

O. de Jong, P.H. van Roon and W. de Vos
editors

Perspectives on Research in Chemical Education

*Betrachtungsweisen zur Chemiedidaktik
als Wissenschaft*

Visies op Chemiedidactiek als Wetenschap

*On the occasion of the retirement of Adri Verdonk
Vorgetragen anlässlich der Emeritierung von Adri Verdonk
Ter gelegenheid van het emeritaat van Adri Verdonk*



O. de Jong, P.H. van Roon and W. de Vos
editors

Perspectives on Research in Chemical Education

Betrachtungsweisen zur Chemiedidaktik als
Wissenschaft

Visies op Chemiedidactiek als Wetenschap

On the occasion of the retirement of Adri Verdonk

Vorgetragen anlässlich der Emeritierung von Adri Verdonk

Ter gelegenheid van het emeritaat van Adri Verdonk



CIP-GEGEVENS KONINKLIJKE BIBLIOTHEEK, DEN HAAG

Perspectives

Perspectives on research in chemical education =
Betrachtungsweisen zur Chemiedidaktik als Wissenschaft =
Visies op chemiedidactiek als wetenschap / O. de Jong,
P.H. van Roon and W. de Vos ed. - Utrecht : CD- β Press,
Centrum voor β -Didactiek. - (CD- β wetenschappelijke bibliotheek ; 17)
Ter gelegenheid van het emeritaat van Adri Verdonk. - Met tekst in het
Engels, Duits en Nederlands.
ISBN 90-73346-25-8
Trefw.: chemie ; didactiek / wetenschapsleer / onderwijskunde.

Cover: A. Lurvink, OMI, Utrecht University
Drawings: Taken from the sheets of Henny Kramers-Pals
Photos: Jan den Boesterd, Faculty of Chemistry, Utrecht University
Printing: Drukkerij Elinkwijk bv, Utrecht, The Netherlands
Copyright: CD- β Press, Utrecht 1995

ISBN 90-73346-25-8

CD- β SERIES ON RESEARCH IN SCIENCE AND MATHEMATICS
EDUCATION

Editorial Board:

P.L. Lijnse
A. Treffers
W. de Vos
A.J. Waarlo

- 1 Didactiek in Perspectief (P.L. Lijnse, W. de Vos, eds.)
- 2 Radiation and Risk in Physics Education (H.C.M. Eijkelhof)
- 3 Natuurkunde-onderwijs tussen Leefwereld en Vakstructuur (R.F.A. Wierstra)
- 4 Een Onverdeelbare Eenheid (M.J. Vogelzang)
- 5 Betrokken bij Evenwicht (J.H. van Driel)
- 6 Relating Macroscopic Phenomena to Microscopic Particles: A Central Problem in Secondary Science Education (P.L. Lijnse, P. Licht, W. de Vos, A.J. Waarlo, eds.)
- 7 Kwaliteit van Kwantiteit (H.E. Elzenga)
- 8 Interactieve Video in de Nascholing Reken-wiskunde (F. van Galen, M. Dolk, E. Feijs, V. Jonker, N. Ruesink, W. Uittenbogaard)
- 9 Realistic Mathematics Education in Primary School (L. Streefland, ed.)
- 10 Ontwikkeling in Energieonderwijs (A.E. van der Valk)
- 11 Methoden in Reken-wiskundeonderwijs (K. Gravemeijer, M. van den Heuvel-Panhuizen, G. van Donselaar, N. Ruesink, L. Streefland, W. Vermeulen, E. te Woerd, D. van de Ploeg)
- 12 De Volgende Opgave van de Computer (J. Zuidema en L. van der Gaag)
- 13 European Research in Science Education (P.L. Lijnse, ed.)
- 14 Realistic Mathematics Education (K. Gravemeijer)
- 15 De Grafische Rekenmachine in het Wiskundeonderwijs (L.M. Doorman, P. Drijvers, M. Kindt)
- 16 Making Sense - Simulation-of-Research in Organic Chemistry Education (H. van Keulen)
- 17 Perspectives on Research in Chemical Education (O. de Jong, P.H. van Roon, W. de Vos, eds.)

Centre for Science and Mathematics Education
Utrecht University
P.O. Box 80.008
3508 TA Utrecht
The Netherlands

Preface

This book was published on the occasion of the retirement of prof. dr. Adri H. Verdonk, the founder and the first chairman of the Department of Chemical Education at Utrecht University, The Netherlands. Adri Verdonk's main interest has always been - and still is - a *scientific approach* to the study of teaching and learning processes in chemistry. He is, of course, not the only person who has that ambition. Therefore, his retirement provides a good opportunity to pay attention to various perspectives on research into education in chemistry.

The first part of the book contains the revised versions of the papers presented at a small-scale symposium at Utrecht University in February, 1995. This symposium had the same title as the present book and involved five lectures. Three of them were read by Dutch colleagues from Enschede, Amsterdam and Utrecht; one of the lectures was read by a German colleague. Adri himself also presented a paper. Together, the lecturers offered a broad range of inspiring perspectives.

Next to the symposium, a restricted number of researchers were invited to contribute to this volume by writing a new paper or selecting an existing paper which illustrates their specific approach as clearly as possible. Their contributions, including research papers as well as position papers, contribute to the second part of the book. The articles have been written by authors from various countries, namely Australia, Germany, Israel and The Netherlands. We realise, of course, that there are other important researchers working both in the same and in other countries. Nevertheless, we believe that the present contributions together reflect the universal meaning of the topic and underline the importance of international discussion and cooperation in the field of research in chemistry education.

We are very grateful to all authors for their efforts to describe their views on research approaches. May this book contribute to a growing understanding of the many faces of research into education in chemistry.

Utrecht, June 1995

O. de Jong, P. H. van Roon, W. de Vos

Table of Contents

Preface	1
Table of contents	3
Programme of the symposium	6

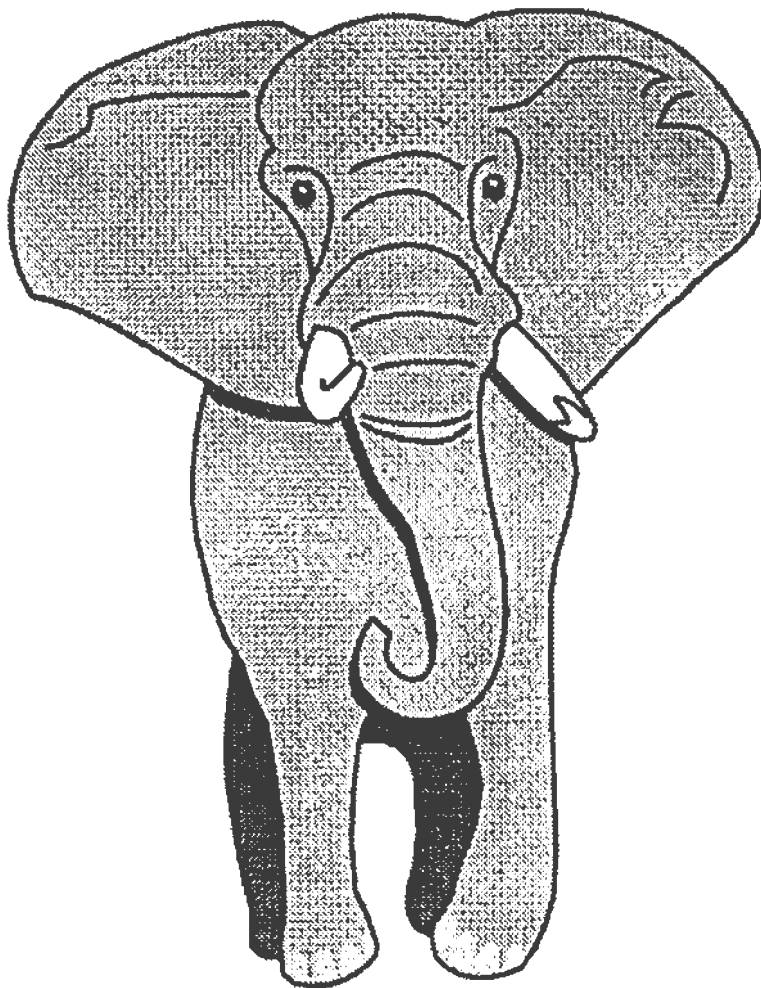
Papers presented at the symposium

H. Kramers-Pals Chemiedidactiek als toegepaste onderwijskunde	7
H.H. ten Voorde Chemie-onderwijzen en didactische structuur	21
P. Buck Chemiedidaktik ist keine Naturwissenschaft, sie ist Kulturwissenschaft	43
A.H. Verdonk Chemiebeoefening een onderwijsleerproces?	57
P.L. Lijnse Chemiedidactiek, Natuurkundedidactiek of β -didactiek?	69

Invited papers

R. Ben-Zvi and A. Hofstein Chemistry curriculum development based on the diagnosis of students' learning difficulties	79
R.B. Bucat and P.J. Fensham Exploring more effective teaching in chemistry classrooms	87
A. Gramm Chemieunterricht: Lernen von Gesetzen und Tatsachen oder Erkennen und Verstehen von Prozessen?	97
H.-J. Schmidt The development of multiple-choice questions for stoichiometric calculations on titration.	105
E. Sumfleth and S. Todtenhaupt Learning processes in chemistry - an interaction of students' preconceptions and chemical contents.	117
W. de Vos Scientific research into chemical education in Utrecht	127

Visies op chemiedidactiek als wetenschap



Visies op chemiedidactiek als wetenschap

Afscheidssymposium Prof. dr. Adri H. Verdonk

3 februari 1995 13.30 - 17.30 uur

Groene Zaal F.A.F.C. Wentgebouw, Sorbonnelaan 16 Utrecht

Prof. dr. A. H. (Adri) Verdonk is vanaf de oprichting in 1982 voorzitter van de vakgroep chemiedidactiek geweest. Hoewel hij per 1-2-'95 met vervroegd emeritaat (VUT) gaat, hoopt hij nog een aantal jaren werkzaam te blijven in zijn vakgebied, met name in de begeleiding van promovendi.

Prof. Verdonk heeft zich als vakgroepsvoorzitter steeds ten doel gesteld om, samen met anderen, chemiedidactiek als een (beginnende) wetenschap te beoefenen. Het afscheidssymposium staat daarom in het teken van chemiedidactiek als wetenschap.

De lezingen zullen samen met schriftelijke bijdragen van enkele buitenlandse collega's worden gebundeld en uitgegeven in de CD β -reeks onder de titel: "Perspectives on Research in Chemical Education / Betrachtungsweisen zur Chemiedidaktik als Wissenschaft / Visies op Chemiedidactiek als Wetenschap"

Programma

13.00 Ontvangst

13.30 Opening door dr. O. de Jong, *UU, dagvoorzitter*

dr. H. Kramers-Pals, *UT: Chemiedidactiek als toegepaste onderwijskunde?*

dr. H. H. ten Voorde, *UvA: Chemie onderwijzen en didactische structuur*

14.50 pauze

15.20 prof. dr. P. Buck, *PH Heidelberg: Chemiedidaktik ist kein Naturwissenschaft, sie ist Kulturwissenschaft*

prof. dr. A. H. Verdonk, *UU: Chemiebeoefening een onderwijsleerproces?*

16.30 discussie, ingeleid door prof. dr. P.L. Lijnse, *UU*

17.15 informele afsluiting

Chemiedidactiek als toegepaste onderwijskunde





Chemiedidactiek als toegepaste onderwijskunde

Henny Kramers-Pals
Faculteit Chemische Technologie
Universiteit Twente

1. Blinden onderzoeken een olifant

Een parabel om mee te beginnen. Vier blinden hadden geen idee hoe een olifant eruit zag en mochten in de dierentuin in het olifantenverblijf zelf voelen. De eerste betastte een oor en vond dat de olifant veel weg had van een tas. De tweede onderzocht een poot en gaf als zijn mening dat de olifant meer weg had van een pilaar. De derde gleed met zijn handen langs de slurf en vergeleek de olifant met een tuinslang. De vierde was op grond van zijn tastervaringen met de slagstanden uiteraard weer een volledig andere mening toegegaan; welke, laat ik graag aan uw fantasie over. De beoefening van chemiedidactiek als wetenschap heeft veel weg van de verkenning van een olifant door een blinde. Het is daarom de moeite waard kennis te nemen van de ervaringen van mede-wetenschapsbeoefenaars. Misschien dat we samen een wat vollediger beeld van die olifant kunnen krijgen.

Mijn visie op chemiedidactiek als wetenschap geef ik door in te gaan op twee aspecten van wetenschapsbeoefening: de praktijkgerichtheid en de aard van de onderzochte problemen.

2. Wetenschap gekarakteriseerd

Als we spreken over wetenschap, over chemiedidactiek of over toegepaste onderwijskunde, kan het zijn dat er begripsverwarring ontstaat omdat deze begrippen nu eenmaal niet scherp gedefinieerd zijn en u er misschien heel andere associaties bij hebt dan ik.

Laten we dat nagaan met het begrip wetenschap. Als aan personen die zich bezighouden met chemie of de didactiek ervan wordt gevraagd de associaties die het begrip wetenschap oproept, te geven¹, komen er antwoorden als: veel weten; boek; theorie; afstand; ivoren toren; onderzoek; ontwerpen; denken; praktische nieuwsgierigheid; controleerbaar; systematisch; leerproces; twijfel; onaf.

Deze associaties kunnen ingedeeld worden in de volgende betekenis categorieën (Ulrich, 1972):

- a. Wetenschap als 'weten', *kennis*, als een systeem van gefundeerde of minstens fundeerbare, toetsbare uitspraken. Dit systeem bevatten ware, dat wil zeggen niet weerlegde uitspraken, waarschijnlijke aannamen en open vragen.

1 Dit is tijdens de voordracht gedaan; de genoemde associaties kwamen uit de zaal.

- b. Wetenschap als organisatie van kennisprocessen en kennisproducten, als leer-en onderzoeksinstituut, waarbij wetenschap gezien wordt als een manifestatie van de maatschappij (een invloedrijke subgroep) en daarmee een historisch bepaald en veranderlijk verschijnsel.
- c. Wetenschap als *handelen* van afzonderlijke wetenschapsbeoefenaren. Wetenschap zou dan kunnen worden verstaan als een systematische vragende en onderzoekende bezigheid, die zich volgens speciale vraagstellingen en theorieën met gebruikmaking van adequate methoden op een bepaald aspect van de werkelijkheid richt. Een doelstelling daarbij kan zijn: te komen tot gestandaardiseerde, wetmatige en consistente uitspraken over dat aspect van de werkelijkheid.

In het vervolg zal de term wetenschap vooral in betekenis c. gebruikt worden. De term wetenschap is hierbij dus gekoppeld met handelen: vragen, onderzoeken en wat mij betreft ook ontwerpen; ik kom daar straks op terug. Overigens is dat handelen wel gericht op het vergroten van het 'weten' (a.): het kennisbestand, de 'body of knowledge'. In de omschrijving van Ulich komt minder duidelijk uit de verf dat gaat om publiek toegankelijke kennis. Deze moet voor anderen toetsbaar zijn. Daarom moet hij geëxpliciteerd zijn. Om de toetsbaarheid voor anderen mogelijk maken moeten niet alleen de resulterende kennis, maar ook de werkwijze expliciet gemaakt zijn.

3. Praktijk- en probleemgerichtheid van een wetenschap

Niet alleen bij chemiedidactiek, ook bij andere 'jonge' wetenschappen is er behoefte aan een bepaling van de aard van de wetenschapsbeoefening ten opzichte van de gevestigde wetenschappen, de disciplines. De 'jonge' wetenschappen worden soms wel de 'kundes' genoemd. Voorbeelden zijn milieukunde, materiaalkunde, gezondheidskunde, bedrijfskunde en ook onderwijskunde. Scheikunde mag in het begin van de negentiende eeuw nog een kunde geweest zijn, nu is het duidelijk een gevestigde discipline, met eigen faculteiten, beroepsverenigingen en zelfs een schoolvak. Chemiedidactiek heeft zijn bestaan voornamelijk aan dat schoolvak te danken.

Boon et al. (1991), Fransen & Lagerwey (1983), Harbers (1991) en Veerman (1988) karakteriseren kundes door hun praktijk- en probleemgerichtheid. Praktijkgericht onderzoek vormt daarbij een van de uitersten op een continue schaal met als andere uiterste fundamenteel onderzoek.

Fundamenteel onderzoek is gericht op de verwerving van algemene wetmatige kennis, dus op theorievorming. Boon et al. (1991) en Harbers (1991) karakteriseren dit uiterste op de continue schaal met de term 'Olympus-model'. Hierbij wordt een wetenschap een plaats op de Olympus toebedeeld. De superioriteit van wetenschappelijke (Olympische) kennis ten opzichte van andere kennisvormen is hierbij direct gekoppeld aan de maatschappelijke autonomie van wetenschap. Wetenschappelijk onderzoek leidt tot een nieuwe 'body of knowledge' die via wetenschappelijk opgeleiden de maatschappelijke praktijk ingaat. De richting van ontwikkeling en vernieuwing is van boven naar beneden. Het Olympusmodel is bij uitstek hiërarchisch en kennis-georiënteerd.

De tegenpool van het Olympusmodel is dat van de Agora, de markt. Dit model begint bij de integratie van wetenschap en samenleving, bij de eenheid van wetenschappelijke en maatschappelijke praktijken. Het Olympusmodel gaat er vanuit dat het maatschappelijk handelen afgestemd wordt op de resultaten van wetenschappelijk onderzoek: kennis als input van handelen. Bij het Agoramodel is kennis output van handelen. Wetenschap is hierbij niet meer een autonome institutie, exclusief gericht op de productie van ware uitspraken, maar een maatschappelijke praktijk, hecht verweven met andere praktijken waarin kennen en kunnen nauw met elkaar samenhangen. Op de Agora vindt dus praktijkgericht onderzoek plaats en wordt toegepaste, probleemgerichte kennis geproduceerd, gericht op verbetering van van die praktijk.

Kundes staan als wetenschap meestal vrij dicht bij de Agora-kant van de continue schaal; disciplines veelal meer bij de Olympus-kant. Het is vrijwel onmogelijk voor een wetenschap om helemaal op het uiterste van de schaal te zitten. Ook bij fundamenteel onderzoek op de Olympus zijn immers praktijk-situaties nodig om experimenten uit te voeren. De belangen van de praktijk zijn dan echter ondergeschikt aan die van de theorie. Als onderzoek op de Agora uitsluitend gericht is op verbetering van de onderwijspraktijk en niets doet aan theorievorming, kan het vervallen in casuïstiek. Er wordt dan inefficiënt gewerkt. Elk geval is weer nieuw, het zwarte naaigaren wordt steeds opnieuw uitgevonden.

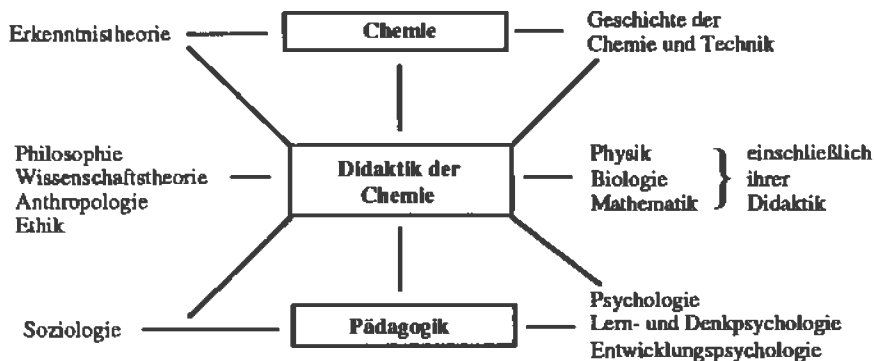
Wat betreft de stuurbaarheid (Rip, 1989) zijn er verschillen tussen fundamentele en praktijkgerichte wetenschappen. Op de Olympus is de sturing van de ontwikkeling van de wetenschap intern. Elk resultaat van wetenschappelijk onderzoek leidt weer tot nieuwe vragen, die de agenda bepalen. Op de Agora is de sturing extern, medebepaald door de maatschappelijke problematiek en agenda, in onderhandeling met de wetenschap.

Tussenposities tussen Olympus en Agora zijn goed mogelijk. Onderzoek van onderwijs, en daartoe reken ik ook chemiedidactisch onderzoek, kan bijvoorbeeld beide doelstellingen nastreven: zowel bijdragen tot theorievorming als tot verbetering van onderwijspraktijk. Wel vereist theorievorming doorgaans een andere methodologische aanpak dan onderzoek gericht op verbetering van de onderwijspraktijk. Het is niet altijd even gemakkelijk twee 'heren' te dienen.

In mijn visie hoort chemiedidactiek als wetenschap bij de kundes. In dat opzicht is chemiedidactiek goed vergelijkbaar met onderwijskunde (Fransen en Lagerweij, 1983). Raat (1981) stelt voor om te spreken van vakonderwijskunde in plaats van vakdidactiek, evenals Dijkstra (1986). Als de termen chemie-onderwijskunde of natuurkunde-onderwijskunde niet zo vreemd zouden klinken, zou ik daar wel voelen.

Evenals de meeste kundes is chemiedidactiek interdisciplinair. Pfeifer et al. (1992) geven de plaats die chemiedidactiek tussen andere wetenschappelijke 'disciplines' inneemt, weer in een schema: figuur 1.

