
Bemmelen, J.M. van 11, 22, 23, 75, 84-86, 88
Bergmann, M. 73
Bijl, H.C. 27
Bijvoet, J.M. 22, 44
Boelman, A.B. 147, 149, 189
Boer, J.H. de 154-157
Booy, H.L. 164
Brailsford Robinson, T. 123
Bredig, G. 43, 61, 77, 78, 80, 96, 97, 102, 103, 105, 111, 164, 165
Briggs, D.R. 132, 133, 146
- Bruyn, H. de 143-145
Bruyn, P.L. de 147
Buchner (ook wel: Büchner), E.H. 12, 17, 22, 23, 26, 40, 87, 88, 140, 154
Bungenberg de Jong (aanvankelijk: De Jong), H.G. 94, 106, 111-120, 123, 124, 129-131, 139, 141, 154, 162, 164, 182, 185, 187-189
Bunsen, R.W.E. 13
Burger, H.C. 108-111
Burton, E.F. 61
- Calcar, R.P. van 87
Carothers, W.H. 71, 160-162
Casimir, H.B.G. 141, 157, 158
Cohen, E.J. 2, 3, 12, 19, 22, 32, 33, 37, 39, 42, 43, 45-47, 49, 50, 51, 52-55, 57, 87, 90, 91, 98, 99, 173, 174, 176, 182-184, 186, 194
Coops, J. 12
Cort van der Linden, P.W.A. 199
Cuypers, E. 47
Cysouw, H.A. 139
- Day, A. 12, 19
Denekamp, P.J. 146, 147
Derjaguin, B.V. 158
Donnan, F.G. 77, 101, 105, 135
Dubois, M.E.F.T. 9, 10, 39
Duclaux, J. 67, 73-78, 80, 82, 84, 94, 123, 126
Duin, C.F. van 100-103, 105, 111, 188

- Duisburg, C. 68
 Dutilh, H. 46
- Eggink, W.A.N. 118, 119
 Ehrenfest, P. 2, 154
 Einstein, A. 29, 63, 69, 114
 Enklaar, J.E. 32
 Errera, J. 151
 Ettisch, G. 133, 134
 Everdingen, D.H. van 183
- Fajans, K. 127
 Favejee, J.C.L. 146, 147
 Fischer, E. 43
 Fischer, M.H. 121
 Flexner, A. 194
 Freundlich, H. 12, 58, 65, 73, 74,
 77-82, 84-86, 88-91, 95-103, 105, 107,
 111, 124, 131, 132, 133-135, 141,
 143, 161, 164, 165
- Gerding, H. 44
 Gibbs, J.W. 11, 12, 14, 16, 19, 33, 88
 Gils, G.E. van 147
 Ginneken, P.J.H. van 54, 55, 184
 Gorter, H. 173, 174
 Gouy, G. 130, 131, 137, 138, 148
 Graham, Th. 58-60, 62, 81, 86
 Gribnau, F.B. 145, 151
- Haan, E.F. de 110, 111
 Haber, F. 68, 199
 Hamaker, H.C. 154-157, 159
 Hardy, W.B. 60, 61, 72, 79, 81, 94-98,
 102, 103, 105, 111, 158, 164, 165
 Hasselt, J.F.B. van 177, 178, 186, 208,
 214
 Hatschek, E. 58, 129
 Hermans, J.J. 164
 Hermans, P.H. 154, 162, 164
 Hissink, D.J. 25-27
 Hoff, J.H. van 't 1, 2, 9-15, 22, 23, 28,
 29, 43, 46, 77, 119, 180, 182
 Hofmeister, F. 61, 62
 Holleman, A.F. 19, 24, 26, 27, 32,
 41-43, 45, 46
 Hollmann, R. 40
- Hondius Boldingh, G. 182
 Hooykaas, R. 20, 25, 150
 Houwink, R. 164
 Hoytink, 12, 22, 28, 29, 47
- Iterson, G. van 203
- Jaeger, F.M. 12, 39, 52, 53, 140, 149
 Janssen, L.W. 148
 Joachimsohn, K. 133, 134
 Jong, J.R. de 147, 149
 Jonker, G.H. 147, 164
 Jonker, W.P.A. 24, 39, 42, 46, 87, 88
 Jordis, E.F.A. 73, 75
 Jorissen, W.P. 11, 22-24, 32, 86, 88,
 89, 102, 104, 187, 196
 Julien, P.F.J.A. 139, 140, 189
- Kamerlingh Onnes, H. 1
 Kapteijn, J.C. 1
 Kekulé, A. 86
 Ketelaar, J.A.A. 44
 Kisjes, W.H. 189
 Klaarenbeek, F.W. 144, 145, 147
 Klompé, M.A.M. 144, 145, 147, 148,
 150, 153
 Klooster, H.S. van 126
 Kluyver, A.J. 2, 3, 7, 213, 214
 Kock, A.C. de 27
 Koets, P. 130, 147, 151, 182
 Kögl, F. 49
 Kolkmeijer, N.H. 146, 147
 Kolthoff, I.M. 132, 141
 Kopp, H. 13
 Korteweg, D.J. 39, 42
 Kramers, H.A. 2
 Kruyt, A.H. (broer Herman) 173
 Kruyt, J.H. (vader) 38, 173
 Kruyt, J.W. (broer John William) 173,
 174
 Kruyt, T. (dochter Truus) 147
 Kruyt-Kramer, J.M. (echtgenote) 38,
 174, 183
 Kunst, H. 146, 147, 151
 Kuyper, A. 6, 37-39, 47, 173
- Laar, J.A.W. van 149