Wat mij betreft, zou in een dergelijk schema de pedagogiek omgeruild worden met de onderwijskunde (Unterrichtswissenschaft). Verder zou ik in dit schema naast chemie ook chemische technologie zetten en naast onderwijskunde 'educational technology' (toegepaste onderwijskunde). Hierop ga ik in de volgende twee paragrafen verder in.



figuur 1: Verbanden van chemiedidactiek met andere wetenschappen; ontleend aan Pfeifer, Häusler & Lutz (1992)

4. Aard van de problemen die in een wetenschap worden aangepakt

Een tweede aspect in mijn visie op chemiedidactiek als wetenschap betreft de aard van de problemen waarop de wetenschappelijke activiteiten betrekking hebben. Problemen zijn op veel manieren in te delen. Een bruikbare indeling is die in weet-, maak- en kiesproblemen. De bijbehorende oplosstrategieën zijn: onderzoeken, ontwerpen en evalueren (Gephart, 1972). Evalueren laat ik in deze voordracht verder buiten beschouwing.

Praktijkgericht onderzoek heeft vaak relaties met ontwerpactiviteiten. Doorgaans betreft praktijkgericht onderzoek het oplossen van weetproblemen: verwerving van kennis over specifieke situaties, bijvoorbeeld door een feitelijke situatie nader te omschrijven, al of niet in vergelijking met een gewenste situatie. Ontwerpen gaat een stap verder en biedt een mogelijkheid om van een feitelijke naar een gewenste situatie te komen door middel van één of ander artefact of een geheel van artefacten. Er wordt hierbij ingegrepen in de werkelijkheid, terwijl onderzoek zich beperkt tot het verwerven van kennis over de werkelijkheid. Uiteraard speelt praktijkgericht onderzoek een belangrijke rol in verschillende fasen van het ontwerpproces (Feteris, Verhagen & Plomp, 1992). Zo kan de analyse van hardopdenk-protocollen van leerlingen en/of docenten van belang zijn in de fasen 'vooronderzoek' van een wetenschappelijk ontwerpproces.

Beoefening van chemiedidactiek als wetenschap heeft voor mij alles te maken met wetenschappelijk ontwerpen. Het verschil tussen wetenschappelijk ontwerpen en ontwerpen-zonder-meer is niet veel anders dan dat tussen wetenschappelijk onderzoeken en onderzoeken-zonder-meer. Voor een 'wetenschappelijke methode' zijn de volgende componenten algemeen aanvaard (Feteris, Verhagen en Plomp, 1992):

- een probleem wordt geïdentificeerd en beschreven;
- het fenomeen dat centraal staat in het probleem wordt nagebootst, c.q. gerepliceerd waarbij metingen plaatsvinden;
- gegevens worden volgens bepaalde regels verzameld, bewerkt en geanalyseerd;
- conclusies worden getrokken.

Zowel bij ontwerpen als bij onderzoeken is dus een methodologie nodig om de activiteit als wetenschappelijk te karakteriseren. Wetenschappelijk ontwerpen is in vergelijking met wetenschappelijk onderzoeken nog jong. De methodologie ervan is nog niet ver ontwikkeld. Er zijn wel punten van overeenkomst met onderzoeksmethodologieën, maar ook punten van verschil. Zie voor een bespreking van de overeenkomsten en verschillen tussen ontwerpen en onderzoeken Feteris, Verhagen & Plomp (1992). Zij bespreken deze verschillen eerst in algemene zin en werken deze vervolgens uit voor onderwijskundig ontwerpen en onderzoeken. Eerder is al genoemd het verschil in doelen. Daar waar de wetenschappelijke onderzoeker zich beperkt tot het beschrijven, verklaren en voorspellen van de werkelijkheid zonder hier een oordeel over te vormen, zal de ontwerper proberen verder te gaan. De ontwerper probeert de werkelijkheid te veranderen, vaak bedoeld als verbeteren. Op basis van een normatief argument wordt geoordeeld wat de betere situatie is. De 'betere situatie' moet gedefinieerd worden, waarbij altijd subjectieve argumenten en normen in het geding zijn.

Regulatieve ideeën vormen een onderdeel van de methodologie (Rip, 1989). Regulatieve ideeën bij onderzoek zijn volgens Swanborn (1987): waarheid, maximale informativiteit, eenvoud, geldigheid en bij praktijkgericht onderzoek verder ook bruikbaarheid en efficiëntie. Het hoogste goed bij onderzoek, 'waarheid' wil zeggen dat een in het onderzoek ontwikkelde theorie niet alleen openbaar dient te zijn, maar ook toetsbaar, en daarnaast ook getoetst dient te worden. Wil een theorie toetsbaar zijn, dan moet deze volgens Popper (1971) weerlegbaar zijn. Weerlegbaarheid en objectiviteit zijn van 'waarheid' afgeleide criteria voor het wetenschappelijk niveau van een onderzoek.

Bij ontwerpen is het hoogste goed niet meer 'waarheid', maar functionaliteit. Daarvan afgeleide criteria zijn normbeantwoording en specifieke werkbaarheid. Normbeantwoording wil zeggend dat het ontwerp voldoet aan de heersende, als geldig te beschouwen, (subjectieve!) normen van de betrokkenen. De specifieke werkbaarheid geeft aan in welke mate het ontwerp functioneel is in de gedefinieerde probleemsituatie, dus binnen de gestelde voorwaarden.

Hiermee samenhangend is het gebruik van theorie tijdens het ontwerpproces meer instrumenteel dan ontologisch. Het gaat er niet in de eerste plaats om dat de gebruikte theorie getoetst wordt op zijn weerlegbaarheid, maar de theorie moet functioneel zijn, bruikbaar voor de probleemsituatie. In het vooronderzoek, maar ook in andere fasen van het ontwerpproces, zal het doorgaans nodig zijn om de gebruikte theorie te testen op de geldigheid en bruikbaarheid ervan in de probleemsituatie. Soms is het zelfs nodig om nieuwe theorie te ontwikkelen. Het gebruik van wetenschappelijk aanvaarde ('mainstream') theorieën heeft overigens het praktische voordeel van werkbeparing. Het witte naaigaren hoeft dan niet steeds opnieuw te worden uitgevonden!

Het testen van de geldigheid en bruikbaarheid van theorieën als onderdeel van het ontwerpproces kan uiteindelijk weer bijdragen tot disciplinaire theorieontwikkeling, doordat de grenzen van de toepasbaarheid van theorieën worden verkend en men daardoor meer te weten komt over de geldigheidsvoorwaarden ervan.

5. Toegepaste onderwijskunde

In mijn visie is chemiedidactiek als wetenschapsbeoefening gericht op praktijkproblemen, met relatief veel aandacht voor maakproblemen. Ontwerpen zie ik dus als een voor de chemiedidactiek belangrijke wetenschappelijke activiteit. Deze zienswijze hangt samen met mijn werksituatie. Ik ben aangesteld in de faculteit Chemische Technologie (CT), waar we in een onderzoeksgroep van drie collega's werken aan onderzoek en ontwikkeling van chemisch en chemisch-technologisch onderwijs. In deze groep werken we aan chemiedidactiek zowel op het niveau van het voortgezet als van het hoger onderwijs, evenals dat in de Utrechtse vakgroep het geval is. In een technologische faculteit is ontwerpen een meer gangbare activiteit dan in chemie-afdelingen. Onze studenten hebben er zelfs een jaar extra studiefinanciering erbij gekregen om dat te leren! Bij mijn onderzoek- en ontwikkelingswerk op chemiedidactisch terrein vind ik veel inspiratie bij zowel de faculteit Toegepaste Onderwijskunde (TO) aan de Universiteit Twente (UT) als bij het Onderwijskundig Centrum (OC) van de UT dat tot taak heeft de faculteiten van de UT bij hun onderwijs te ondersteunen. De Engelse naam voor Toegepaste Onderwijskunde, Educational Technology, wijst op het ontwerp- en probleemgerichte karakter van deze faculteit. In haar zelfstudierapport (1991) geeft Toegepaste Onderwijskunde het volgende profiel van zichzelf:

De faculteit der Toegepaste Onderwijskunde verwerft door middel van onderzoek en verspreidt door middel van onderwijs wetenschappelijk gefundeerde kennis betreffende de toepassing van systematische, doeltreffende en doelmatige methoden en werkwijzen voor de oplossing van praktijkproblemen in de context van opleiding en training, onderwijs en informatie-overdracht.

Ik kan me als praktiserend chemiedidactisch onderzoeker heel goed in een dergelijk profiel vinden, alleen zou ik natuurlijk aan het eind toevoegen: wat betreft de chemie en de chemische technologie.

Dat ik me goed thuis voel in de toegepaste onderwijskunde heeft er ook mee te maken dat voor mij een centrale hypothese is dat leerprocessen ten aanzien van scheikunde veel aspecten gemeen hebben met leerprocessen ten aanzien van andere leertaken. Ik kan me niet gemakkelijk de omgekeerde hypothese voorstellen, namelijk dat leerprocessen ten aanzien van scheikunde aanzienlijk zouden afwijken van leerprocessen ten aanzien van andere leertaken. Dit is duidelijk een andere opvatting dan die van Verdonk (1979).

Inspiratie opdoen in de toegepaste onderwijskunde, samenwerken met toegepast onderwijskundigen, betekent wel dat je thuis moet zijn in hun wetenschappelijke wereld. Die heeft niet uitsluitend een Agora-karakter, maar ook wel enkele trekken van een Olympus-institutie. Daardoor kunnen er voor relatieve buitenstaanders, en dat blijf je toch met chemie als in die omgeving afwijkende disciplinaire achtergrond, barrières ontstaan. Het is een andere wereld. Je moet er je best voor doen om er in te komen, lezen, wennen aan de terminologie. En daarnaast wil je van je thuisbasis, van het scheikunde-onderwijs, niet vervreemden.

6. Inspirerende ideeën uit de (toegepaste) onderwijskunde

In dit gedeelte komen vijf ideeën uit de onderwijskunde aan de orde die mij hebben geïnspireerd of een rode draad boden, zowel bij onderzoek- en ontwerpactiviteiten als bij planning en uitvoering van onderwijs.

1. *Leerprocessen als uitgangspunt bij instructie-ontwerp*

De term 'kennisoverdracht' begint geleidelijk in discrediet te raken. Deze term veronderstelt een tamelijk passieve leerling waaraan de docent 'de' kennis in hapklare brokken toedient. Niet alleen bij onderwijskundigen, maar ook op de werkvloer in het voorgezet en hoger onderwijs groeit de belangstelling van docenten voor leerprocessen van leerlingen en studenten. Als je je gaat verdiepen in de literatuur over leerprocessen in de leerpsychologie, kom je allerlei leertheorieën tegen binnen verschillende paradigma's. Het nieuwste paradigma is het 'constructivisme' waarin de eigen activiteit van de leerling bij de constructie van diens kennis centraal staat. Dit paradigma is nog weinig uitgewerkt. In algemene zin is het inspirerend, maar er zijn nog weinig concrete aanknopingspunten voor onderwijsontwerp. Er zijn ideeën in verwerkt vanuit de Russische handelingspsychologie, vooral van Vygotsky (1978). In mijn werk kies ik vaak een handelingstheoretisch kader, in aansluiting op het werk van Van Parreren (zie onder andere Van Parreren & Carpay, 1980) en Mettes & Pilot (1980). Deze theorie, die vooral gebaseerd is op ideeën en onderzoek van Gal'perin, bevat mij goed, ook al is hij niet 'mainstream'. Dat hangt er mogelijk mee samen dat ik mij goed kan vinden in het mensbeeld erachter.

Een sinds de zeventiger jaren bestaand paradigma is de informatieverwerkingsbenadering; dit vindt bij de onderwijskundigen in Nederland nog steeds de meeste aanhangers. Oudere paradigma's, zoals het behaviorisme uit de zestiger jaren, blijken voor bepaalde instructie-ontwerpen zeker nog relevant te zijn. Er is een analogie met de natuurkunde: door de ontwikkeling van de quantummechanica is de klassieke mechanica ook niet onbruikbaar geworden; alleen het toepassingsgebied ervan is ingeperkt. Voor mij inspirerend waren Resnick & Ford (1981) en Gage & Berliner (1992) vanwege hun aanwijzingen en voorbeelden voor het kiezen van passende leertheoretische kaders in aansluiting op bepaalde, verschillende, leerprocessen.

2. *Onderwijsfuncties: koppeling van leerprocessen naar onderwijsprocessen*

Als leerprocessen het uitgangspunt vormen voor een onderwijs-ontwerp, dient het ontwerp een leeromgeving tot stand te brengen die de beoogde leerprocessen uitlokt. Leerprocessen en onderwijsprocessen (onderwijskundigen gebruiken hier liever de term instructieprocessen) dienen op elkaar aan te sluiten. Een dergelijke aansluiting wordt door Mettes & Pilot (1980) nagestreefd door uit de gekozen onderwijs-leertheorie activiteiten af te leiden die de noodzakelijke voorwaarden voor de leerprocessen realiseren. Deze activiteiten noemen zij onderwijsfuncties. Het idee is ontleend aan bouwkundig en werktuigbouwkundig ontwerpen. Bij het ontwerp van een huis moet bijvoorbeeld de functie 'bescherming van de bewoners tegen neerslag' worden gerealiseerd. Met behulp van expliciet geformuleerde onderwijsfuncties worden instructieprocedures en -middelen gekozen en wordt de uitvoering van onderwijs geëvalueerd. In de bouwkundige analogie wordt de functie 'bescherming tegen neerslag' gerealiseerd door het bouwen van een dak. Daarbinnen zijn nog allerlei keuzes mogelijk: plat of schuin, met stro of pannen afgedekt, enzovoorts. Zo moeten ook de onderwijsfuncties worden geconcretiseerd in de daadwerkelijke instructie.

De instructie-ontwerper heeft daarbij doorgaans een ruim scala van mogelijkheden, omdat er in de praktijk veel verschillende manieren zijn om een bepaalde functie te realiseren. Zie voor toepassing van onderwijsfuncties in concrete ontwerp situaties naast Mettes en Pilot (1980) ook bijvoorbeeld Pilot, Van Hout-Wolters & Kramers-Pals (1992) en Kramers-Pals (1994a).

Uitgaande van het door hen gekozen leertheoretische kader onderscheiden Mettes & Pilot (1980) drie hoofdfuncties: oriënteren, oefenen (met terugkoppeling) en toetsen van het leerresultaat. Daarnaast onderscheiden ze nog de voorwaardelijke functies motiveren, aansluiten bij de beginsituatie en inzicht geven in het vereiste eindniveau. Het oriënteren wordt onderverdeeld in het doen verkennen en verwerven van informatie (zowel wat betreft kenniselementen als wat betreft de probleemaanpak) en het bruikbaar (operationeel) maken van deze informatie. Veel problemen in het onderwijs hangen ermee samen dat bepaalde onderwijsfuncties in een bepaalde stuk onderwijs onvolledig zijn gerealiseerd. Vaak is er onvoldoende oriëntatie op de probleemaanpak en/of wordt de bij de oriëntatie de informatie onvoldoende operationeel gemaakt en/of is er onvoldoende oefening resp. terugkoppeling daarbij.

3. Cognitieve belasting

Sweller (1988) deed onderzoek naar de cognitieve overbelasting die kan ontstaan door beperkingen in de cognitieve capaciteit. Paas (1993) vond dat de cognitieve belasting redelijk betrouwbaar te meten is door lerenden er achteraf gewoon naar te vragen. Het onderzoek van Paas en daarmee verwant ander onderzoek (bijvoorbeeld Van Merriënboer, 1990) levert interessante resultaten op wat betreft het laten bestuderen van uitwerkingen door lerenden. Wanneer men complexe opgaven eerst zelf laten maken en pas daarna pas laat controleren, blijkt het leerresultaat veel minder goed te zijn dan wanneer de lerenden eerst actief een aantal uitwerkingen bestuderen, dus voordat zij complexe opgaven geheel zelf aanpakken. De goede leerresultaten worden erdoor verklaard dat zelf maken van complexe opgaven, wanneer men daar te vroeg aan begint, een te grote cognitieve belasting oplevert. Eenmaal zelf gemaakte fouten blijken moeilijk uit te roeien. Het onderzoek van Paas sluit aan bij dat van Van Merriënboer (1990) over het leren programmeren. De actieve bestudering wordt bij deze onderzoeken bereikt door lerenden de uitwerking resp. het programma op een aantal punten te laten aanvullen. Bij verdere oefening worden steeds grotere gedeelten weggelaten.

4. 4C model (Van Merriënboer et al.)

In hun vier-componenten-model (4C-model) stellen Van Merriënboer, Jelsma en Paas (1992) voor om bij het ontwerpen van instructie voor het aanleren van complexe cognitieve vaardigheden onderscheid te maken in gesloten vaardigheden (recurrent skills) en open vaardigheden (non-recurrent skills). De andere twee componenten van hun 4C-instructie-ontwerpmodel betreffen de kenniselementen die aan deze twee verschillende vaardigheden ten grondslag liggen. Het onderscheid in open en gesloten vaardigheden is van belang, omdat deze tamelijk verschillende onderwijsstrategieën vereisen. Gesloten vaardigheden worden relatief automatisch uitgevoerd en vragen weinig cognitieve capaciteit. De verwerving van open deelvaardigheden hangt samen met de (re)organisatie of (her)structurering van de onderliggende kennis in schemata, op grond waarvan nieuwe problemen gemakkelijker kunnen worden opgelost. Een voor veel docenten herkenbaar probleem is dat vaardigheden die

'open' bedoeld door leerlingen 'gesloten' worden geleerd: als 'truc', automatisch toepasbaar binnen een beperkt kader. Van belang lijkt te zijn dat docenten naar leerlingen toe duidelijk verschil maken in algoritmische bedoelde aanwijzingen (recepten, 'trucs') en heuristisch bedoelde aanwijzingen ('tips').

5. Teaching for transfer

Als voor het leven en niet alleen voor de school geleerd wordt, is het van belang dat de geleerde kennis en vaardigheden niet gebonden zijn aan de (min of meer toevallige) domeinen van de schoolvakken. Transfer van bijvoorbeeld leervaardigheden en probleemoplossingsvaardigheden moet dan mogelijk zijn naar nieuwe domeinen. Problemen in een technologische samenleving overschrijden immers vaak de grenzen van de vakken en men is nooit uitgeleerd. Bij verschillende onderzoeken bleek bij het bereiken van expertise op één gebied transfer naar andere gebieden echter niet spontaan op te treden. Er was daarbij weinig empirische evidentie te vinden voor algemene, context-onafhankelijke vaardigheden die op één vakgebied waren opgedaan en dan functioneerden op een ander vakgebied (Perkins & Salomon, 1989). 'Algemene ontwikkeling' zou een fictie zijn.

Recente onderzoekgegevens wijzen erop dat het feit dat transfer heel vaak niet optreedt in onderzoek en evenmin in de schoolpraktijk ook anders geïnterpreteerd kan worden, namelijk als het ontbreken van voorwaarden van transfer. In onderwijssituaties in HAVO/VWO is daarbij vooral van belang dat 'high-road transfer' expliciet de aandacht krijgt (Perkins & Salomon, 1989). Dit betekent dat verbanden en betrekkingen bewust en inzichtelijk geabstraheerd worden vanuit voorbeelden op *verschillende* domeinen of deelterreinen. Naast en in samenhang met het leren in contexten, moet dus om transfer te bereiken ook aandacht besteed worden aan 'decontextualiseren'. Nu de tweede fase vernieuwt en onderwijsdoelstellingen verschuiven van kennis 'voor de school(examens)' naar vaardigheden 'voor het leven', zal 'teaching for transfer' een belangrijk thema worden binnen de vakdidactieken (Kramers-Pals, 1994b).

7. Chemiedidactiek en chemie

In dit artikel is uitvoerig aandacht besteed aan de toegepast onderwijskundige kant van chemiedidactiek, maar er is ook in dit interdisciplinaire vak een aan chemie grenzende kant; zie fig. 1. Deze wordt duidelijk uit de volgende definitie an chemiedidactiek (Pfeifer, Häusler & Lutz, 1992, pp. 7):

Didakük versteht man gemeinhin als die Wissenschaft vom Unterricht, also vom Lehren und Lernen. Chemiedidaktiek ist eine Fachdidaktik mit der zentralen Aufgabe, Inhalte, Ergebnisse und Methoden der Chemie einschliesslich ihrer technischen Anwendung für Erziehungs- und Bildungsaufgaben zu erschliessen. Dazu entwickelt sie auch eine Theorie der Ziele und reflektiert über Methoden und Medien des Chemieunterrichts.

Ik reken de 'Aufgabe' (in Nederland heet dat tegenwoordig een missie) die in de tweede zin is weergegeven, zeker ook tot mijn taak als chemiedidacticus en praktiserend chemiedidactisch onderzoeker. Het hoofdaccent in mijn onderzoek ligt echter bij een ander deel van de 'olifant chemiedidactiek', het in de laatste zin genoemde terrein van de methoden en media. Wel heb ik veel bewondering voor het werk dat in Utrecht door Verdonk, de Vos en de andere collega's en promovendi van de vakgroep Chemiedidactiek ten aanzien van het ontsluiten van de chemie voor leer- en vormingsdoelstellingen is en nog wordt verzet. Ook

al werken we aan verschillende onderdelen van de olifant, de volgende ervaring is vermoedelijk gemeenschappelijk. Als je er tegen bestand bent dat je noch door chemici noch door onderwijskundigen gezien wordt als een volwaardige vakgenoot, dan kun je in de chemiedidactiek nuttig en boeiend wetenschappelijk werk doen!

Dankwoord

Dank aan Cees Terlouw van het Onderwijskundig Centrum van de Universiteit Twente voor zijn stimulerende bijdrage bij de opzet van de presentatie op het symposium en voor het kritisch doornemen van dit artikel, dat op die presentatie is gebaseerd.

Literatuur

- Boon, L., P. Gottschal, H. Harbers, R. Otten en G. de Vries (1991). Wetenschapsontwikkeling en kundes. *Kennis en methode*, 15, 150-163.
- Fransen, H.A.M. en N.A.J. Lagerweij (1983). *Onderwijskunde in ontwikkeling*. Culemborg: Educaboek.
- Dijkstra, S. (1986). Het curriculum in onderwijskundig en maatschappelijk perspectief. In: J.S. ten Brinke, H.P. Hooymayers en G. Kanselaar, *Vakdidactiek en informatietechnologie in curriculumontwikkeling*, 185-194. Lisse: Swets & Zeitlinger.
- Feteris, A., P.W. Verhagen en Tj. Plomp. Methodisch ontwerpen: een wetenschappelijke methode? In: Tj. Plomp, A. Feteris, J.M. Pieters & W. Tomic (red.), *Ontwerpen van onderwijs en trainingen*. Utrecht: Lemma.
- Gage, N.L. and D.C. Berliner (1992). *Educational Psychology*. Boston: Houghton Mifflin.
- Gephart, W.J. (1972). *Toward a taxonomy of empirically-based problem-solving strategies*. Paper presented at the National Symposium for Professors of Educational Research.
- Harbers, H. (1991). Kennen en kunnen. *Kennis en methode*, 15, 174-181.
- Kramers-Pals, H. (1994a). *Leren oplossen van verklaringsproblemen in het scheikunde-onderwijs*. Dissertatie. Enschede: Universiteit Twente.
- Kramers-Pals, H. (1994b). Zijn probleemoplosvaardigheden domeingebonden? *Tijdschrift voor Didactiek der β -wetenschappen*, 12(3), 195-209.
- Merriënboer, J.J.G. van (1990). *Teaching introductory computer programming*. Dissertatie. Enschede: Universiteit Twente.
- Merriënboer, J.J.G. van, O. Jelsma en G.W.C. Paas (1992). Training for reflective expertise: a four-component instructional design model for complex cognitive skills. *Educational Technology Research and Development*, 40, 23-43.
- Mettes, C.T.C.W. en A. Pilot (1980). *Over het leren oplossen van natuurwetenschappelijke problemen*. Dissertatie. Enschede: Technische Hogeschool Twente.
- Paas, G.W.C. (1993). *Instructional control of cognitive load in the training of complex cognitive tasks*. Dissertatie. Enschede: Universiteit Twente.
- Pfeifer, P., Häusler, K., Lutz, B. (1992). *Konkrete Fachdidaktik Chemie*. München: Oldenbourg.
- Pilot, A., B. van Hout-Wolters en H. Kramers-Pals (1992). *Schriftelijk Studiemateriaal*. Groningen: Wolters-Noordhoff.

- Popper, K.R. (1971). *Logik der Forschung*. Tübingen: Mohr/Siebeck.
- Raat, J.H. (1981). *Vakdidactiek natuurkunde als interdiscipline, mogelijk en noodzakelijk*. Inaugurele rede. Eindhoven: Technische Hogeschool.
- Resnick, L.B. and W.W. Ford (1981). *The psychology of mathematics for instruction*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Rip, A. (1989). Sturing en stuurbaarheid van de wetenschappen. Het model van de Starnbergers. In: A. Korthals (red.), *Wetenschapsleer*. Meppel: Boom, 187-206.
- Swanborn, P.G. (1987). *Methoden van sociaal-wetenschappelijk onderzoek*. Meppel: Boom.
- Sweller, J. (1988). Cognitive load during problem solving: Effects on learning. *Cognitive Science*, 12, 257-285.
- Toegepaste Onderwijskunde (1991). *Zelfstudierapport*. Enschede: Universiteit Twente.
- Ulich, D. (1972). *Theorie und Methode der Erziehungswissenschaft*. Weinheim/Basel: Belz Verlag.
- Veerman, C.P. & Essers, J.P.J.M. (1988). *Wetenschap en wetenschapsleer*. Delft: Eburon.
- Verberk, F.A.E. (1992). *Wat is wetenschap*. Baarn: Nelissen.
- Verdonk, A.H. (1979). *Chemiebeoefening als universitair leerproces*. Inaugurele rede. Utrecht: Rijksuniversiteit Utrecht.
- Vos, W. de (1994). Chemie-onderwijs: voor wie? *NVOX*, 19, 109-113.

Chemie-onderwijzen en didactische structuur





Chemie-onderwijzen en didactische structuur

Henk ten Voorde
Didactiek der scheikunde
Universiteit van Amsterdam

Inleiding

Deze titel van mijn voordracht geeft de thematiek aan van het onderzoek van het laatste decennium van de onderzoeksgroep Didactiek der Scheikunde in Amsterdam. Erik Joling promoveerde in 1993 op een chemie-didactisch onderwerp met betrekking tot een deel van de module "Anorganische Chemie" in de propedeuse. Zijn proefschrift is veelzeggend getiteld: "*Chemie in gesprek*". In de ondertiteling "*Een didactisch onderzoek naar een derde wijze waarop het zakelijk gesprek in chemiebeoefening en onderwijs voortgezet kan worden*" komt zijn bijdrage aan de ontwikkeling van de didactische structuur tot uitdrukking.

Hij beschouwt in zijn studie mijn poging om tot inzicht te komen in de wijze waarop groepjes leerlingen zelf hun chemie-context tot stand brengen. Deze groepsproductiviteit heb ik kunnen beschrijven volgens drie perioden, te weten:

- een periode waarin de leerlingen woorden uit de leefwereld kiezen om hun persoonlijke bevindingen met stoffen en stofveranderingen onder woorden te brengen: het vullen van een grondniveau;
- vervolgens worden deze verwoorde, persoonlijke bevindingen op hun verstaanbaarheid getoetst en komt men tot een gemeenschappelijke benoeming van chemische verschijnselen: deze benoeming van gegeneraliseerde ervaring noemde ik de overgang van een grondniveau naar een beschrijvend niveau;
- vervolgens gaan de leerlingen de bruikbaarheid van deze, empirisch te noemen taal na en gaan zonedig over tot een principekeuze om in de taal de mogelijkheden en onmogelijkheden van de beschrijvingen vast te leggen: de overgang van beschrijvend naar theoretisch niveau.

Om deze structuur van een chemiecontextvorming in een gespreksgroep te verklaren had ik voor het principe gekozen dat een gesprek slechts op twee wijzen kan voortgaan en wel:

- " - ten eerste in een kontekst (..) en
- ten tweede over problematisch geworden uitdrukkingen, in een nieuwe kontekst (..) " (Ten Voorde (1977), p.515)

Joling vermoedde dat er niet slechts twee mogelijkheden zijn voor de voortgang van een gesprek, maar dat een derde mogelijkheid onder ogen dient te worden gezien om tot een bruikbare, didactische structuur-beschrijving te kunnen komen voor chemie-onderwijs. Hij noemt deze de "*niveau-invariante contextwisseling door wijziging van thematische gerichtheid*" en licht dit als volgt toe.

"Ik denk hierbij aan een verandering van thematische gerichtheid die ik ook herken bij het ontstaan van een context waarin over puntmassa's of massapunten gesproken kan worden. Als ik spreek over een voorwerp dat een zekere massa heeft, dan is daar onlosmakelijk aan gekoppeld dat zo'n voorwerp ook een zeker volume heeft. Massa en volume zijn immers verbonden door de voorwerpseigenschap dichtheid. Als ik daarentegen over

een punt spreek, spreek ik niet over een voorwerp dat massa en volume heeft. Bij een puntmassa echter, spreek ik over iets dat geen volume, maar wel massa heeft, en ondanks die massa zich als een meekundig object laat beschrijven.” (p.66)

Ik ben op deze wijze mijn voordracht begonnen omdat dit proefschrift het eerste wetenschappelijk werk is, dat onder Verdonk en mij in samenwerking tot stand is gekomen. Hiermee wordt tevens aangegeven dat de visie van de onderzoeksgroep in Amsterdam mogelijkheden in zich heeft chemiedidactiek als wetenschap te beoefenen. Om dit nader uit te kunnen werken in deze voordracht, zijn in deze inleiding reeds globaal enkele termen (“zakelijk gesprek”, “principe”, “niveau”, “contextwisseling”, “thematische gerichtheid”,...) aangereikt. Immers deze samenhang duidt een context aan en wel de context, die onze werkgroep noemt: “didactische structuur”.

De relatie chemie-onderwijzen en didactische structuur wil ik nader gaan invullen door

- aan te geven hoe door het onderzoek van Joling de samenhang tussen wetenschappelijke chemie en chemie-onderwijs gezien kan worden volgens het gespreksmodel (par.1);
- te beschrijven hoe de aangeduide didactische structuur is voortgekomen uit de keuze voor een ideaal en daarmee afstand te nemen van ‘modernisering’ als een trendmatige ontwikkeling in chemie- onderwijs (par.2.);
- te vermelden, aan de hand van lopend onderzoek van thermodynamica-onderwijs, hoe deze trend nog steeds leidt tot problemen in universitair chemie-onderwijs (par.3);
- mede aan de hand van de studie van Michiel Vogelesang (1990) na te gaan hoe tekortkomingen van deze moderniseringstrend voorkomen kunnen worden (par.4) en
- tenslotte door het perspectief te schetsen voor onderwijs in de natuurwetenschappelijke disciplines dat geboden wordt door ontwikkeling van de didactische structuur (par.5).

1. Didactische structuur van wetenschappelijke chemie

Ik ga nu eerst in op de wijze waarop Joling het mogelijk heeft gemaakt thans te spreken van “didactische structuur van de chemie”. Hiertoe zal eerst worden aangegeven hoe in zijn beschrijving van een gespreksstructuur tussen enkele wetenschappers een samenhang van drie contexten tot uitdrukking komt om vervolgens nader in te gaan op de relatie die door hem is gelegd met het wetenschappelijk chemie- onderwijs.

a. Over het voortgaan van een gesprek van natuurwetenschappers

Joling analyseert het woordgebruik in een aantal publicaties van Born, Haber en Fajans. In deze publicaties reageren een fysicus en twee chemici schriftelijk op elkaars werk terwijl toch ieder zich vanuit eigen achtergrond met eigen vraagstellingen bezig houdt. Hij concludeert tot de volgende structuur van dit “extreme gesprek”.

“In de als gesprek geïnterpreteerde reeks artikelen van Haber, Born en Fajans kon ik ondanks het verschil in thematische gerichtheid geen stokken van het gesprek aanwijzen, integendeel. Het productief gebruiken, het inpassen in de eigen thematische gerichtheid (zoals Haber die Borns model kon gebruiken als steun voor zijn roostermodel voor metalen en

Born die de steun van Fajans gebruikte om zijn model te bevestigen) en het kritisch volgen van elkaars argumentatie (zowel Haber als Fajans willen dat Born de vrije energie berekent, omdat dan toetsing aan meetgegevens mogelijk wordt) duiden er voor mij op dat Born, Fajans en Haber uit zijn op elkaar verstaan en het doen ontstaan van een gemeenschappelijke zaak 'ionrooster', ondanks de verschillende doelen die elk zich stelt. Omdat ik een streven naar een correcte beschrijving herken, waarbij de gespreksdeelnemers elkaar telkens wijzen op incorretheiden, kenmerk ik de kwaliteit van het gesprek als van een beschrijvend niveau. Daarbij worden elkaars ordenende principes niet ter discussie gesteld." (p.65/66)

De context waarin van "ionrooster" wordt gesproken herkennen we als *chemie*, zeker wanneer we letten op de termen in die artikelenreeks waarmee die auteurs trachten te komen tot een disciplinerende van het gesprek overeenkomstig een *beschrijvend niveau chemie*. Letten we op de uitdrukkingen ("roostermodel voor metalen", "vrije energie", "meetgegevens") die Joling hanteert om de zaken waarover de auteurs spreken te karakteriseren, dan horen we hierin weliswaar zijn gebondenheid aan de chemie terug maar zullen we eerder geneigd zijn bij zijn aanwijzend, didactisch woordgebruik ("gemeenschappelijke zaak", "correcte beschrijving"...) te spreken van een *chemiedidactische context*.

Zijn vraagstelling naar de correctheid van de beschrijving van een didactische structuur formuleert Joling (p.66) als volgt:

" Kan zo'n voortgang van een gesprek, waarin de thematische gerichtheid van de gesprekspartners weliswaar verschillend is maar waarin toch een gemeenschappelijk zaak ontstaat, nog wel beschreven worden als uitbreiding van een context van een beschrijvend niveau? Is hier sprake van het ontstaan van een nieuwe context? Die nieuwe context heeft dan niet de kwaliteit van het theoretische niveau; er zou dan sprake kunnen zijn van een niveau-invariante contextwisseling."

Omdat deze vraagstelling gericht is op het correct beschrijven volgens een samenhang van termen horende bij de gezichtspunten "context" en "Van Hiele niveaus" spreekt Joling een behoefte uit aan een argumentatie met de kwaliteit van *beschrijvend niveau* in een *didactiek- context*.

We merken aldus in zijn didactische analyse een samenhang van minstens drie contexten (chemie, chemiedidactiek en didactiek) op, waarin een chemiedidacticus zich moet kunnen oriënteren.

b. Over het stokken van een gesprek van natuurwetenschappers

Naast het voortgaan van een gesprek wijst Joling op het stokken van het gesprek tussen Armstrong (chemicus) en Rutherford (fysicus). Dit elkaar-niet-verstaan ontstaat naar aanleiding van de uitspraak van Rutherford dat elementen van verschillend atoomgewicht voor kunnen komen terwijl ze chemisch niet onderscheidbaar zijn.

Deze uitspraak is voor Armstrong onaanvaardbaar.

Door analyse van de discussie tussen beide wetenschappers komt Joling tot de conclusie dat hun gebruik van het woord "atoom" niet alleen verschilt in de betekenis die Armstrong en Rutherford elk aan dat woord geven, maar ook verschilt in de functie die dat woord heeft in hun argumentaties. Hij licht (p.32-38) dit als volgt toe:

“ Bij Rutherford is ‘atoom’ de naam van het object van onderzoek, de zaak waarover gesproken wordt; bij Armstrong is het een woord waarmee over zijn zaak: regelmatigheden in de reactiemogelijkheden van stoffen, gesproken kan worden. In het spreken van zowel Armstrong als Rutherford kan ik dus een zekere gelaagdheid opmerken, waarbij ik hier twee *niveaus* onderscheid. De relatie tussen deze niveaus kan in eerste instantie geschetst worden als: het ene niveau spreekt zich door een principekeuze uit over over de structuur van het andere niveau. Bij Rutherford zou de keuze van N als veelvoud van een aantal ladingseenheden op de atoomkern zo’n principekeuze genoemd kunnen worden. Bij Armstrong de keuze voor een kleinste gewichtsverhouding waarin elementporties bij chemische reacties niet verder verdeeld kunnen worden: het chemisch atoom (Vogelezang, 1990).

(..)

Het verschillend functioneren van het woord ‘atoom’ kan ik begrijpen als betrekking hebbend op een andere zaak en als behorende tot een andersoortig niveau.”

Schematisch kan het functioneren van het woord atoom met betrekking tot zowel de gelaagdheid als tot het verschil in zaak als volgt worden weergegeven.

	Rutherford	Armstrong
zaak (object v. onderzoek)	atomen	regelmatigheden in reactie- mogelijkheden van stoffen
kwaliteit argumentatie:	beschrijvend niveau	beschrijvend niveau
principe	N = veelvoud van een aantal ladingseenheden	atoom als onverdeelbare eenheid van elementmassa- porties (‘chemisch atoom’)
	volgnummer is geheel getal	niet volgnummer, maar atoomgewicht is bepalend
kwaliteit argumentatie:	theoretisch niveau	theoretisch niveau

c. Relatie chemie en chemie-onderwijs

Hier is op de eerste plaats zo uitvoerig stilgestaan bij het werk van Joling omdat er mee aangegeven wordt in welke zin thans van didactische structuur in wetenschappelijke zin gesproken wordt in onze onderzoeksgroep. De termen zoals “zaak”, “context”, “niveau’s” (lees: Van Hiele niveaus), “*thematische gerichtheid*”, “*principekeuze*”, maken deel uit van zo’n didactische structuur en benoemen gezichtspunten of criteria volgens welke de onderwijsstructuur consequent beschreven wordt. Daartoe functioneren ze als schakels in een argumentatie die nodig is om aan te geven dat een gegeven beschrijving van de onderwijssituatie, gezien als een zakelijk gesprek, correct genoemd mag worden en door deze kwaliteitseis van een beschrijvend niveau overtuigend wordt in de didactiek.

Op de tweede plaats analyseert Joling voor het eerst vanuit een didactische invalshoek enkele momenten in de ontwikkeling van natuurwetenschappen. Voor deze analyse van het al dan niet doorgaan van een wetenschappelijk gesprek

blijken de zo juist genoemde gezichtspunten bruikbaar. Van deze gezichtspunten waren o.m. zaak, context en niveaus gedurende de afgelopen dertig jaar bruikbaar gebleken in onderzoek naar *de structuur van chemie-onderwijs-situaties als basis voor chemie-didactiek* (De Miranda, 1962).

Tenslotte krijgt deze relatie tussen contextvorming in de chemie en de contextvorming in chemie-onderwijs extra betekenis doordat Joling (p.67-131) middels een didactisch experiment ook heeft aangetoond dat zijn gezichtspunt 'niveau-invariante-contextwisseling' bruikbaar is om chemie-onderwijzen een verfijnde geleiding te geven.

Daartoe werkt hij het wel bekende 'bollenpracticum' in de propedeuse om tot een practicum, waarin studenten een reeks opdrachten uitvoeren om gezamenlijk tot de context 'ruimtelijke ordening' te komen. De studenten maken daarbij zelf stapelingen van pingpong-ballen, waarbij ze tot een structuur in hun handelingen komen die gepaard gaat met het gaan argumenteren op beschrijvend niveau. In deze context spelen niet meer de eigenschappen van pingpong-ballen een rol, maar wel eigenschappen vertegenwoordigd in het meetkundige begrip 'bol'.

Na op deze wijze een overgang van een grondniveau gemaakt te hebben naar een beschrijvend niveau, wordt de keuze van het ordeningsprincipe "niet-afzonderbaarheid van de structuurelementen" van belang om de context "ruimtelijke ordening" nader in te kunnen vullen. Immers door deze principekeuze wordt het inzichtelijk dat er slechts sprake kan zijn van niet meer dan twee verschillende structuren: een kubisch dichtste bolstapeling en een hexagonale. Dit aantal komt dan overeen met het aantal stoffen met eenzelfde chemische samengesteldheid, bijv. zinkblende resp. wurtziet voor ZnS. De hiervoor benodigde context - te noemen: kristalstructuur - kan ontstaan door het samengaan van de contexten "chemische samenstelling" en "ruimtelijke ordening":

chemische samenstelling + ruimtelijke ordening → kristalstructuur.

Echter het verschil in verbrandingsenthalpie van diamant en grafiet of in vormingsenthalpie van zinkblende resp. wurtziet is niet verklaarbaar binnen deze context. Dit wordt wel mogelijk door het samengaan van de context "kristalstructuur" met de context "coulombse interactie" tot de context "ionenrooster".

coulombse interactie + kristalstructuur → ionenrooster

Op deze wijze waren studenten in staat om in een groepsgesprek de Madelungconstante een betekenis te doen krijgen ten aanzien van de structuur van een regelmatige ordening van ionen, om vervolgens de Madelungconstante te kunnen zien als een voor die structuur kenmerkende constante in de berekening van de potentiële energie van een rooster met die bepaalde structuur.

Conclusie:

Lerenden kunnen door niveauverhoging en door niveau-invariante contextwisselingen in chemie-onderwijs ervaringen opdoen met kwaliteiten van wetenschapsbeoefening, waarbij de zaken en thema's nog niet die zijn van het front van de betreffende wetenschap maar wel reeds voorbereidend zijn voor die zaken van de wetenschap doordat ze de benodigde kwaliteit van argumentatie reeds hebben leren kennen.

Op grond hiervan lijkt ons onderzoeksproject getiteld: "De aard van de begrenzing in de chemische begripsontwikkeling bij de overgang Voorbereidend Wetenschappelijk Onderwijs naar Wetenschappelijk Onderwijs", van de Didactiek der Scheikunde in Amsterdam te leiden tot het volgende perspectief: **Voor de overgang van het Voorbereidend Wetenschappelijk Onderwijs naar het Wetenschappelijk Onderwijs kunnen ten aanzien van chemie-onderwijs criteria worden geformuleerd in termen van de didactische structuur.**

Ter afronding van dit onderzoeksthema worden in Amsterdam nog twee promotie-onderzoeken uitgevoerd:

- in het thermodynamica-onderwijs door Wolter Kaper en
- in biochemie-onderwijs door Auke Jongbloed.