- Laar, J.J. van 10, 29, 33, 39, 41, 45, 46,
52, 87, 88, 149
- Landau, L.D. 158
- Leendertz, A.C. 174-176
- Leeuw, G. van der 197
- Leopold, G.H. 26, 27, 42, 96
- Lewis, G.N. 28
- Lier, H. 118, 119, 123
- Linder, S.E. 61, 75
- Liver, J. de 150
- Lobry de Bruyn (ook: Van
Troostenburg de Bruyn), C.A. 39,
42, 61, 86, 87
- Loeb, J. 70, 120-123, 125, 161
- Loosjes, R. 145, 147, 149
- Lorentz, H.A. 1, 2, 10, 75, 109, 199,
201
- Lottermoser, A. 65, 77, 107
- MacBain, J.W. 77
- Made, J.E.M. van der 118, 165, 187
- Mark, H.F. 73, 160
- Marken, J.C. van 183
- Melsen, A.G.M. van 150
- Meyer, K.H. 73, 160
- Minne, J.L. van der 148
- Mukherdjee, J. 127
- Mulder, G.J. 47
- Müller, A. 65, 75, 85, 97
- Nernst, W. 12, 43
- Nes, K. van 158
- Nieuwenburg, C.J. van 200, 201, 213,
214
- Nieuwenhuyzen, F.J. 150
- Nouhuys, H.L. van 147, 182, 185
- Olie, J. 11, 24-26, 39, 40, 42, 46, 49,
55, 116, 117, 189
- Oosterman, J. 182, 185
- Oparin, A.I. 130
- Ornstein, L.S. 3, 7, 53, 108-111, 145,
155, 189-191, 212, 213
- Ostwald, Wilhelm 12, 14, 15, 29, 43,
44, 62, 72, 74, 77, 78, 82-84, 119,
123.
- Ostwald, Wolfgang 58, 62, 65, 67, 68,
70, 72, 73, 75, 77, 78, 81-85, 90, 91,
94, 120, 121, 126.
- Overbeek, J.Th.G. 35, 94, 106, 113,
125, 144-154, 156-159, 162, 164, 166,
189, 196
- Pauli, W. (sr.) 67, 120, 122, 123, 136
- Pauling, L. 15, 28, 68
- Pels, P.S. 150
- Perrin, J. 29, 63, 64, 68, 83
- Picton, H. 61, 75
- Platzek, P. 147
- Pöschl, V. 65, 82
- Postma, J. 118, 119
- Powis, F. 105, 131, 132
- Prins, A. 26, 27
- Pummerer, R. 73
- Reinders, W. 12, 22
- Rijk van Alkemade, A.C. van 17
- Robinson, C. 128, 129, 151
- Romburgh, P. van 46, 49, 100, 178,
180
- Rutgers, A.J. 151, 157
- Ruzicka, L.S. 49
- Sachs, J. 121
- Savorin Lohman, B.C. de 194
- Scheffer, F.E.C. 12, 22, 26, 30
- Schermerhorn, W. 197, 205
- Schneider, E.A. 61
- Schreinemakers, F.A.H. 12, 22-24, 30,
41, 42, 45, 46, 88, 118
- Schulze, H. 61, 95, 97, 158
- Selmi, F. 58
- Siedentopf, H.F.W. 63, 99
- Smith, A. 40
- Smits, A. 12, 22, 26, 39, 41-46
- Smittenberg, J. 21, 30
- Smoluchowski, M. von 63, 108-110,
114, 115
- Spek, J. van der 89, 98, 103-109, 187
- Staudinger, H. 71-73, 160, 161
- Steger, A. 178
- Stern, O. 138, 143, 144, 148
- Svedberg, Th. 61, 63, 64, 68, 71, 72,
90, 124

- Tammann, G. 12, 53, 90
Tattje, P.H.E. 147, 152
Tendeloo, H.J.C. 94, 95, 105, 118,
119, 123, 128, 136-139, 151, 154,
165, 185
Tillema, H.F. 178
Treub, H. 174
Troelstra, P.J. 174
Troelstra, S.A. 143-148, 150-153
- Vermaas, D. 147, 182
Verwey, E.J.W. 106, 109, 140-144,
147, 149, 151, 154-159, 166, 179
Verwey-Jonker, H. 141
Verworn, M. 60
Vloemans, A. 194
Vogel, J.G. 147
Vooy's, I.P. de 200, 201, 203, 205,
212-214
Vosmaer, A. 178
Vries, H. 1, 2, 9, 10, 212-214
- Waals, J.D. van der 1, 9-11, 29, 39, 42,
43, 52, 84, 155, 157-159
Waals, J.D. van der (jr.) 193
Walden, P. 43
Waller, F.G. 183
Weevers, Th. 60
Weimarn, P.P. von 61
Went, F.A.F.C. 2-4, 7, 60, 198,
201-203, 212-214
Werner, A. 24, 43, 46, 72
Wigersma, B. 177, 178, 186, 208, 214
Willigen, P.C. van der 128, 131, 132,
135, 138-140, 142, 146, 151, 185
Willstätter, R. 68
Wolff, L.K. 87
Woudstra, H.W. 88, 89, 104
- Zeeman, P. 1, 9
Zernike, F. 44, 211
Zsigmondy, R. 63, 68, 74, 90, 99, 107,
115





3002735





ISBN 90-407-1643-9



9 789040 716430

Delft University Press

198