2. Ontwikkelen van didactische structuur op basis van vernieuwen van chemie-onderwijzen

Met het oog op de gelegenheid waarvoor we hier zijn, wil ik nader ingaan op de samenhang tussen chemie-onderwijzen en zijn didactische structuur en tevens aangeven welke ontwikkeling tot dit bovengenoemd perspectief heeft geleid. Ik zie de voortgang van het genoemde chemiedidactisch onderzoek van de afgelopen tien jaar als een resultaat van de samenwerking tussen Adri en mij. Belangrijk hiertoe was zijn aanspreekbaarheid (Verdonk, 1979) voor de wijze waarop ik in mijn proefschrift de didactiekbeoefening had omschreven:

"De term onderwijzen wordt veelal gebruikt om bepaalde activiteiten van de leraar in de onderwijssituatie aan te duiden. Voor het planmatig organiseren van onderwijzen (instituten) is een systematische bezinning nodig op de uitgangspunten, methoden, resultaten enz. van dit onderwijzen. Deze systematische bezinning duiden wij aan met didactiek-beoefening. Didactiek wordt hierdoor niet alleen onderscheiden van onderwijs, maar ook van praktisch denken en spreken over onderwijs bij bijv. lesvoorbereiding."

Deze omschrijving heb ik destijds (Ten Voorde, 1977) weergegeven in woorden uit de leefwereldtaal waarin een scheikundeleraar, die zijn onderwijspraktijk vernieuwt op grond van zijn ervaringen bij zijn onderwijzen, spreekt. Ze is een globale verwoording en is tegelijkertijd vaag te noemen. Immers geheel vrijblijvend lijken we hier het voorvoegsel "chemie" te kunnen plaatsen bij onderwijzen én bij didactiek. Maar doet het er niet toe of we spreken van chemie- of natuurkunde- of biologie-of wiskunde- onderwijzen? Evenzo is de vraag te stellen: Doet het er niet toe welke methode we bij chemie-onderwijs gebruiken of volgen?

Houden we echter rekening met de onderwijssituatie als voedingsbodem voor bezinning op onderwijzen, dan houdt deze omschrijving voor de beoefenaren van chemiedidactiek een taakstelling in die gedaan wordt vanuit een hun bekende situatie (als chemie- onderwijzenden) en gericht op een vaag aan te duiden doel. Door deze vaagheid wordt het mogelijk tussentijds de taak bij te stellen.

De aanleiding tot bezinning is essentieel voor de gerichtheid van de taak en evenzo is de invalshoek van waaruit een resultaat tijdens onderwijzen wordt beoordeeld belangrijk, maar niet in het minst ook het gezichtspunt dat men kiest om de nieuwe onderwijstaak te kunnen stellen om tot 'verbetering' te komen.

Met andere woorden: men heeft aandacht voor de *kwaliteit* van een (veranderings)proces waarin men zelf betrokkene is. Zo'n kenmerk van een procesmatige organisatie van onderzoek, herkende ik recentelijk in de karakterisering door Van Deursen (1994) van het werk van Huizinga op latere leeftijd:

“Hij vroeg toen niet meer in de eerste plaats naar het verleden van onze cultuur, maar naar haar kwaliteit, en daarmee haar mogelijkheid van voortbestaan.”

In een vergelijking met het werk van Da Costa zegt Van Deursen ten aanzien van deze kwaliteit:

“Beide auteurs analyseerden de cultuur van hun tijd, gaven haar gebreken aan, zochten oorzaken van de kwalen, en stelden een recept op voor het vereiste medicijn.”

Echter dan nog blijft de vraag: kwaliteit in welke betekenis?

Kiest men dus voor didactiekbeoefening van chemieonderwijs zoals hierboven is aangegeven, dan komt men als gevolg van de beoordeling van zijn chemieonderwijzen voor de keuze te staan

- de bestaande kwaliteit tot trend te maken en het onderwijzen te optimaliseren, dit is *verbeteren* te noemen, dan wel
- die kwaliteit te gaan veranderen door een nieuw ideaal te kiezen, dit is *vernieuwen* te noemen.

a. De trend: vorming naar het beeld van de chemicus

Ik ga daarom nog even in op mijn beslissing in het spanningsveld, veroorzaakt door een trend te willen handhaven dan wel voor een (nieuw) ideaal te willen kiezen .

Het chemie-onderwijzen -ook universitair- was in begin vijftiger jaren nog zodanig ingericht dat men een belangrijk deel van de chemiekennis als een veelheid van feiten trachtte over te dragen en dit leerlingen/studenten te laten leren. Ik breng voor de ouderen onder u hier even “de Holleman” en “de Karrer” in herinnering. Het huidige biochemie- onderwijs draagt dit kenmerk nog in sterke mate en met het oog op tentamen-doen speelt het ‘van-buiten-leren’ nog steeds een grote rol en niet alleen in het biochemie-onderwijs. Uit ervaring met zulk chemie-onderwijs, zowel als student als nadien als leraar, was voor mij eind jaren vijftig een ongenoegen ontstaan omdat “leerlingen een aangeleerde vaktaal gebruiken, waarin de samenhang met ‘zichtbare’ verschijnselen ontbreekt”. Dit was voor mij toen reeds voldoende motief om in mijn onderwijzen te streven naar een meer *empirische wijze van inleiden* tot de chemie. Immers voor zo ver in de universitaire studie inzicht werd nagestreefd, was je op die samenhang met “zichtbare” verschijnselen door zulke overdracht van feitenkennis in het VWO niet of onvoldoende voorbereid.

Eind vijftiger jaren wordt in ruimere kring erkend dat die overdracht van chemische feiten leidt tot resultaten die niet meer passen bij de stormachtige ontwikkeling van de natuurwetenschappen (sputnik-effect). In 1960 werd het in internationaal verband -ik memoreer de OECD-conferentie met als thema “New thinking in School Chemistry”- nodig gevonden de chemische feitenkennis meer inzichtelijk te maken en daartoe de moderne ideeën van de chemie als grondslag te benadrukken. Ik denk hierbij aan atoombouw als het bindende element van het periodieke systeem en aan de vier bindingstypen ter verklaring van chemische verschijnselen.

"Modern ideas in teaching Chemistry. Now we realise that, as far as is possible, we must feed modern ideas to the introductory courses. We have found that students to whom the notions of atomic structure are presented at an early stage, possess a framework on which they can pin the facts in logical order, an order in which facts are easily appreciated and readily remembered."

Hierin kunnen we de "vervroeging" of "modernisering" nog horen doorklinken, die eind jaren dertig reeds geïnitieerd was door Van Arkel.

Ook ik had in de vijftiger jaren een tijdlang mijn chemie-onderwijzen trachten te verbeteren door een leerboek te nemen dat op die wijze een ordening van feitenkennis nastreefde. De kwaliteit van het chemie-onderwijzen (VWO) veranderde daarbij in het doen aanleren van de zgn. denk- en werkwijze van chemici zoals dit in het universitaire chemie- onderwijs werd aangeleerd. De norm voor de juistheid van een redenering resp. voor de correctheid van de vaardigheden bleef die van de chemicus. Deze trend komt nog in 1968 tot uiting wanneer de regering in Nederland en mede op aandringen van het universitaire chemie-onderwijs -'van boven af' dus- voor het VWO- chemie-onderwijs een commissie instelt en die "modernisering leerplan scheikunde" noemt. In het onderwijsplan volgens deze CMLS vinden we die chemische normstelling ook terug in het doen van chemische proeven en het leren maken van een verslag ervan. Maar de chemicus als leraar of als auteur bleef de expert en legde de chemienormen ook in dit opzicht op aan de lerenden.

In die zin blijft onderwijzen naast overdragen van feitenkennis ook overdragen van denk- en werkwijzen van de chemicus inhouden. Deze verandering van accentlegging ten aanzien van chemie-onderwijzen ben ik een verschuiving van 'leerstofoverdracht' naar 'vorming volgens het beeld van de chemicus' gaan noemen. Ook mijn eerder genoemd gebruik van het woord 'inleiden' in "empirisch inleiden" wijst nog op een vanzelfsprekendheid in dit kader 'vorming'.

b. Het nieuwe ideaal: productieve verscheidenheid van gelijkgerechtigden

Voordat de CMLS wordt ingesteld, is in 1963 reeds het ongenoegen met de kwaliteit van de onderwijsresultaten in de onderwijsopvatting "vorming" geuit vanuit een groep van scheikundeleraren en enkele didactici (De Miranda, 1964). Die onderwijsresultaten - toen door deze scheikundeleraren nog voornamelijk opgemerkt als gepaard gaande met de premature invoering van het deeltjes-concept - worden in de zeventiger jaren in de onderwijsresearch-literatuur aangeduid met "misconcepties".

Echter in die groep van scheikundeleraren, waartoe ook ik behoorde, zijn deze misconcepties in begin van de zestiger jaren reeds onderkend als correcte concepties van leerlingen; de leerlingen kunnen alleen op die wijze de door scheikundeleraren niet bedoelde betekenis van de gebruikte chemie- termen verstaan en verwoorden in de taal die zij gewoon zijn te spreken. Waar de scheikundeleraren en schoolboeken een abstracte betekenis bedoelen met atoom als kleinste deeltje, verstaan de leerlingen dit als zijnde kleine stukjes van macroscopisch waarneembare hoeveelheden stof. De denkwijze van een leraar als chemicus komt dus - ondanks de goed bedoelde wijze van vereenvoudiging - geheel niet overeen met die van zijn leerlingen. Zulke aangeleerde, verfeitelijkte kennis als resultaat van prematuur aangeboden, gegeneraliseerde wetenschappelijke feiten noemden wij *naïef-realistisch*.

Binnen die groep van leraren was de ervaring opgedaan dat, ondanks vele pogingen daartoe, de bedoelde abstracte betekenis niet kon worden duidelijk gemaakt aan hun leerlingen. Die ervaring met chemie-onderwijzen verwoordden zij met *niet-kunnen-uitleggen*. Maar we werden in onze mening bevestigd toen wij zelf, als universitair chemisch geschoolden binnen deze groep van leraren, vragen als "wat is een atoom?" niet konden beantwoorden. Evenmin konden onze collega's buiten die groep ons het antwoord geven. Zij en wij kwamen voortdurend in taalnod. Ook de chemie gaf hiervoor geen oplossing. Wij dienden zelf een chemie-taal te verwerven die bruikbaar was voor chemie-onderwijzen. Het oplossen van dit probleem bij chemie-onderwijzen zag die groep van leraren als een eerste opgaaf voor het veranderen van de kwaliteit van chemie-onderwijzen.

Mogelijk nog opmerkelijker is dat velen (zoals: leraren, bestuurders, chemici, ouders van leerlingen en met name de hoger geschoolden onder hen) deze interpretatie van een onderwijsprobleem niet deelden. Evenals in de klas ontmoetten wij ook daarbuiten een verschijnsel dat we gingen noemen *een kloof van onverstaanbaarheid*. Dit verschijnsel kon later begrepen worden als een verschil in cultuuropvatting ten aanzien van onderwijzen en leren. Deze groep -van onderop werkend- sprak daarom niet van 'modernisering van scheikunde-onderwijs', maar van "vernieuwing van scheikunde-onderwijs". Niet langer stond voor ons centraal de leerling als individu, maar wel werd de productiviteit van het samen doen van proeven én samen spreken over eigen ervaringen bij die proeven ons fundamentele uitgangspunt voor chemie-onderwijzen en chemie-leren. Dit idee van productieve verscheidenheid van een gesprek beschreef De Miranda recentelijk (1993) als volgt:

"Ik vertel mijn gesprekspartner iets over een persoonlijke ondervinding, die ik moeilijk kan verwerken. Om te tonen dat hij mij begrepen heeft, vertelt hij een dergelijk voorval, dat hem is overkomen. Als ik dan mijn ondervinding herken in zijn relaas en hem dat vertel, weten wij beiden dat we over hetzelfde praten. Daardoor is mijn ondervinding veranderd: het is geen droom of fantasie maar werkelijkheid. Voor zijn ondervinding geldt hetzelfde. Deze werkelijkheid kunnen we anders benoemen, bijvoorbeeld 'ervaring'. Maar dit woord is nog te veelduidig in het gewone taalgebruik. Het specifieke van *mijn* ondervinding die *hij* herkent, terwijl *ik* onderken dat *zijn* herkennen terecht was, kunnen we 'directe ervaring' noemen. Zulke ervaring is a.h.w. 'geijkt in consensus over gezamenlijke ondervinding'."

Deze productieve verscheidenheid wordt in onderwijssituaties vergemakkelijkt door als *groeps*grootte principieel te kiezen voor *minstens drie*, in ieder geval *geen twee* leerlingen. Immers bij een groep van minstens drie leerlingen kan een derde gespreksdeelnemer vanuit zijn/haar achtergrond zich uitspreken op het elkaar mis-, half- of zelfs niet-verstaan van de andere twee deelnemers. Dus is niet alleen het spreken functioneel geworden, maar functioneert ook het elkaar wel of niet kunnen verstaan. Dit wordt van groot belang, zodra van de groep een contextwisseling dan wel niveauverhoging vereist wordt om hun gesprek te doen voortgaan. Ofwel de stap te doen die De Miranda aansluitend aan het hiervoor genoemde citaat beschrijft:

"Er kan ook meer gebeuren dan wederzijds herkennen. Door zijn verhaal (o.m. woordkeus) kan ik een betere kijk krijgen op onze directe ervaring en dat kan omgekeerd ook bij hem gebeuren. Dank zij onze verscheidenheid kunnen wij productief tot een meer realistische 'kijk'

komen op de zaak die onze aandacht trok en wij vinden beter passende 'taal' om daarover te praten."

Het gaat bij deze ideaalkeuze vergeleken met de gangbare trend 'vorming' dus niet alleen om een probleem rond de invoering van de corpusculaire terminologie op het VWO, maar om een onderwijsprobleem dat veel omvangrijker en ernstiger is. In het nieuw te ontwikkelen kader wordt een didactische structuur ontwikkeld die de kloof van onverstaaenbaarheid tussen de vaktaal van de leraar en de leefwereldtaal van de leerlingen doet verdwijnen. Kenmerkend hiervoor is:

- dat de mogelijkheid van chemie-leren van de leraar in een afhankelijkheidsrelatie staat tot chemie-leren door leerlingen;
- dat de chemische taalverwerving van de leerlingen plaatsvindt op grond van eigen ervaringen in het handelen, bespreken van die ervaringen in de groep zodat een intersubjectieve taal ontstaat om resultaten van dat handelen te kunnen verwoorden en om vervolgens nieuwe ervaringen mogelijk te maken;
- dat didactische taalverwerving van de leraren op soortgelijke wijze plaatsvindt als de chemietaalverwerving in de klassituatie, zij het dat nu niet het chemisch handelen maar het onderwijzend handelen zaak van het gesprek is.

c. Het belang van deze didactische structuur voor universitair chemie- onderwijs

Dat de omvang en de aard van het genoemd onderwijsprobleem niet beperkt blijft tot de invoering van het deeltjes-concept en evenmin tot het VWO, blijkt ook uit de wijze waarop die zgn. modernisering doorwerkt in het universitaire chemie-onderwijs. De volgende twee voorbeelden zijn gekozen uit het tweede jaars module "Fysische Chemie II" (Kaper,1992). Evenals in het VWO aanbod blijkt de wijze van uitleggen in het boek voor wetenschappelijk chemie-onderwijs in strijd te zijn met wat op een later moment nodig is om te zeggen. Zulke paradoxale momenten zijn typerend voor de onderwijsopvatting 'vorming', waarbij namelijk in de uitleg de norm voor een uitspraak niet expliciet wordt. Zo berust bij Atkins (1990) de introductie van het "aantal realiseringmogelijkheden" W in de formule $S = klnW$ -tot in de woordkeus aan toe- op onderscheidbaarheid van moleculen.

"One candidate for entering the upper state can be selected in N ways. There are $N-1$ for the second choice, corresponding to $N(N-1)$ choices overall. However, we should not distinguish the choice (Jack, Jill) from the choice (Jill, Jack), and so, only half the choices lead to distinguishable configurations." (p.568)

Er worden "kandidaten" uitgekozen en zo nodig hebben deze kandidaten ook namen. De mogelijkheid: Jack in niveau 0, Jill in 1, en de mogelijkheid Jack in 1, Jill in 0, worden bijvoorbeeld als onderscheidbaar beschouwd. Zestien bladzijden later wordt deze veronderstelling tegengesproken:

"Unfortunately, the derivation fails in a very important case. If all the molecules are identical and free to move through space, we cannot distinguish them. Suppose that molecule 1 is in some state a , molecule 2 in b and molecule 3 in c , then one member of the ensemble has an energy $E = \epsilon_a + \epsilon_b + \epsilon_c$. This member, however, is indistinguishable from one

formed by putting molecule 1 in state b, molecule 2 in state c, and molecule 3 in state a, (...)." (p.584/585)

Opmerkelijk is, dat Atkins niet-onderscheidbaarheid kennelijk alleen kan uitleggen door de moleculen eerst te onderscheiden (met nummers: 1, 2 en 3), en vervolgens te zeggen dat dit onderscheid geen grond heeft. Atkins lijkt in *taalnood* te verkeren bij het uitleggen. Dit wil zeggen dat in de uitleg het begrip 'onderscheidbaar' niet in levende taal wordt of kan worden ingebed. De auteur heeft door de keuze voor een uitlegsituatie voor een niet uit-te-leggen begrip zichzelf in zo'n situatie gebracht.

Het tweede voorbeeld (engelse vertaling in Kaper, 1993) van taalnood is genomen uit een onderwijssituatie, waarbij sommen uit het boek van Atkins worden gemaakt. In dit werkcollege legt de docent de onderscheidbaarheid als volgt uit, nadat hij het reeds eerder heeft geïntroduceerd in het hoorcollege:

- 1 D: (...) Als ik een gas heb zou ik dan de deeltjes uit elkaar kunnen houden?
S: nee
D: (...) Bedenk als ik een gas heb, die deeltjes bewegen alle kanten op. Als je even je ogen dicht doet en je kijkt weer dan zijn er ongetwijfeld wel eens twee van plaats gewisseld. Daar kan ik dat niet zien.
- 5 Dus voor gassen, die (deeltjes) zijn absoluut on-onderscheidbaar. Dus voor gassen moet ik die factor gebruiken.
- (..) (over een andere vraag)
- 10 Bij een vaste stof kun je ook de deeltjes niet onderscheiden in die zin dat je niet kunt zien dat deeltje heeft nummer 1 en dat heeft nummer 3. Maar het is wel zo dat de deeltjes op hun vaste plaatsen blijven zitten in een kristal en in een vaste stof. Dus daar blijven ze weliswaar heen en weer trillen in hun hokje, maar het zijn dus wel deeltjes die je zou kunnen onderscheiden als je oogjes maar klein genoeg waren. Als je
- 15 lang niet geslapen hebt of zo, dan heb je dat...

Met zijn vraag "Als ik een gas heb zou ik dan de deeltjes uit elkaar kunnen houden?" suggereert de docent dat het antwoord 'nee' zou moeten zijn vanwege de praktische onmogelijkheid een groot aantal in alle richtingen bewegende deeltjes te onderscheiden. Maar in de vaste fase is het dikwijls evenzeer praktisch onmogelijk om de moleculen te onderscheiden (r. 9,10). Dit verhindert ons echter niet om hen onderscheidbaar te noemen (r. 14/15). En dus kan de als reden gesuggereerde praktische mogelijkheid of onmogelijkheid niet de werkelijke reden zijn om deeltjes al dan niet onderscheidbaar te noemen.

Conclusie:

Het lijkt gerechtvaardigd te veronderstellen dat vele chemisch geschoolden de kwaliteit van argumenteren nodig om van kleinste deeltje te mogen spreken niet nodig achten in hun chemie-onderwijs. Het is zelfs niet ondenkbaar dat velen onder hen voor zichzelf deze argumentatie ook niet hebben ontwikkeld. Mocht het misschien in de praktijk van een (beroeps-)chemicus niet altijd nodig zijn deze kwaliteit van argumenteren te ontwikkelen, dan nog zouden zij die met chemie-onderwijs zijn of worden belast, dit in ieder geval wel moeten hebben ontwikkeld. Zij immers krijgen te maken met de grenzen van het uitlegbare of nog algemener gezegd met de grenzen van het verstaanbare van de chemietermen. Indien dit vermoeden juist is, zou de conclusie kunnen luiden dat dit didactische aspect van wetenschappelijke chemie -waaraan de huidige chemie-opleiding mogelijk niet toekomt- aan chemiedidactiek de status van

wetenschap geeft die de chemie ook heeft. Maar ook, dat universitaire chemici dit dienen te erkennen en daarnaar dienen te handelen ten aanzien van hun beleid met betrekking tot chemiedidactiek. Immers chemiedidactici, die werken aan de ontwikkeling van didactische structuur, komen door bezinning op de verstaanbaarheid van chemische begrippen tot de zojuist genoemde fundamentele vragen aan de chemie en zij lijken deze zelf op te moeten lossen.

3. Kwaliteit van argumentatie in chemie-onderwijs

Dat het onderwijsprobleem, zoals bij Atkins, meer gelegen is in het niet op de juiste wijze inbedden van de vaktermen in levend taalgebruik, dan dat het alleen toegeschreven dient te worden aan het onderwerp, kan als volgt duidelijk worden.

a. Theoretisch niveau

Let ik daarbij nog even op de uitdrukkingen: "kleinste deeltje" resp. "onverdeelbare eenheid" of "ononderscheidbaarheid". De bijvoegelijk gebruikte naamwoorden "kleinste" en "onverdeelbaar" duiden een kwaliteit aan in het spreken over een zaak die empirisch niet waarneembaar is. Wel komt dit woordgebruik voort uit een principe-keuze die aan een empirisch beschreven regelmaat een logisch-noodzakelijke structuur oplegt ofwel andere dan de gevonden empirische waarden uitsluit.

In zijn proefschrift getiteld "Een onverdeelbare eenheid" beschrijft Michiel Vogelezang (1990) hoe op de zojuist genoemde wijze door een principekeuze "onverdeelbaar" het chemische begrip 'atoom' in VWO-chemie-onderwijs ontwikkeld kan worden zonder dat klovigheid ontstaat. Hij levert met zijn onderzoek zowel een bijdrage aan de chemiedidactiek als aan de chemie. Laat ik eerst zijn bijdrage aan de chemiedidactiek beknopt weergeven. Vogelezang toont aan, dat de reeds eerder genoemde kloof van onverstaanbaarheid vermeden kan worden, zodra:

- de gemeten waarden voor volume-verhoudingen bij chemische reacties, waaraan gasvormige stoffen deelnemen, in een verhoudingen-matrix worden verwoord;
- een terminologie wordt ontwikkeld waarin deze gemeten volume-verhoudingen, gekoppeld aan de massaverhouding der reagerende stoffen, als regels worden geformuleerd, samen met een formuletaal waarin de regelmaat in deze verhoudingen wordt afgebeeld;
- vervolgens voor het principe "onverdeelbare eenheid van een elementportie" wordt gekozen om de mogelijkheden en de onmogelijkheden van de geformuleerde regelmaat te kunnen formuleren.

Dan pas blijkt een context gevormd te zijn, waarin het atoom als "kleinste deeltje" verstaanbaar is geworden op grond van ervaringen en waarin inbedding van de term 'deeltje' in levend taalgebruik van de leerlingen mogelijk wordt. Deze inbedding vereist dus de kwaliteit van argumentatie op een theoretisch niveau.

Afgezien van mogelijke niveau-invariante contextwisselingen kan mede door het onderzoek van Vogelezang de didactische structuur, om die kwaliteit van argumentatie te bereiken, als volgt worden weergegeven. Eerst nadat men in voldoende mate eigen ervaringen met zintuiglijk waarneembare verschijnselen heeft leren verwoorden in zijn moedertaal (grondniveau), zowel verwoord in taal

die past bij kwantitatieve kwaliteiten als bij niet-quantitatieve kwaliteiten¹, ontstaat een ongenoegen omdat men met deze grondniveautaal geen relaties kan benoemen vanwege de situatiegebondenheid van de betekenis van de gebruikte uitdrukkingen. Vervolgens dient dit taalgebruik van het grondniveau te worden geanalyseerd en dient men distantie daarvan te nemen door de verwoording van die persoonlijke ervaringen in te brengen in een groeps gesprek. De groep bedt met vaktermen de zo gevormde gegeneraliseerde ervaring in levende taal waarbij argumentatie op beschrijvend niveau ontstaat.

Daarna ervaart men dat deze beschrijvingen van empirische regelmaat belemmeringen vormen, onder meer doordat men logische inconsistenties in het gebruik van vaktermen opmerkt. Daardoor kan men ook niet komen tot een grotere mate van zekerheid en voorspelbaarheid. Er ontstaat behoefte aan een principekeuze, bijv. element(massaportie)- behoud, die bepaalde empirische beschrijvingen van chemische verschijnselen met behulp van namen voor stofindividuen uitsluit om de keuze van een beschrijvend gezichtspunt - namelijk voor het begrip stof: kunnen verdwijnen en kunnen ontstaan - te kunnen blijven handhaven.

Tenslotte zijn bijdrage aan de chemie. Het onderzoek van Vogelesang wijst uit dat de chemie met betrekking tot de chemische wet van Gay-Lussac zich in haar ontwikkeling beperkt heeft tot de kwaliteit van argumenteren op beschrijvend niveau en geen aandacht heeft besteed aan de verantwoording van de gezichtspuntskeuze voor die regel (zoals Armstrong dit voor het elementbegrip aangeeft). De chemie lijkt deze verantwoording meteen in termen van 'atomen' te verwoorden, waarbij impliciet meteen de hele ontwikkeling sinds Rutherford-Bohr meeklinkt terwijl dat voor het onderwijs niet echt nodig is. Integendeel, het blijkt dat de premature overdracht van dergelijke termen blokkerend werkt.

b. Beschrijvend niveau

We hebben in geval van de premature invoering van het "atoom" te maken met een kloof van onverstaanbaarheid als gevolg van het niet kunnen overbruggen van het verschil in de vereiste kwaliteit van argumenteren. Een belangrijke oorzaak hiervan is dat men een samenhang van chemische termen nodig om tot een argumentatie op theoretisch niveau te komen, veelal niet kent dan wel niet als voorbereidend ziet. Speciaal met betrekking tot de ontwikkeling van deze kwaliteit van argumentatie van beschrijvend niveau, kunnen we tekortkomingen aanwijzen in de chemiekennis van universitair geschoolde chemieleraars. Blijkens het chemiedidactisch evaluatie-onderzoek van de leergang "Chemie Mavo" (Kaper, 1987), is de overgang van de context waarin het begrip zuivere stof functioneert voor een niet-electrolyt naar die voor een electrolyt problematisch. Blijkens de verantwoording van de correcte beschrijving van het begrip contextwisseling (Kaper, 1991), kan deze contextwisseling als volgt worden weergegeven. Eerst wordt het begrip stof in zijn algemeenheid ontwikkeld doordat zuivere stof wordt gekenmerkt door stofconstanten en vervolgens door de leerlingen te doen aanleren dat een zuivere stof uit allemaal

1. Dit gebied van chemiedidactisch onderzoek vormt de kern van het onderzoek door Reinier de Jong. Hij is in zijn onderwijsvernieuwingproject gericht op het samengaan van kwalitatieve en kwantitatieve kwaliteiten in begin-onderwijs scheikunde. Dit project is in samenwerking met de werkgroep scheikunde (L.Hoeve, L.Montsma en F.Brugmans) van het lager agrarisch onderwijs (LAO) uitgevoerd en is een vervolg op de scheikunde-onderwijs vernieuwing (LAO) begeleid door drs.H.J. Rundervoort (Universiteit van Amsterdam).

dezelfde deeltjes (namelijk moleculen) bestaat. Zodra de electrolyten - en dus de ionen - worden ingevoerd - moeten de woorden 'stof' en 'zuivere stof' van betekenis veranderen, terwijl de fysische constanten als criterium wel gehandhaafd blijven. Dus de context verandert naar die waarin een zuivere stof uit een mengsel van bijv. twee soorten ionen bestaat. Ook hier: wat de leerlingen eerst hebben aangeleerd, moeten ze weer afleren. Op het eerste gezicht lijkt dit chemie-onderwijsprobleem op de paradox die we aantreffen bij Atkins en die toe te schrijven valt aan het niet onderkennen van de overgang van beschrijvend naar theoretisch niveau. Echter het probleem blijkt bij onderzoek niet zonder meer met premature invoering van het corpusculaire denken samen te hangen, maar met het niet onderkennen van de noodzaak van een beschrijvend niveau in de chemie met betrekking tot het chemische stofbegrip. In dit geval ligt de oorzaak eveneens bij het door de scheikundeleraren en chemieleerboekenauteurs aangeleerde en is er dus sprake van een tekortkoming van het chemie-onderwijsaanbod aan hen. Zij hebben in dat geval de benodigde empirische chemietaal niet of onvoldoende leren kennen. Immers het chemische begrip stof in zgn. macroscopische of empirische zin -gekenmerkt door een bundel van reactiemogelijkheden die als geheel kunnen verdwijnen en kunnen ontstaan (Ten Voorde, 1977)- hebben ze dan niet leren benoemen als gegeneraliseerde ervaring. Elke 'zuivere stof' is chemisch op deze wijze te kenmerken als een stofindividu. Dat er zuivere stoffen zijn die voor een chemicus bestaan uit dezelfde moleculen, is in die empirische context een irrelevant en voor lerenden niet toetsbaar gegeven. Laten we deze premature invoering weg, dan kunnen ook leerlingen blijven letten op het verdwijnen en ontstaan van bundels eigenschappen. Ook bij electrolyt-oplossingen kunnen we opmerken dat bepaalde reactiemogelijkheden als bundel verdwijnen en of ontstaan. Dit betekent dat de reactiemogelijkheden van de electrolyt- oplossing beschreven kunnen worden als een 'mengsel' van zelfstandig lijkende bundels eigenschappen. Zo'n bundel zou een reagens of agens genoemd kunnen worden, omdat het zich -gelet op de mogelijkheid tot isoleren- onderscheidt van een stof maar in het 'kunnen verdwijnen en ontstaan' zich analoog gedraagt. Door deze chemische analogie tussen twee te onderscheiden soorten chemische individuen is het geen probleem meer voor leerlingen op beschrijvend niveau te argumenteren ten aanzien van een electrolyt als chemisch mengsel van reagensindividuen ev. agensindividuen (zie ook par.4a). Echter dit macroscopische begrip 'ion' -de bundel of reagens is in een electrisch veld verplaatsbaar, ik denk aan elektroforese- heeft de chemie niet ontwikkeld, maar is voor het chemie-onderwijs van groot belang. Immers het ontbreken van deze kennis bij scheikundeleraren en chemieboekenauteurs doet voor vele leerlingen problemen ontstaan, die vaak wel aan hen worden toegeschreven, maar waaraan zij in feite part noch deel hebben. Het zijn de leraren die door hun chemieopleiding, onvoldoende zijn geschoold en zo geblokkeerd zijn geraakt.

Conclusie:

Door het scheikunde-onderwijzen te geleden naar momenten van aandachtselectie van benoemde bevindingen in leefwereldtaal ontstaat een grondniveau als basis voor niveauverhoging (van grondniveau naar beschrijvend niveau en vervolgens naar theoretisch niveau). Door deze aandachtselectie en de eerste niveauverhoging wordt de productieve verscheidenheid van het gesprek geordend tot een chemiecontext. Door de keuzevrijheid van de gespreks-deelnemers tot zulke momenten van productiviteit en vanwege de empirische aard van de taal van het beschrijvende niveau blijft -naast het perspectief dat

komen tot inzicht biedt- ook de probleemstellende aard als bron van leren en onderwijzen behouden. Blokkering door premature overdracht van wetenschappelijke resultaten als feiten wordt daarmee voorkomen. In die zin heeft de scheikundeleraar in het niveauschema een instrument om zich zelf te beheersen in het weergeven van zijn kennis.

4. Kenmerken van de didactische structuur

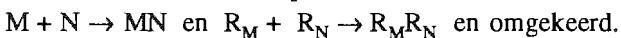
De resterende tijd van mijn voordracht wil ik besteden aan drie eigenschappen van de didactische structuur, die ook nauw in verband staan met zijn toepasbaarheid in chemie- onderwijs en de relatie met onderwijs in andere natuurwetenschappelijke disciplines. Dit betreft met name het perspectief voor

- de keuze van de doelgerichtheid voor soorten van chemie-onderwijs,
- de mogelijkheid om de starheid van het onderwijs ingedeeld naar vakken als natuurkunde, scheikunde, biologie,.. te doorbreken en
- de generaliseerbaarheid van de didactische structuur tot die voor het onderwijs in de natuurwetenschappen.

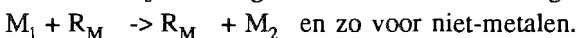
a. De keuze van een onderwijsdoel

Naast de mogelijkheid om de chemische kennis op beschrijvend niveau te kunnen uitbreiden, is het reagens-begrip als volgt van belang voor de didactische structuur van chemie².

Sommige chemische stofindividen hebben als kenmerk dat de bundel wel kan verdwijnen bij een samenstellingsreactie, maar niet kan verdwijnen bij een ontledingsreactie; wel kan ze ontstaan bij een ontledingsreactie. Dezelfde kenmerken kunnen we ook toekennen aan sommige reagentia, die bovendien kunnen ontstaan als een enkelvoudige stof verdwijnt (bijv. bij het oplossen van een metaal in een zure oplossing) of kunnen verdwijnen als een enkelvoudige stof ontstaat. Deze enkelvoudige stof kan een metaal (M) zijn maar deze regels gelden ook voor sommige niet-metalen (N). Schematisch kunnen we zulke chemische reacties schrijven als:



Daarnaast zijn de volgende reactieschema's mogelijk:



Omdat MN en $R_M R_N$ dezelfde stof genoemd kunnen worden, kunnen we M en R_M resp N en R_N twee chemische toestanden van eenzelfde element M resp van element N noemen. Ook zouden we een enkelvoudige stof en zijn bijbehorend reagens een verschijningsvorm van een element kunnen noemen.

De uitdrukking "twee toestanden van eenzelfde element", die de chemisch geschoolde leraar aanlokkelijk lijkt, kan bij zowel de leraar als de leerlingen tot ongenoegen leiden. Men kan die verwoording als taalnoed ervaren. Als chemisch geschoolde leraar ervaart men dan een spanningsveld tussen wat men met namen voor stoffen empirisch kan toetsen en een vanzelfsprekend chemisch begrip element dat als het ware onopgemerkt in de gehanteerde vaktermen wordt

2. Voor een meer gedetailleerde uitwerking zij verwezen naar mijn artikelen-reeks "Empirische Didactiek" (1978-1979) in het toenmalige tijdschrift Faraday. Deze reeks is herdrukt in de bundel "Niveauperhogend Scheikunde-onderwijs ten behoeve van Voorbereidend Wetenschappelijk Onderwijs", verschenen als nr.3 in de DISCO-reeks en verkrijgbaar bij de Werkgroep Didactiek der Scheikunde van de Universiteit van Amsterdam.

gebruikt. Vooral de verwoording suggereert een 'behouden blijven van een element bij een chemische reactie', terwijl dit volgens ervaringen niet het geval is. Zo'n misvatting ontstaat ook gemakkelijk - als het ware sluipend - doordat in de hierboven gegeven reactieschema's de letters M en N voor de reactiepijl en als M resp. N in MN na de reactiepijl is gegeven. Leerlingen willen zo'n reactiebeschrijving wel overnemen, maar zijn zich dan niet bewust van deze binnengesloten norm van de leraar. Het is te verwachten dat sommige leerlingen zich zullen verzetten omdat de beschrijving niet strookt met hun ervaringen. Het is niet ondenkbeeldig dat hun leraar hun verzet niet opmerkt. Echter MN betekent empirisch: ontstaan uit de stoffen aangeduid met de letter M en N. In dat geval kan het worden nodig geacht op beschrijvend niveau te zeggen: M en R_M zijn chemische toestanden van elkaar. Het zo verkregen 'element'begrip heeft daarmee een empirisch beperkte betekenis, maar functioneert in een kwalitatief hoogstaande wijze van argumenteren. Tot deze kwaliteit van correct beschrijven van chemische verschijnselen en argumentatie op beschrijvend niveau kunnen leerlingen op grond van eigen ervaringen komen³

Het genoemde taalnod-probleem lijkt oplosbaar, wanneer door het ontstane ongenoegen een analyse van het woordgebruik optreedt. De kwaliteit van de argumentatie moet daartoe veranderen, omdat het empirische taalgebruik op zijn mogelijkheden en onmogelijkheden van correct beschrijven wordt onderzocht. Deze kwaliteitsverandering van de argumentatie wordt bereikt door te kiezen voor vaktermen (zoals stofnamen die een samengesteldheid uitdrukken zowel met betrekking tot de kwalitatieve kwaliteit (Ten Voorde, 1977) en als kwantitatieve kwaliteit (Vogelezang, 1990) waarin het empirische stofbegrip niet meeklinkt. Bijvoorbeeld (Ten Voorde, 1977) door principiëel te kiezen voor het noodzakelijk bij elkaar behoren van niet meer dan de twee eigenschappen "kunnen verdwijnen bij een samenstellingsreactie" én "niet-kunnen verdwijnen bij een ontledingsreactie" en dit in de naam voor de samengesteldheid tot uitdrukking te brengen. Benoemen we dit uitsluitend hebben van deze eigenschappencombinatie met de term 'element' dan impliceert deze benoeming terecht een behouden blijven bij een reactie. In dat geval is er wel sprake van elementbehoud en duidt element niet meer een stof aan. Naast de mogelijkheid een chemische reactie te kunnen beschrijven als verdwijnen en ontstaan van stof- en reagens-individen, kan over dit verdwijnen en ontstaan inzichtelijk en in algemene zin gesproken worden van hergroeperen in termen van samenstellend- en samengesteld-zijn. Een classificering van stoffen naar elementindividen (chemisch atoom) wordt mogelijk en er ontstaat inzicht in de veelheid van reactiemogelijkheden van stoffen.

De didactische structuur in termen van het Van Hiele-niveauschema maakt dus een keuzevrijheid mogelijk bij het inrichten van chemie-onderwijs. Hierbij zijn de onderwijsresultaten gelet op de kwaliteit van argumentatie verschillend, maar het ene resultaat bereidt het andere wel voor of op zijn minst gezegd: het hoeft die niveauverhoging niet te blokkeren.

3. Dit is gebleken uit zowel vernieuwingsprojecten van scheikunde-onderwijzen in het VWO, HAVO als in het Lager Agrarisch Onderwijs (LAO). Zo heeft het begrip "reagens" ook inspirerend gewerkt voor de ontwikkeling van de scheikundeleergang "Theorie uit Experimenten" (drs. F. Arnold, Katholieke Universiteit Nijmegen).

b. Doorbreken van de vakkenscheiding

In de afgelopen dertig jaar zijn eerder genoemde en andere chemie-onderwijsproblemen, die voerden tot wat Joling 'verstudieboeking' noemde en die een gevolg waren van de eenzijdige aandacht voor modernisering, niet alleen opgelost door verricht didactisch onderzoek, maar heeft dit onderzoek tevens geleid tot een samenhangende structuur van kernbegrippen (sleutelbegrippen) en kernthema's als chemiedidactisch fundament voor zichzelf moderniserend en vernieuwend chemie-onderwijs.

Zo is 'de individualiteit' om de materie in te delen een bundelend gezichtspunt gebleken voor de chemiecontext-vorming. De vraag of hiermee de huidige discipline "chemie" in zijn volle omvang is gekarakteriseerd, wil ik nu niet stellen laat staan beantwoorden. Wel kunnen we nog steeds blijven zeggen, dat de chemie op zoek is naar nieuwe stoffen. Het gebruik van de meervoudsvorm van het woord 'stof' door chemici wijst reeds op de genoemde individualiteit. Ten aanzien van deze individualiteit kunnen we, zonder opnieuw de pretentie te hebben hiermee volledig te zijn, de kernthema's noemen die zich volgens criteria van de didactische structuur in chemie-onderwijs kunnen ontwikkelen:

- de waarde van de relatie massa en volume waarin een hoeveelheid materie kan verdwijnen en ontstaan (De Jong), welke in feite wordt overzien door de grootte van het atoomgewicht (massa van de onverdeelbare eenheid) dat elk element(individu) karakteriseert (Vogelezang).
- de discontinuïteit van de massa van de materie naar onverdeelbare, karakteristieke eenheden ook in relatie tot vormaspecten van de (hoeveelheid) materie, gelet op zijn macroscopische aspecten (kristalvormen), die inzichtelijk worden door roosterstructuurkenmerken (Joling);
- de individuele waarde van de molaire 'inwendige energie' en 'entropie' van stoffen bij standaard temperatuur en druk (Kaper);
- de vaststelling van deze waarden en daarmee het kunnen onderkennen van individuen vereist een wederzijdse afhankelijkheid van meet- en bereidingstechnieken alsmede van de contexten die deze technieken beheersen (Goedhart,1990).

Deze kernthema's kunnen niet zonder andere disciplines zoals wiskunde, natuurkunde en biologie hun gestalte krijgen in het chemie-onderwijs. Dit houdt in dat de wijze waarop deze afhankelijkheid kan of moet functioneren deel uitmaakt van chemiedidactisch onderzoek. Voor de wijze waarop dit onderzoek tot resultaat kan leiden, volsta ik door te verwijzen naar Joling (p.131). De door hem genoemde criteria zoals kwaliteit van argumentatie en niveau- invariante contextwisseling lijken bruikbaar te worden in dit proces. Een gevolg hiervan is dat in het samengaan van kernthema's in een niveau-invariante contextwisseling de gebondenheid aan een specifiek specialisme verdwijnt en perspectief ontstaat voor een samenhangend onderwijs in de natuurwetenschappen.

c. De generaliseerbaarheid van de didactische structuur.

De argumentatie in de hierboven beschreven ontwikkeling van het begrip 'reagens' of 'agens' zal de chemicus vreemd overkomen. Mogelijk ook de schetsmatig beschreven ontwikkeling van het chemische begrip 'atoom'. Hoewel er nog voor hem/haar bekende uitdrukkingen in voorkomen, is de betekenis van de uitdrukkingen niet meer vertrouwd voor hem. Hier ervaart men het contextverschil tussen een context aangeduid met chemie en die aangeduid met chemiedidactiek. Gelet op de verstaanbaarheid lijken chemie en chemiedidactiek op gespannen voet met elkaar te staan.

Een hierop lijkend niet-verstaan ontmoeten de chemie-didacticus en de natuurkunde-didacticus. In dat opzicht hebben wij in de plenaire besprekingen van de medewerkers in het VF-programma "Begripsontwikkeling en curriculumonderzoek in de wiskunde en natuurwetenschappen" grote problemen gehad met beider taal die gebonden is aan elk vak afzonderlijk. Echter naarmate we meer gemeenschappelijke uitdrukkingen zijn gaan hanteren, die meer betrekking hebben op de structuur van de onderwijssituatie dan op chemie of fysica, wordt verstaanbaarheid mogelijk. Hier ontmoeten we het spanningsveld tussen de natuurwetenschappelijke didactieken enerzijds en de didactiek anderzijds.

De spanningsvelden tussen de afzonderlijke natuurwetenschappelijke disciplines en hun bij behorende specialistische didactiek worden mogelijk oplosbaar door niveaueverhoging in de specialistische didactiek. Deze overgang van grond- naar beschrijvend niveau lijkt het spanningsveld tussen de specialistische didactieken op te kunnen lossen via niveau-invariante contextwisselingen, waarbij de kwaliteit van argumentatie die van een beschrijvend niveau blijft. Een argument hiervoor kan gezien worden in de ervaring met de grondniveauachtige situatiegebondenheid van chemiedidactische resp. physicadidactische uitdrukkingen enerzijds, maar anderzijds ook in het stokken van een gesprek waarvan de argumentatie van de deelnemers beheerst wordt door reeds ingenomen standpunten in de betreffende specialistische didactiek. Door de mogelijkheid van de niveau-invariante contextwisseling lijkt een ontwikkeling naar de didactische structuur voor natuurwetenschappen en het onderwijs daarin tot de mogelijkheden te gaan behoren. Essentieel voor de hierin op elkaar betrokken taalverwervingsprocessen lijkt het benutten van de productieve verscheidenheid van de deelnemers in hun gezamenlijk onderzoeksprogramma. De generalisering tot onderzoek van β -contextvorming wordt dan mogelijk terwijl de verkregen structuurbeschrijving van onderwijssituaties algemener van aard wordt maar toch geworteld is in het onderwijzen van de verschillende β -disciplines. Het is verheugend dat in vrij recente besprekingen gebleken is dat binnen het Centrum voor β -didactiek deze generalisering trendmatig zou kunnen gaan worden.

Geachte aanwezigen. Ik hoop u overtuigd te hebben van chemiedidactiek als een beginnende wetenschap en ik dank u voor uw aandacht.

Literatuur

- Arkel, A.E. van en H.G.S. Snijder (1936) *Leerboek der Scheikunde*.
- Atkins, P. W. (1990) *Physical Chemistry*, Oxford University Press, 4th press, 568: footnote 3; 584-585.
- Deursen, A.Th. van (1994) Cultuur van schuivende normen gaat onherroepelijk teloor, in: *NRC*, 10-12-1994.
- Goedhart, M.J. (1990), *Meten: normen en waarden*, Rijksuniversiteit te Utrecht, proefschrift.
- Joling, E. (1993) *Chemie in gesprek*, Universiteit van Amsterdam, proefschrift.
- Kaper, W.H. en H.H. ten Voorde en W.de Vos (1988), De onderzoeksactiviteiten van lijn 2, in: *CHEMIE MAVO, Onderzoek naar het functioneren van een leergang scheikunde*, SCO- Rapport 161.
- Kaper, W.H. en H.H. ten Voorde, *Een onderzoek naar het leren en onderwijzen van Entropie*, Poster op facultaire colloquia UVA, mei 1992.

- Kaper W. H (1992) *Oriëntatie op college en werkcollege fysische chemie II*, Interne notitie dd. 15 juni 1992, 6-9.
- Kaper W.H. en H.H. ten Voorde, Research into a didactic structure leading up to the second law, in: *Le Bulletin du CIFEC, numere "hors series", juin 1993, Actes du 1st ECRICE - 9iemes JIREC*, 188-192.
- Miranda, J. de , m.m.v. P.M. van Hiele (1962) De structuur van de onderwijs-situatie als basis voor de opbouw van de didaktiek, *Pedagogische Studiën*, 39, 532-557.
- Miranda, J. de (1964) Werkgroep Empirische Inleiding tot de Scheikunde, *Faraday*, 33, 112
- Miranda, J. de (1993) *Inleiding voor een bespreking van de Werkgroep Didactiek der Scheikunde van de Universiteit van Amsterdam op 19 april 1993*, ongepubliceerd.
- Report on the OECD seminar on the status and development of the teaching of school chemistry (Greystones, March 1960), published in July 1961.
- Verdonk, A.H. (1979) *Chemiebeoefening als universitair onderwijsleerproces* , Rijksuniversiteit te Utrecht, Oratie.
- Vogelezang, M.J. (1990) *Een onverdeelbare eenheid*, Rijksuniversiteit te Utrecht, proefschrift. (Verschenen als nr. 4 in de reeks CD- β Wetenschappelijke Bibliotheek, uitgegeven door het Centrum voor Didactiek van Wiskunde en Natuurwetenschappen, Utrecht)
- Voorde, H.H. ten (1977) *Verwoorden en verstaan*, Universiteit van Amsterdam, proefschrift. (Verschenen als nr. 6 van de (paarse) SVO-reeks).

Chemiedidaktik ist keine Naturwissenschaft, sie ist Kulturwissenschaft





Chemiedidaktik ist keine Naturwissenschaft, sie ist Kulturwissenschaft

Peter Buck
Fachbereich III - Chemie
PH Heidelberg

Samenvatting

Het woorddeel 'Kultur..' in de titel van dit artikel moet in het Nederlands door minstens twee woorden vertaald worden: door {cultuur en beschaving}. Nog andere begrippen klinken mee: taal, opvoeding, socialisering, ...

Chemiedidaktik ist nicht Naturwissenschaft, sie ist Kulturwissenschaft – dit is de stelling, die ik in dit artikel wil expliciteren. Natuurlijk is daarmee een standpunt-keuze verbonden. Uiteindelijk zie ik vijf voordelen in het innemen van dit standpunt:

- het leidt tot een wetenschapstheoretische plaatsbepaling
- het verandert de verwachting richting leerlingen en didactisch materiaal
- het maakt gevoelig voor de noodzaak van ontwikkeling van chemische en didactische taal
- het legitimeert de modernisering van het scheikunde-onderwijs weg van de struktuuroriëntatie en in de richting van een maatschappelijk en ecologisch georiënteerd scheikunde onderwijs
- het maakt een beoordeling van chemiedidactisch onderzoek mogelijk.

Abstract

'Kultur..' in the title of this paper needs two words to be properly translated into English: it means {culture and civilisation} other terms resonating simultaneously with 'Kultur..', e.g. language, education, socialization ...

Didactics of Chemistry is not to be classed with (natural) science but rather with the science of culture and civilization – this is the thesis to be explicated in this paper. Five advantages are seen in taking up this position:

- the thesis leads to a position finding in the philosophy of science
- the position itself changes the expectations towards the learner as well as towards the learning arrangement
- it sensibilises for the necessity of development of chemical and didactical language
- it helps legitimizing the change from structure-oriented chemistry education to society- and ecology-oriented chemistry education
- it allows the assessment of research in science education.

1. Zusammenfassung/Vorschau

Chemiedidaktik ist nicht Naturwissenschaft, sie ist Kulturwissenschaft – dies ist die These, die ich hier vorbringen und begründen möchte. In 'Kulturwissenschaft' schwingen andere Wortverwendungen des Wortteils 'Kultur' mit, etwa 'Kulturhoheit', 'Sprachkultur' usw. Sie alle lassen im Wort 'Kulturwissenschaft' Bereiche wie Sprache, Erziehung, Sozialisierung, Philosophie mitschwingen. Ich werde mit einem Beispiele beginnen, das nicht aus der Chemiedidaktik stammt,

das aber aufzeigen soll, in welchem Ausmaß Sprache und kulturelle Normen vermeintlich objektive Aussagen ("Ergebnisse") beeinflussen. Schon am unreflektierten Gebrauch des Wortes 'Wasser' wird deutlich, worin landläufige Fehleinschätzungen des Gegenstands der Chemiedidaktik liegen.

Mit einem Zitat aus einem verbreiteten Lehrbuch werde ich den verbreiteten Naturalismus ansprechen, der ein Verständnishindernis für meine These ist. Diesen Naturalismus findet man – entsprechend gewandelt – auch unter Chemiedidaktikern.

An zwei weiteren Beispielen, diesmal aus fachdidaktischen Publikationen will ich aufzeigen, daß auch Unterrichtskonzeptionen, in denen Schülerinnen und Schüler sehr viel grundlegender als im herkömmlichen Chemieunterricht der unmittelbaren Betrachtung des Naturphänomens ausgesetzt werden, daß auch solche Konzeptionen Kultur und nicht Natur zum Lehr- und Untersuchungsgegenstand haben.

Meine These hat mindestens fünf Konsequenzen, die ich mit Beispielen oder Literaturverweisen verdeutlichen will:

- sie erlaubt eine wissenschaftstheoretische Ortsbestimmung
- sie verändert Erwartungshaltungen an Schülerinnen und Schüler wie an Lehr- und Lernarrangements,
- sie sensibilisiert für die Veränderbarkeit und notwendige Ergänzungsbedürftigkeit des chemischen Vokabulars,
- sie erleichtert die Modernisierung des Chemieunterrichts weg von der Strukturorientierung und hin zu einem gesellschaftlich und ökologisch ausgerichteten Chemieunterricht und
- erlaubt schließlich die Bewertung von fachdidaktischer Forschung.

2. Der Regenbogen und der chemische Begriff 'Wasser' – Immer mischt sich Kultur in die Betrachtungen ein.

Ich fange mit einem sehr einfachen und noch nicht chemischen Beispiel an: Beobachtungen, objektive Beobachtungen, werden landläufig als die Grundlage naturwissenschaftlicher Erkenntnis angesehen. Im berühmten SAPA-Curriculum "*Science A Process Approach*" der *American Association for the Advancement of Science* zählen Robert Gagné und sein Curriculumteam 'observing' zu den 'basic processes'; sie rücken es ganz ins Zentrum (Abb. 1)

Auf 'observing' gründet 'using spacetime relations', gründet 'inferring' usw. Die 'basic processes' bilden in dieser Auffassung des Methodengefüges der Naturwissenschaften die Grundlage der 'integrated processes', wie 'defining operationally', die schließlich durch das umfassende und anspruchsvolle, wissenschaftliche 'experimenting' gekrönt werden.

'Observing', 'beobachten' also, steht am Anfang und im Zentrum. Die ganz einfache Frage eines Kindes "Wieviele Farben hat der Regenbogen?" würde man beantworten können mit: "Geh hin und beobachte den Regenbogen! Wenn Du das nächste Mal einen Regenbogen siehst, dann zähle die in ihm vorkommenden Farben!" Wegen des Naturgegenstandes – der Regenbogen – und wegen seiner Klärbarkeit mit einem naturwissenschaftlichen *process*, hier: wegen der unmittelbaren Beobachtbarkeit, betrachtet man die Frage "Wieviele Farben hat der Regenbogen?" als eine naturwissenschaftliche Frage.

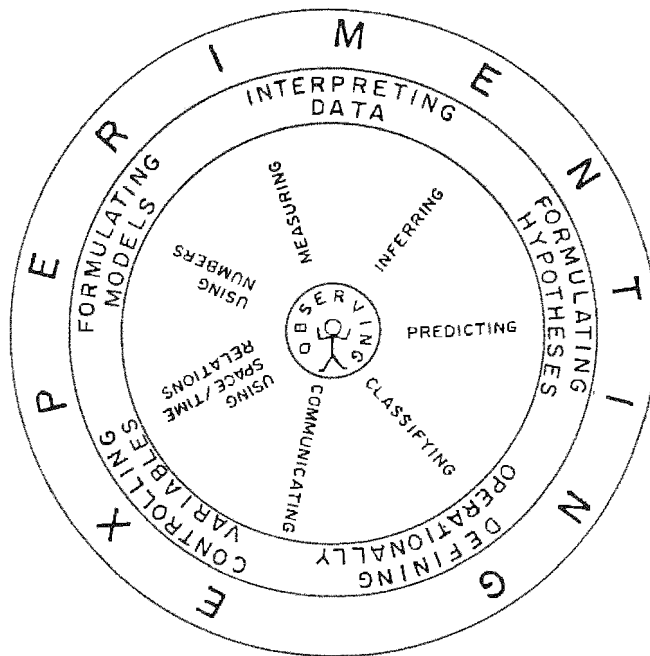


Abb. 1: Die Hierarchie der *processes* im Science A Process Approach-Curriculum (American Association, 1966)

Wenn man einen Naturwissenschaftler fragt, "Wieviele Farben hat der Regenbogen?", bekommt man erstaunlicherweise *verschiedene* Antworten: Westdeutsche Naturwissenschaftler antworten meist: "Es sind 7 Farben"; sie zählen auf: "rot-orange-gelb-grün-blau-indigo-violett", oder auch: "rot-orange-gelb-grün-türkis-blau-violett." Ein ostdeutscher dagegen sagt: "Es sind 6 Farben". 45 Jahre marxistische Sozialisation haben mit der heiligen Sieben aufgeräumt. Da die deutsche Sprache 6 Grundfarben kennt, wird die Zahl 6 genannt. Physiker vorzugsweise, in Ost und West, sagen auch: "Es sind unendlich viele Farben", denn 'Farbe' heißt für sie 'Wellenlänge des Lichts' und es handelt sich beim Spektrum des Regenbogens ja um ein kontinuierliches Spektrum. 'Farbe' = 'Wellenlänge des Lichts' bedeutet dann freilich etwas anderes als das alltagssprachliche 'Farbe'. In diesem physikalischen Verständnis entzieht sich 'Farbe' der direkten Beobachtung.

Der erste Befund, gewonnen an diesem Beispiel lautet: Beides – das Wort selbst und seine dahinter liegende Begriffsbildung steuern unsere Antworten. Die vermeintlich objektiven Antworten sind Ergebnisse kultureller Prozesse. Egal ob die Verfügbarkeit von Wörtern in der Sprache zur Antwort "6" führt, ob mystische Vorstellungen die Antwort "7" induzieren oder physikalische Theorie "unendlich viele" als Antwort erbringt – in jedem Fall mischt sich Kultur in das Ergebnis. Diese Einmischung beginnt sehr früh und bleibt auf weite Strecken und vor allem im Anfangsunterricht meist unbemerkt.

Der chemische Stoffbegriff zum Beispiel, etwa das chemische 'Wasser', das sowohl Eis, als auch flüssiges Wasser, als auch gasförmiges Wasser, Wasserdampf, zu einem einzigen Schema zusammenfaßt, ist durchaus – aber meist gänzlich unbewußt – das Ergebnis fachlicher Konvention, somit nicht beobachtbar und ein Kulturprodukt. Noch Lavoisier sah in flüssigem Wasser einen anderen, nämlich proportional mehr Calorique enthaltenden Stoff als Eis oder als Wasserdampf, das in derselben Weise mehr Calorique besitzt verglichen mit flüssigem Wasser so wie Schwefelsäure mehr Oxygèn enthält verglichen mit Schwefliger Säure. (Näheres vgl. Buck, 1989b)

Dieses Beispiel macht bewußt: Wenn wir meinen, wir würden uns im Chemieunterricht lernend einem Naturgegenstand zuwenden – etwa 'Wasser' im chemischen Verständnis – schaffen wir doch schon durch die in der Fachsprache beschlossenen Bedeutungshöfe einen Kulturgegenstand, den wir als objektiv voraussetzen, den es aber zu lernen gilt.

3. Der Naturalismus der Chemiker und der Naturalismus der Chemiedidaktiker

In dem folgenden Beispiel geht es nicht um Linguistik, sondern um Epistemologie: Ich entnehme es dem in Deutschland sehr erfolgreichen Lehrbuch der Anorganischen Chemie von Hollemann und Wiberg (Wiberg, 1985). Das Buch, aus dem ich zitiere, ist im Jahre 1985 in der 100. Auflage erschienen. Es wird von dem Anorganiker Nils Wiberg aus München verantwortet. Mitten in den über 1500 Seiten mit Zahlenwerten und Formeln, die Wiberg und seine Vorgänger zusammengetragen haben, finden wir auf Seite 1221 einen kleingedruckten Abschnitt:

Die Auffindung der Radioaktivität durch Becquerel war mehr eine Zufallsbeobachtung. Becquerell, der einen Zusammenhang zwischen den kurz zuvor entdeckten Röntgenstrahlen und der Fluoreszenz der gläsernen Röntgen-Entladungsröhre vermutete, studierte am Beispiel einer ihm gerade zur Verfügung stehenden Uransalz-Probe das Fluorenzphänomen Hätte er damals die Fluoreszenzerscheinung nicht an einem Uransalz, sondern etwa am ebenfalls fluorezierenden, aber nicht radioaktiven Flußspat untersucht, so wäre die Radioaktivität erst zu einem späteren Zeitpunkt und dann wohl auch an anderer Stelle und von anderen Forschern aufgefunden worden, so daß ihre Entdeckungsgeschichte einen ganz anderen Verlauf genommen hätte. Das eine ist allerdings sicher: sie *wäre* entdeckt worden! Denn das unterscheidet ja die naturwissenschaftlichen Entdeckungen etwa von den künstlerischen Schöpfungen, daß erstere im Auffinden ("Entdecken") zwar verborgener, aber seit Urbeginn der Welt bereits erschaffener Naturgesetze bestehen, letztere aber in der Neuschaffung individueller, in der Schöpfung noch offen gelassener Werke. Hätten Männer wie Galvani, Hertz, Kepler, Newton oder Röntgen nicht gelebt, so gäbe es heute trotzdem, natürlich unter anderer Bezeichnung, die "galvanischen Erscheinungen", die "Hertzschen Wellen", die "Keplerschen Gesetze", die "Newtonschen Axiome" und die "Röntgenstrahlen"; wären aber Männer wie Beethoven, Dante, Goethe, Schubert, Wagner oder Schönberg nicht geboren, so gäbe es unwiderruflich keine "Neunte", keine "Göttliche Komödie", keinen "Faust", keine "Unvollendete", keinen "Ring" und keinen "Moses und Aron".

Hollemann & Wiberg, (Wiberg, 1985, 1221/1222)

Dies ist das exemplarische Credo der Naturwissenschaftler: Naturwissenschaftliche Fakten finde ich wie Bergkristalle im Berner Oberland oder wie Ayers' Rock in Zentralaustralien.

Man braucht nicht Konstruktivist zu sein, um den naiven Naturalismus, der Wibergs Aussage zugrunde liegt, zu bemerken. "Hätten Männer wie Carnot und Clausius, Helmholtz und Gibbs nicht gelebt, so gäbe es heute trotzdem, natürlich unter anderer Bezeichnung die 'Wärme', die 'Entropie', die 'Freie Energie'" – mir scheint das sehr die Frage zu sein und müßige Spekulation obendrein. Im Buch des Wissenschaftshistorikers Clifford Truesdell mit dem bezeichnenden Titel "*The Tragicomical History of Thermodynamics*" (Truesdell, 1980) wird die Kette unglücklicher Wort- und Begriffsschöpfungen beschrieben, die heute die Lernprozesse der Chemiestudenten so erschweren¹. Und weil Clausius' verquere Begriffbildungen nun einmal Fuß gefaßt haben, hat auch Georg Jobs Versuch einer Umkonzeptualisierung der Thermodynamik (Job, 1972) nie eine breite Anhängerschaft gefunden.

Den unter Chemikern weit verbreiteten Naturalismus findet man bei Chemiedidaktikern ebenso wieder: Schließlich sind die meisten von ihnen in derselben Weise in und durch ihr Fach sozialisiert worden. Einigermaßen analog zu Wibergs naiver Bemerkung finden wir in einem ebenso zentralen deutschen Fachdidaktikbuch, der 1992 in der 2. Auflage erschienenen, von Hans-Jürgen Becker und Koautoren (1992) verantworteten "Fachdidaktik Chemie" das Credo einer weitverbreiteten Chemiedidaktik so:

5.2.2 Methoden der Fachwissenschaft – Methoden des Fachunterrichts?

Die Gegenstände in der Fachwissenschaft und im fachimmanenten Chemieunterricht sind prinzipiell nicht unterschiedlich, verlangen also gleiche Erkenntnistätigkeiten. Sie machen das Denken in chemischen Begriffen und Zusammenhängen aus.

Becker, Glückner, Hoffmann, Jüngel (1992, 261)

"Die Gegenstände in der Fachwissenschaft und im fachimmanenten Chemieunterricht sind prinzipiell nicht unterschiedlich, verlangen also gleiche Erkenntnistätigkeiten." – läßt sich eine solche Gleichsetzung von Erkenntnisprozessen in der Wissenschaft Chemie mit den Erkenntnisprozessen von Schülern im Chemieunterricht der Sache nach aufrechterhalten? Ich glaube nicht. Daß die *Wissenschaft* Chemie sich einem Naturgegenstand zuwendet, ist trivial. Das Ergebnis dieser Bemühung, die chemische Theorie, – das hatten wir gesehen – ist kein Naturgegenstand mehr; sie ist Kultur. Und das ist doch wohl das Ziel von Chemieunterricht, das Konventionengefüge der *normal science* zu lehren (um mit T.S.Kuhn zu sprechen), man könnte auch sagen: den Fachjargon zu sozialisieren. In der wissenschaftlichen Chemiedidaktik, die sich mit diesem Inhaltskorpus wie mit seinen Aneignungsprozessen befaßt, geht es also gar nicht um Naturphänomene, sondern um Kulturphänomene.

Daß Thomas S. Kuhn in Berry van Berkels Dissertation zur Struktur der Schulchemie eine so wichtige Rolle spielt (vgl. auch (De Vos et. alt., 1994)), sehe ich als weiteren Beleg meiner These. Auch der Marburger Philosoph Peter Janich hat 1981 eine bemerkenswerte (leider wenig beachtete) *fachdidaktische* Position bezogen. Ich bringe hier einige seiner Thesen in Erinnerung:

1. Vgl. z.B. Van Sprang et. alt. (1988) und Terpstra et. alt. (1989).

2. Der Zweck von Lehrbüchern (gegenüber Texten aus dem Forschungszusammenhang besteht darin, naturwissenschaftliches Wissen so darzustellen, daß dessen systematischer Wahrheitsanspruch eingelöst wird. ['Systematisch' steht hier zur Abwehr der Fiktion vom 'absoluten' Wahrheitsanspruch]
3. Unter Wahrheit einer Aussage bzw. einer Theorie wird die systematische Nachvollziehbarkeit ihrer Begründung verstanden.
4. Begründungen von Aussagen sind systematisch nachvollziehbar, wenn sie endlich, lückenlos und zirkelfrei sind, d.h. wenn sie einem 'Prinzip der methodischen Ordnung' gehorchen.
5. Der Anfang nachvollziehbar begründeter, naturwissenschaftlicher Theorien kann nicht in Axiomen bestehen, sondern muß durch die Bestimmung von Grundbegriffen der axiomatischen Theorien gebildet werden.
6. Die zirkelfreie Bestimmung von Grundbegriffen ... gelingt durch ein System von Handlungsanweisungen ...

Janich (1981, 186/87)

Diesen Thesen liegt die Auffassung zugrunde, daß sowohl der Nachvollzug der für die aktuelle Wissenschaft erstrebten Bestimmung der Grundbegriffe, wie auch der Nachvollzug eventueller Handlungsanweisungen, die diese Grundbegriffe evozieren, ein auf Geschichte und Epistemik gerichteter Fragehorizont ist, der nicht auf Erkenntnis von Naturgesetzlichkeit ab ovo zielt.

Es geht also bei näherem Hinsehen im Chemieunterricht nicht um die "gleiche Erkenntnistätigkeit" wie in der Fachwissenschaft, sondern um das Lernen des *historischen und konventionellen Ergebnisses*² dieser Erkenntnistätigkeit. Wir können dies als zweites Ergebnis festhalten. Ich betrachte damit meine These als ausreichend begründet.

4. Ten Voorde und Wagenschein – auch selbst getätigte Chemieerkenntnis ist kulturell determiniert

Nun könnte man einwenden: Wenn es auch im herkömmlichen, traditionellen Chemieunterricht eher um das Lehren des Kulturguts "chemische Theorie" geht, als um eigenständige Naturerkenntnis, so gibt es doch pädagogische Konzeptionen, die wirklich vom Schüler und von der Schülerin selbst getätigte Naturerkenntnis ab ovo anstreben, etwa Henk ten Voorde's Ansatz des *niveau verhogend scheidkunde onderwijs* (Ten Voorde, 1977) oder das *genetisch-sokratisch-exemplarische Lehren und Lernen* von Martin Wagenschein (Wagenschein, 1991). Sie streben genuine Naturerkenntnis an und verwerfen *kennisoverdracht* – ein ins Deutsche schwer übersetzbares Wort. Jegliche Sprache, die individuelle, die Umgangssprache wird bei ihnen ausdrücklich zugelassen. Ten Voorde hat dieses scheinbar urwüchsige Aufkommen von Fachsprache in zahlreichen Protokollanalysen belegt. Und auch Wagenschein beschreibt solche Stufenprozesse:

2. Mit "konventionellem Ergebnis" meine ich in diesem Kontext des Ergebnis (z.B. durch IUPAC vereinbarter) begrifflicher Konventionen

Da ist eine Fahrradpumpe, unten verschlossen. Von oben preßt man die Luft zusammen. (Temperaturänderungen seien ausgeschlossen.)

1. Fassung: Wenn ich die eingesperrte Luft zusammensperre, geht das immer schwerer.

Gut. Aber das "Ich" muß heraus, der Mensch überhaupt. Die Luft ist die Hauptperson.

2. Je weniger Platz die Luft noch hat, desto mehr wehrt sie sich.

Wenn die Luft ein Tier wäre, dürften wir so sagen.

3. Fassung: Je kleiner der Raum der Luft geworden ist, desto größer ihr Druck.

Das ist die sogenannte "qualitative", die Je-desto-Fassung". – Sie genügt nicht.

Physik will Zahlen sehen: wie klein, wie groß!

4. Fassung: Nach Messung zusammengehöriger Werte ergibt sich ein Gesetz von erstaunlicher Einfachheit: Wenn das Volumen des Gases 5mal kleiner geworden ist, dann ist der Druck auch gerade 5mal (aber nicht kleiner, sondern) größer geworden. Allgemein: n -mal

5. Fassung: Mathematische Formalisierung ohne Worte: Neue Betrachtung der Tabelle. Das eben Gesagte äußert sich mathematisch darin, daß das Produkt Druck mal Volumen immer dasselbe bleibt: $p \cdot v = \text{const.}$

Der Werdegang einer naturwissenschaftlichen Aussage nach Wagenschein (1980b, 141)

Stufe 5 ist die vom Standpunkt des *normal science* wünschenswerte und von ihr normierte Betrachtungsweise; der Weg zu ihr wird in den Stufen 1 bis 4 sozusagen in Lernschritte zerlegt. Die Schrittfolge beschreibt den Lernprozeß als einen schrittweisen Einweihungsprozeß in kulturelle Normen – gleich zu Anfang zum Beispiel, im ersten Schritt schon: "das Ich muß heraus": das Ideal objektiver Naturwissenschaft.

Bei ten Voorde ist die Sache nicht anders: Wenn er seinen Schülerinnen und Schülern den Auftrag gibt:

S2 Het Bewerken van Materialen

1a Ga na en schrijf op:

- wat je zoal met een bordkrijtje kunt doen;
- op welke wijze je een bordkrijtje kunt bewerken.

Welke eigenschappen spelen hierbij een rol?

Kosten deze bewerkingen moeite of niet?

b Ga na welke eigenschappen van het krijtje bij deze bewerkingen en handelingen veranderen en welke niet.

c Overleg in de groep of de naam 'krijtje' en 'krijt' eenzelfde betekenis hebben. Wat duid je er dan mee aan?

2a Ontstaat er meer of minder krijt, wanneer een krijtje verpoedert wordt?

Schrijf, vóórdát je gaat onderzoeken het antwoord op dat je verwacht als het juiste. Volg daarna de aanwijzingen in b-f

.....

Ten Voorde (1977, Bd.II, B.332.3a)

dann ist bereits sein Unterrichtsarrangement vollständig kulturell bestimmt. Das erkennt man nicht nur an der in einer Sprachbetrachtung mündenden Gegenüberstellung von *krijtje* und *krijt* (S2 1c), sondern auch in der Gedankenlenkung durch die Fragen, die z.B. zum Stoffbegriff oder zur Erhaltung hinführen soll (S2 2a)

5. Zwischenbilanz

Ich fasse zusammen: Der Gegenstand des Chemieunterrichts an Schule und Hochschule ist unzweifelhaft vor allem die Kulturleistung, die *normal science*. Die chemischen Naturphänomene kommen erst sehr mittelbar und immer erst an zweiter Stelle ins Spiel. Da Chemieunterricht der Untersuchungsgegenstand der wissenschaftlichen Chemiedidaktik ist, ist Chemiedidaktik Kulturwissenschaft. Was sie vorfindet und untersucht sind individuelle oder kollektive Enkulturationsprozesse.

Ja, selbst wenn man sich auf den radikalen Standpunkt stellt, den der jung verstorbene Physiker und Epistemologe Christoph Gögelein bezieht: jeder Erkenntnisprozeß sei per se ein didaktischer Prozeß, ein Selbstbelehrungsprozeß nämlich (Gögelein, 1995), oder wenn man wie Wagenschein empfiehlt, didaktische Handlungsanleitungen aus dem Studium historischer Originalpublikationen gewinnt (Wagenschein, 1980a), interessiert sich der Naturwissenschaftsdidaktiker immer für den subjektiven Lerninhalt der vollzogenen Selbstbelehrung *im Vergleich* zum *statement* der *normal science*. Und auch der Naturwissenschaftsdidaktiker, der die subjektiven Lernprozesse untersucht, der etwa Schülervorstellungen erhebt, sieht diese immer unter dem Blickwinkel, wie sich diese zu einem möglichst glatten Weg zur *normal science* hin verhalten. Nur wer dem im Wiberg-Zitat zum Ausdruck kommenden Naturalismus huldigt (oder entsprechend die aus Becker et. alt. (1992) zitierte Auffassung vertritt, s.o.), wird erwarten, daß seine Schülerinnen und Schüler denselben Bergkristall finden, den schon Clausius und van 't Hoff, Dalton und van der Waals gefunden haben.

6. Der mögliche Ertrag meiner These

"Nun gut", wird man sich fragen, "was bringt es, wenn wir die Chemiedidaktik in die Schublade der Kulturwissenschaften einordnen?"

- * Ganz abgesehen davon, daß wir, um souverän Wissenschaft betreiben zu können, uns auch gelegentlich außerhalb dieser Wissenschaft stellen und ihre Beschaffenheit betrachten sollten – ganz abgesehen von einer wissenschaftstheoretischen Standortbestimmung also, denke ich, hebt uns die Einsicht in die von mir vertretene These auf ein "höheres Niveau" (um einen von ten Voorde viel verwendeten Begriff als Bild heranzuziehen). Wir werden uns dadurch bewußt, daß Lernprozesse im Chemieunterricht nicht in einer Richtung allein verlaufen, in Richtung der individuellen oder kollektiven Aneignung von Naturphänomenen, sondern daß die unablässliche, gleichzeitig erleichternde und erschwerende Vorformulierung von Problemen und Antworten durch Generationen von Menschen immer mitgelernt werden muß. Ich würde soweit gehen zu sagen, daß dieser Anteil, der kulturelle Anteil, der weitaus größere und sogar bedeutendere ist.

- * Die Betrachtung der Chemiedidaktik als Kulturwissenschaft ändert – zweitens – die Erwartungshaltung an den Schüler wie am Lernarrangement, macht z.B. bewußt, daß Lernschwierigkeiten nicht nur im Verstehen der Sache, sondern vor allem im Verstehen der Denk- und Sprechweise anderer Menschen liegen können (vgl. hierzu u.a. Buck, 1990; Hiller, 1973; Ten Voorde, 1977).
- * Die Betrachtung der Chemie als Kulturwissenschaft sensibilisiert – drittens – für die Zeitgebundenheit und Veränderbarkeit des chemischen Vokabulars, öffnet den Blick für Fehlentwicklungen und notwendige Fortentwicklungen der Chemiebegriffe. Zum Beispiel spricht der Analytische Chemiker Günter Tölg von der Notwendigkeit, "ein ganz anderes Vokabular" zu entwickeln, das "die Erfassung der Qualitäten von Stoffen bzw. Eigenschaftscharakteristika von Elementen, die auch die Umgebung, mögliche Reaktionspartner u.a." erlaubt (Tölg, 1993 S.149, vgl auch. Buck, 1989a). Ich selbst plädiere seit einiger Zeit dafür, in den allgemeinbildenden Schulen neben der herkömmlichen *präzisen* Begriffsbildung auch eine *exakte* Begriffsbildung zu kultivieren: Während die präzise Begriffsbildung vorzugsweise quantifizierbare und möglichst kontextfreie Begriffsbildung zum Ziel hat, versucht die exakte Begriffsbildung gegebene Phänomene möglich breit qualitativ zu beleuchten (Näheres siehe z.B. Buck, 1994, dort weitere Literaturverweise).
- * Das Bewußtsein um den Status der Chemiedidaktik als Kulturwissenschaft (wie auch der Chemie als Kulturleistung – vgl. Janich, 1992) erleichtert die notwendige Ablösung des bisherigen strukturorientierten Chemieunterrichts durch eine an gesellschaftlichen und kulturellen Schlüsselproblemen orientierten Chemieunterricht (vgl Bender et. alt., 1994). In diesem Zusammenhang sollte darauf hingewiesen werden, daß ähnliche Überlegungen wie die hier von mir vorgebrachten G. G. Hiller bei der Konzipierung seiner "Konstruktiven Didaktik" (Hiller, 1973) geleitet haben. Interessant scheint mir dabei vor allem sein Legitimationsargument zu sein; sein Chemie-Beispiel dagegen kann wohl nicht ernsthaft in der vorgetragenen Form akzeptiert werden. Meine These hat *mich* dazu geführt, in meiner chemiedidaktischen Konzeption des "Verstehen lehrens" die Begriffsbildung *anderer* Menschen – jener Chemiker der *normal science* voran – vor die eigentlichen Naturphänomene zu stellen und eher deren Sprechweise und weniger die – immer schon präjudizierten – Naturphänomene im Chemieunterricht zu thematisieren (vgl auch den ersten Abschnitt in Buck, 1990).
- * Schließlich erlaubt meine These die Beurteilung der Basis und des Ertrages von chemiedidaktischer Forschung. Ich nehme dazu zwei Beispiele aus dem Utrechter *Centrum voor Didactiek van Wiskunde en Natuurwetenschappen*: Dies zum Beispiel ist die Schlußbemerkung einer Publikation von van Driel, de Vos und Verdonk:

Endziel dieser Untersuchung ist es, eine sogenannte 'didaktische Struktur' des chemischen Gleichgewichts zu konstruieren. Damit meinen wir: Erkenntnisse gewinnen über die Entwicklung, die chemischen Begriffe (etwa 'chemische Reaktion' und korpuskulare Ansichten dabei) bei der Einführung des chemischen Gleichgewichts erfahren. Dabei handelt es sich um die Fragen: welche Bedeutungsveränderungen erfahren die Begriffe, in welcher Reihenfolge und in welchem Zusammenhang? Die Antworten auf diese Fragen finden wir nicht in der Geschichte der Chemie. Wir hoffen aber, sie zu finden, indem wir die Analyse von Schüleräußerungen immer kombinieren mit der Analyse der Chemie. Hierbei kann nicht nur die Geschichte der Chemie eine Rolle sondern auch die Philosophie der Chemie eine Rolle spielen.

Van Driel, de Vos & Verdonk (1989, 203)

Ohne Zweifel: dieses Forschungsvorhaben, das sich immer explizit auf die Geschichte der Chemie und die Philosophie der Chemie beziehen will, setzt den Status der Chemiedidaktik als eine Kulturwissenschaft voraus. Und – um ein zweites Beispiel anzuführen: Wenn wissenschaftliche Chemiedidaktik Rückwirkungen auf den kulturellen Korpus des Chemiewissens von Schulabsolventen und Chemiestudenten hat, wenn zum Beispiel im Zuge einer Untersuchung über die Struktur der Schulchemie ein Vollständigkeitskriterium gefunden wird für das chemische Grundwissen der *normal science*, dann leuchtet der gesellschaftliche Nutzen solcher Bemühung unmittelbar ein: Die professionelle Kompetenz der Chemiker wird ebenso gefördert wie die Abrundung einer chemischen Allgemeinbildung. Ich spiele hier auf Verdonks Bedingungen für chemische Reaktionen an:

The first condition is the principle of element conservation

There must be at least a second condition. ... It states that if a reaction takes place there must be a decrease in the Gibbs energy G of the reaction system....

A reaction that fulfils the first and second condition may still fail to be perceptible, because its reaction rate is too small or because it is outstripped by a competing reaction. The third [kinetic] condition is most difficult to handle ...

De Vos, van Berkel & Verdonk (1994, 745)

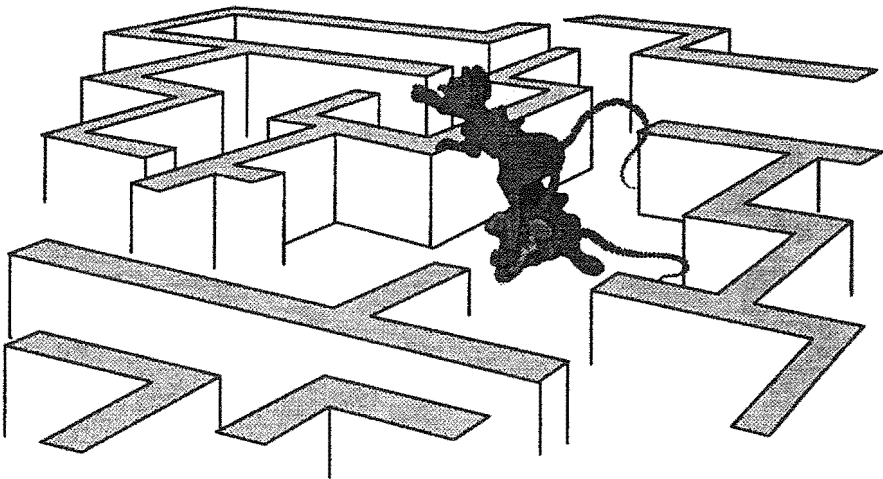
Wenn auch die dritte Bedingung sozusagen als Sammelsack gelten kann für alles das, was wir über chemische Reaktionen *noch nicht* wissen, so ist doch vor allem das Bestehen auf dieses Bedingungs-Tripel die bemerkenswerte Leistung, die aus der genauen Beschäftigung mit der *normal science* der Chemielehrbücher hervorgegangen ist.

Literatur

- American Association for the Advancement of Science (1966). *Science A Process Approach, Handbook for teachers, The integrated Processes*. 3rd experimental edition. New York: Xerox, 2-3
- Becker, H.-J., W. Glöckner, F. Hoffmann und G. Jüngel (1992). *Fachdidaktik Chemie*. 2. Aufl. Köln: Aulis.
- Bender, S., P. Buck und B. Wolf (1994). Plädoyer für einen erziehungswissenschaftlich fundierten Lehrplan – Bemerkungen zum Chemielehrplan für die Realschule. In: *Informationsschrift der Päd. Hochschule Heidelberg*, 47, 52-56
- Buck, P. (1989a). Ist Wasser ein Plastikwort? – von der Irrelevanz chemischer Begriffsbildung. *Chimica Didactica*, 15, 151-164
- Buck, P. (1989b). Aspektstern 'Stoff' als Analyseinstrument historischer Begriffsbildung. *Chimica Didactica*, 15, 27-49
- Buck, P. (1990). Jumping to the Atoms. In: P.L.Lijnse et. alt. [Hrsg.] *Relating macroscopic phenomena to microscopic particles – a central problem in secondary education*. Utrecht: CDB-Press, 212-219
- Buck, P. (1994). Stoff als Stoff – von der wirklichkeitsauflösenden Wirkung des herkömmlichen präzisen Stoffbegriffs und den Schwierigkeiten, stattdessen einen exakten, existentialrelevanten Stoffbegriff zu entwickeln. *Chimica Didactica*, 20, 222-236
- Driel, J. van, W. de Vos und A.H. Verdonk (1989). Leopold Pfaundler, Michael, Karin und das chemische Gleichgewicht – über eine Beziehung zwischen Chemieunterricht und Geschichte der Chemie. *Chimica Didactica*, 15, 185-204
- Gögelein, Ch. (1995). Welchen Wirklichkeitsstatus hat erlebtes Wasser? In: P.Buck und E.-M.Kranich [Hrsg.] *Auf der Suche nach dem erlebbaren Zusammenhang – Übersehene Dimensionen der Natur und ihre Bedeutung für die Schule*. Weinheim/B: Beltz Verlag, 90-101.
- Hiller, G.G. (1973). *Konstruktive Didaktik*. Düsseldorf: Schwann.
- Janich, P. (1981). Methodische Ordnung als didaktisches Prinzip der Naturwissenschaften? *Chimica Didactica*, 7, 177-188
- Janich, Peter (1992). Chemie als Kulturleistung. *Chimica Didactica*, 18, 100-115
- Job, G. (1972). *Neudarstellung der Wärmelehre – Die Entropie als Wärme*. Frankfurt/M: Akademische Verlagsgesellschaft.
- Sprang, H.F. van., P.H. van Roon en A.H. Verdonk (1988). Enthalpie in VWO-Chemie? *Tijdschrift voor Didactiek der β -wetenschappen*, 6, 220-230
- Terpstra, K.J., H.F. van Sprang en A.H. Verdonk (1989). Hoe warm het was en hoe ver ... Op weg naar warmte als thermodynamisch begrip in 5-VWO? *Tijdschrift voor Didactiek der β -wetenschappen*, 7, 3-26
- Tölg, G. (1993). Reine Produkte, reine Umwelt, reines Gewissen. *Chimica Didactica*, 19, 135-150
- Truesdell, C. (1980). *The tragicomical history of thermodynamics*. Heidelberg, New York: Springer.
- Voorde, H.H. ten (1977) *Verwoorden en verstaan, een algemeen didactisch, empirisch onderzoek naar de mogelijkheid om onderwijs, didactiek en onderwijsbeleid 'uitleidend' te ontwikkelen (op basis van vernieuwing in scheikunde-onderwijs)*. s'Gravenhage: Staatsuitgeverij, 2 Bände.

- Vos, W. de, B. van Berkel and A.H. Verdonk (1994). A coherent conceptual structure of the Chemistry curriculum, *Journal of Chemical Education*, 71, 743-746
- Wagenschein, M. (1980a). Einladung Galilei zu lesen. In: M.Wagenschein: *Naturphänomene sehen und verstehen*. Stuttgart: Klett, 52-56
- Wagenschein, M. (1980b). Die Sprache im Physikunterricht. In: M. Wagenschein: *Naturphänomene sehen und verstehen*. Stuttgart: Klett, 133-148
- Wagenschein, M. (1991). *Verstehen lehren*. Weinheim: Beltz. 9.Aufl.
- Wiberg, N. (1985). *Holleman-Wiberg – Lehrbuch der Anorganischen Chemie*. 100. Aufl. Berlin, New York: Walter de Gruyter.

Chemiebeoefening een onderwijsleerproces?





Chemiebeoefening een onderwijsleerproces?

Adri H. Verdonk
Vakgroep Chemiedidactiek
CD- β , Universiteit Utrecht

Op verzoek van de organisatoren van dit minisymposium leg ik in vergelijking met de voorafgaande voordrachten meer een accent op chemie. Degenen die mijn werk kennen weten dat ik dat van harte doe: ik vind chemie een prachtig vak. Zij weten ook dat ik mij thuis voel in de empirische chemiedidactiek, wat eveneens wel zichtbaar zal worden.

In 1979 heb ik mijn oratie¹ gehouden, die getiteld was: "Chemiebeoefening als universitair onderwijsleerproces". Als ik nu terugkijk op die titel en op de inhoud van de oratie, dan valt mij op dat ik toen aandacht had voor:

- de student en de docent;
- bestuur en beheer in het onderwijsleerproces en
- vakdidactiek en het onderwijsleerproces.

Het onderzoeksthema van onze huidige Utrechtse groep en van die van Ten Voorde (UvA) is de relatie tussen chemie - in wetenschap en maatschappij - en chemie-onderwijs. Deze relatie komt tot uiting in de titel van mijn voordracht. Ik beperk mij in deze voordracht tot het *wetenschapsgerichte* chemie-onderwijs. Aan het *maatschappijgerichte* chemie-onderwijs wil ik aandacht besteden in mijn afscheidscollege, dat ik hoop in samenhang met de oratie van mijn opvolger te mogen geven.

Een eerste opvallend verschil met de titel van mijn oratie is het weglaten van het woord "universitair". Voor beschrijving en voor vernieuwing van het betreffende onderwijs is het onderscheid secundair/tertiair vanuit empirisch-didactisch gezichtspunt namelijk niet nodig. Student, docent, bestuur en beheer blijken in dat opzicht niet wezenlijk verschillend in beide onderwijstypen. Dit blijkt o.a. uit de acht chemiedidactische dissertaties die na 1979 in Utrecht en Amsterdam zijn verschenen en het zal ook blijken uit de acht die nog zullen verschijnen. Negen van deze zestien dissertaties betreffen het secundaire en zeven het tertiaire onderwijs.

In vergelijking met de titel van de oratie uit 1979 valt ook het vraagteken op. Toen had ik veel aandacht voor het leren van studenten in relatie tot bestuur en beheer van onderwijs. Nu ben ik in de term 'onderwijsleerproces' leren en onderwijzen veel meer van elkaar gaan onderscheiden en heb ik vooral aandacht gekregen voor de kwaliteit van de onderwijssituatie zowel in de zin van de kenmerken ervan als van de norm ervoor. Onder onderwijssituatie versta ik dan datgene waar bestuur en beheer en docenten verantwoordelijk voor zijn en vorm aan trachten te geven.

1. Verdonk, A. H. (1979) *Chemiebeoefening als universitair onderwijsleerproces*. Rede, uitgesproken bij de aanvaarding van het ambt van gewoon lector in de algemene scheikunde aan de Rijksuniversiteit te Utrecht op maandag 5 november 1979.

Simpel gezegd: ik heb aandacht gekregen voor het *ora et labora*.

Orare, in de zin van spreken, zeggen, vragen.

Laborare in de zin van moeite hebben, moeite doen, met moeite construeren.

Anders gezegd: Ik wil letten op het probleemstellende karakter van wetenschap en van wetenschapsgericht onderwijs. Nog anders gezegd: ik ben de rol van bestuur en beheer en docent in relatie tot de inhoud en structuur van wetenschapsgericht chemie-onderwijs als probleem gaan zien.

Vandaar het vraagteken achter de titel van mijn verhaal.

Ik zal proberen deze gedachten aan enkele voorbeelden uit te werken.

Over het probleemstellend karakter van wetenschap zal ik hier kort zijn. Wetenschap als proces veronderstel ik bekend. Wetenschappelijke chemiebeoefening vindt plaats in een context van theorievorming en praktische toepassing. De belangrijkste activiteiten zijn:

- experimenteren
- beschrijven
- argumenteren.

Het *experimenteren* treffen we aan in drie vormen: meten, bereiden en simuleren -de laatste vorm in het bijzonder met behulp van de computer-. Het *beschrijven* leidt tot classificerende, vergelijkende en kwantitatieve uitspraken. *Experimenteren* en *argumenteren* met behulp van deze beschrijvingen zijn in wetenschappelijk onderzoek functioneel op elkaar betrokken. Er is sprake van verificatie of falsificatie van hypothesen. De *theorievorming* en de *toepassing* sturen dit geheel van wetenschappelijk spreken en handelen.

Wetenschapsgericht chemie-onderwijs is bedoeld om op te leiden tot deze wetenschappelijke chemiebeoefening. Hoe is het nu gesteld met het probleemstellend karakter van dat chemie-onderwijs en welke contexten spelen daar een rol? Zijn daar bijvoorbeeld experimenteren en argumenteren ook op elkaar betrokken?

Mijn stelling luidt:

Het chemie-onderwijs is meer resultaatgericht dan procesgericht.

Het is namelijk gericht op toetsresultaat en, bijvoorbeeld bij practica, ook op chemisch resultaat. Op zich is dat niet vreemd: leerlingen, studenten, ouders, docenten, onderwijsbestuurders op alle niveaus hebben immers belang bij goede toetsresultaten. Chemici hechten waarde aan goede chemische resultaten bij het experimenteren en argumenteren.

In de Nederlandse schoolonderzoek- en eindexamensituaties vinden we inderdaad opdrachten tot experimenteren, argumenteren en berekenen. In het onderwijs dat hierop voorbereidt vinden we deze activiteiten in de vorm van oefeningen terug. De gevraagde argumentaties hebben vaak de vorm van verklaringen voor het optreden (of niet optreden) van bepaalde chemische verschijnselen, en van berekeningen, ook wel specificaties genoemd.

Deze berekeningen en argumentaties zijn echter in examens en schoolboeken veelal los komen te staan van experimenten en beschrijvingen van verschijnselen. Wat een beschrijving van een verschijnsel met behulp van mathematisch-analytische relaties tussen grootheden zou moeten zijn, dreigt over te gaan in rekenkundige procedures met getallen. Opdrachten die begrips-

vorming beogen worden gereduceerd tot sommen die alleen getalsmatig goede uitkomsten geven. Het is niet voor niets dat leerlingen vaak vergeten bij de uitkomst van de berekening de eenheden te vermelden. De representatie van verbanden tussen grootheden verliest zijn wetenschappelijke betekenis. Ook bij andere weergaves van kwaliteiten en kwantiteiten met betrekking tot stoffen en reacties, bijvoorbeeld in reactievergelijkingen en structuurformules, treedt verlies aan wetenschappelijke betekenis op.

De signaleerde scheiding tussen experiment, argument en berekening in de examens is expliciet en zichtbaar in daarop voorbereidende schoolboeken. Daar vinden we niet alleen een scheiding binnen de opdrachten maar ook tussen de opdrachten enerzijds en de daaraan voorafgaande tekst anderzijds. De "theorie" wordt in de tekst uitgelegd en daarna geoefend.

In het universitaire beginonderwijs gaat de scheiding tussen experimenteren en argumenteren nog verder. Hoorcolleges en practica worden door verschillende docenten verzorgd. Er wordt gewerkt met practicumboeken, studieboeken en tabellenboeken. De practicumboeken functioneren bij practica, de studieboeken bij colleges. Alleen tabellenboeken worden bij beide werkvormen gebruikt.

Practicumvoorschriften worden steeds meer gedetailleerd om een chemisch goed resultaat en de fysieke veiligheid van de practicaant te waarborgen. Dat laatste is uiteraard van groot belang, maar dergelijke voorschriften roepen steeds minder vragen op bij studenten en zeker geen vragen m.b.t. een argumentatie die de handelingen legitimeert. Dit probleem, dat zich zowel bij het leren bereiden als bij het leren meten voordoet, wordt door chemici aangeduid als het probleem van de *kookboekpractica*. Zulke practica bereiden niet voor op wetenschapsbeoefening. Ze maken een breuk tussen wetenschap en onderwijs zichtbaar.

Elzenga heeft in zijn proefschrift zelfs laten zien dat practicumdocenten soms de studenten theorie uit studieboeken laten reproduceren die voor de benodigde praktijkbeslissingen volstrekt irrelevant is. Goedhart analyseert in zijn proefschrift acht studieboeken over foutenleer en stelt vast dat geen daarvan zelfs maar rept over de kwaliteit van een meetresultaat in samenhang met een vanuit de meetcontext te stellen theorie of praktijks.

Zo leren studenten proeven volgens voorschrift uit te voeren, maar ze leren niet experimenteren in relatie tot argumenteren.

Studieboek en practicumboek zijn dus niet met elkaar verbonden. Experimenteren en argumenteren worden steeds verder uit elkaar getrokken. Met betrekking tot de relatie tussen wetenschap en onderwijs is er sprake van een breuk, van een contextverschil en ook binnen het chemie-onderwijs is die breuk zichtbaar, nl. tussen practicum- en theorie-onderwijs.

Deze breuk zie ik als een gevolg van twee processen nl. een van decontextualisering van wetenschap naar onderwijs en een van recontextualisering van onderwijs naar wetenschap.

Eerst de decontextualisering, d.w.z. het proces dat leidt van het verwerven van wetenschappelijke kennis tot het vermelden van de resultaten ervan in universitaire studie- en practicumboeken en in schoolboeken. Dit proces houdt een aanzienlijke stapsgewijze reconstructie en reductie in. Dat begint al bij de eerste stap, de rapportage over het verlopen onderzoek in een wetenschappelijk artikel. Het artikel bericht niet over alle zaken van het onderzoek maar biedt een gestroomlijnde reconstructie ervan. Vervolgens vindt bij de aggregatie van zulke artikelen tot overzichtartikelen een overgang plaats van de oorspronkelijke onderzoeksvragen en -methoden naar de verkenning van nieuwe, vaak met een meer algemeen karakter. Bij de overgang naar onderwijsboeken

worden de onderzoeksresultaten verder gebundeld, waarbij de context van onderzoeksmethoden en -vragen geheel wordt weggelaten. De resultaten worden aangeboden als door geleerden ontdekte waarheden. Experiment en argument zijn dan gescheiden van theorie- en praktijkvragen. Het procesmatige, probleemstellende karakter van wetenschap is verdwenen.

En dan het tweede proces, dat van recontextualisering tot onderwijs dat bedoeld is om studenten tot wetenschap te brengen. In dat onderwijs wordt de theorie meegedeeld en vervolgens geoefend in verklarings- en berekeningsopdrachten. De experimenten worden geprogrammeerd ter illustratie van de theorie, of als voorbeeld van een praktische werkwijze waarbij de docent deze selecteert op grond van zijn of haar reconstructie van het vakgebied. De dissertaties laten zien dat boeken en docenten onderwerpen kiezen op basis van een representativiteits eis ontleend aan de vakstructuur, d.w.z. de vakinhoudelijke reconstructie door de expert, in dit geval de chemicus.

Wanneer we het geheel overzien moeten we dus konstateren, dat de wijze van organisatie van chemische begrippen en werkwijzen in onderwijsmiddelen een ingrijpend proces heeft doorgemaakt, dat de leerlingen niet hebben doorgemaakt en dat ze ook niet kennen. Er is voor hen geen sprake van representativiteit.

De dissertaties laten eveneens voorbeelden zien waarin zowel in schriftelijke als in mondelinge communicatie in chemie-onderwijs docenten spreken in hun eigen chemische context dan wel in een door hen beoogde context, zonder daarmee begrijpelijk te zijn voor leerlingen of studenten die deze context immers nog niet kennen. Er is dan een breuk tussen leren en onderwijzen.

De vraag ligt daarom voor de hand of chemie-onderwijs dat is ontworpen door chemici op grond van hun eigen vakstructurele reconstructie wel productief kan functioneren t.b.v. beginners, die dat doel nog niet kunnen zien. Daarmede is communicatief gezien de vraag gewettigd of de structuur van aangeboden teksten, practicumopdrachten en gespreksvoering het leren wel productief kan ondersteunen, aangenomen dat leren eveneens een gestructureerd proces kan zijn.

Als taak van een wetenschapsgebied chemiedidactiek zou ik nu willen zien het verkrijgen en verantwoorden van een structuur in het onderwijsaanbod die de breuk met chemie overbrugt en die productief leren mogelijk maakt. Daarbij zal het formuleren van een beoogd leerresultaat moeten samengaan met het constateren van een gerealiseerd leerresultaat in afhankelijkheid van de geconstrueerde onderwijssituatie.

Dit laatste noem ik de praktijkcontext van chemiedidactiek. In die context gaan wij in eerste instantie na welke materiële en communicatieve ervaringen moeten worden aangeboden aan leerlingen en docenten. Anders gezegd we proberen gelegenheid te geven tot experimenteren en argumenteren in samenhang.

Als theoriecontext van chemiedidactiek gaat het om het ontwikkelen van een beschrijvingsmiddel voor het op elkaar betrokken spreken en handelen van docent en leerling. Registratie en interpretatie van structuur in hun spreken en handelen speelt in beide contexten van chemiedidactiek een zeer belangrijke rol.

Ik beperk mij nu tot de praktijkcontext en geef daarvan enkele voorbeelden uit ons eigen onderzoek. In deze voorbeelden gaat het steeds om het wijzigen van het onderwijsaanbod met het oog op experimenteren en argumenteren in samenhang. Leidmotief daarbij is de argumentatie zo dicht mogelijk bij de eigen ervaring van de leerling te laten beginnen.

Het eerste voorbeeld betreft het ontwikkelen van een chemisch reactiebeprij in beginonderwijs scheikunde waaraan o.a. De Vos en Acampo hebben gewerkt.

De Vos meldt dat hij in beginonderwijs soms zeer intrigerende vragen van leerlingen hoorde. Zo vroeg een leerling die bij een demonstratie van de elektrolyse van water aan de ene elektrode waterstof en een eindje verderop, aan de andere elektrode zuurstof zag ontstaan: "Waar ontleedt het water nu eigenlijk?"

De Vos heeft er voor gekozen om een eerste kennismaking met het begrip "chemische reactie" ervaringsnabijer te maken door kleurverandering te gebruiken, niet zoals gebruikelijk in oplossing of door verhitting van stoffen, maar door de leerlingen zelf twee witte vaste stoffen (kaliumjodide en loodnitraat) te laten samenwrijven. Zelfs dan bleek nog vaak de vraag nodig "Wie heeft dat gele spul (loodjodide) erin gedaan?" om aandacht van de leerlingen voor het ontstaan van een nieuwe stof te krijgen.

Vervolgens laat De Vos de beide genoemde stoffen in een dunne laag water in een petrischaaltje op enige afstand van elkaar oplossen. De reactie verloopt dan op een andere plaats dan die van het oplossen van beide stoffen. Zo worden oplossen, transport en de eigenlijke chemische reactie ruimtelijk van elkaar gescheiden en daarmee afzonderlijk bespreekbaar.

Acampo heeft onderwijs in elektrochemie ontwikkeld. In het traditionele onderwijs wordt elektrochemie gedomineerd door het kloppend maken van reactievergelijkingen m.b.v. getabelleerde halfreactievergelijkingen, in hogere leerjaren gevolgd door de vergelijking van Nernst als toestandsbeschrijving met het oog op het voorspellen of verklaren van een evenwichtsligging. Acampo stuitte in het elektrochemie-onderwijs op problemen m.b.t. contextverschillen tussen chemie en fysica, en op problemen m.b.t. het reactiebeprij. Zij heeft er toen voor gekozen aandacht te vragen voor cellen in een Faraday-context (stroom als proces) i.p.v. een Nernst-context (spanning als toestand). Met het oog op ervaringsnabijheid gebruikte zij een lampje om de aandacht te vestigen op de elektronenstroom en een zoutbrug met daarin een groene oplossing van tetramminekoperchromaat, $\text{Cu}(\text{NH}_3)_4\text{CrO}_4$ (samengesteld uit een blauw en een geel gekleurde ionsoort die bij stroomdoorgang separaat zichtbaar worden vanuit hun groene mengkleur), om de samenhang tussen ladingtransport en massa-transport te laten zien. De beide zichtbare elektrode reacties richten vervolgens de aandacht op reactie als elektronenoverdracht.

Het ontwerpen van dergelijke proeven met het oog op ondersteuning van een gewenste begripontwikkeling benoem ik als *didactische chemie*.

Van Sprang is in de nascholingscursus over elektrochemie nog een stap verder gegaan door aan de hand van een v.w.o.-eindexamenopgave te laten zien dat de vergelijking van Nernst niet in een meetcontext maar in een thermodynamische context geplaatst dient te worden. Deze beide contexten kunnen weliswaar verbonden worden via de Debije-Hückeltheorie maar moeten wel van elkaar worden onderscheiden. Tevens heeft Van Sprang de fysische en de chemische context met elkaar verbonden via een potentiaalmeting over een elektrolysecel. Het "bulk"gedeelte van de elektrolyt blijkt, in tegenstelling tot het grensvlak elektrode/oplossing, beschreven te kunnen worden m.b.v. de Wet van Ohm. Grote potentiaalsprongen in de buurt van de elektroden versterkten de aandacht voor de elektrode reactie. Zo kan men op weg gaan naar de dubbellaag en naar een uitbreiding van de beschrijving m.b.v. alleen weerstand tot één met capaciteit en weerstand.

Voor de docent is er in een dergelijke benadering voortdurend gelegenheid om ook zelf chemie te leren. Ik acht het mede met het oog op de inrichting van een chemieleraaropleiding van groot belang dat het leren van chemie-onderwijzen wordt gezien als het leren van chemie en van chemiedidactiek in samenhang, een m.i. belangwekkend onderzoeksthema. Als daarover meer bekend is, kunnen in scholing en nascholing aan docenten instrumenten worden aangeboden om onderwijs vorm te geven dat productief chemie-leren mogelijk maakt.

Een ander voorbeeld betreft het werk van Van Hoeve-Brouwer met betrekking tot chemische binding (structuurchemie). Daarin wordt de keus gemaakt om ervaringsnabijheid niet alleen te bereiken met zelf experimenteren maar ook met verhalen over onderzoek door anderen. Het leren construeren van kennis is hier leidmotief. Leerlingen, in dit geval in de bovenbouw van het v.w.o., verkrijgen door verhitting van appelzuur twee witte vaste stoffen (maleïnezuur en fumaarzuur) maar zij weten niet welke dat zijn. Zij voeren vervolgens zelf een kwalitatieve elementenanalyse uit. De resultaten van een *kwantitatieve* elementenanalyse uit de vorige eeuw worden aangeboden. De leerlingen moeten vervolgens de beslissing nemen om met niet zo nauwkeurige meetgegevens beide stoffen te interpreteren als $(\text{CHO})_n$ met n als geheel getal. Vervolgens titreren ze beide stoffen met loog (en met de zuur-base-indicatoren methylooranje en fenolftaleïne) en meten ook een pH-curve. Op grond van o.a. de titratieresultaten volgt dan een beslissing waarover leerlingen het onderling eens moeten worden, nl. dat $n=4$.

De argumentatie over het onbekende stoffenpaar verloopt via $(\text{CHO})_n$ en $(\text{CHO})_4$ vervolgens naar $(\text{CH})_2(\text{COOH})_2$. Dit veronderstelt COOH bekend als functionele groep waardoor mono- en dicarbonzurenreeksen, bijvoorbeeld $\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{COOH}$ en $\text{HOOC}-(\text{CH}_2)_n-\text{COOH}$ in aanmerking komen. Een belangrijk leerresultaat was de uitspraak van een leerling, dat n in $\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{COOH}$ "iets anders betekent" dan n in $(\text{CHO})_n$. In het eerste geval gaat het nl. om een homologe reeks van stoffen beschreven met de natuurlijke getallen, met regelmaat in samenstelling, structuur en eigenschappen en in het tweede geval om een groep stoffen met weliswaar gelijke elementsamenstelling maar met zeer verschillende structuren en eigenschappen. Zo hoort bijvoorbeeld ook hexahydroxybenzeen tot de reeks $(\text{CHO})_n$. Het gemaakte onderscheid behoort sindsdien tot de didactische analyse van het begrip chemische formule.

Een laatste voorbeeld dat ik kort wil bespreken is een fragment uit een film over destillatie, in onze vakgroep gemaakt door Mulder op basis van empirisch-didactisch onderzoek. Het betreft de relatie tussen temperatuur en samenstelling in een destillatiekolom. Eerstejaars studenten blijken een zogeheten "onafhankelijke-stofdenken" te hanteren, d.w.z. zij verwachten dat bij destillatie eerst de stof met het lagere kookpunt en daarna de stof met het hogere kookpunt afzonderlijk overdestilleert. Hun begeleiders blijken veelal nauwelijks in staat om uit te leggen hoe zij zich de werking van een destillatiekolom voorstellen. In de film is te zien hoe het feitelijke experiment, inclusief de resultaten, wordt gevisualiseerd door een temperatuurregistratie gekoppeld aan een samenstellingsregistratie van het destillaat. Daarmede bleek het onafhankelijke-stofdenken bij studenten vervangen te kunnen worden door een denken in termen van een veranderend mengsel. In het nieuwe onderwijsaanbod kan temperatuur verstaan worden als indicator van samenstelling.

Ter afronding wil ik nu ingaan op twee zaken nl. de mijns inziens onontkoombare wijze van onderwijsvernieuwen waarvoor alleen chemiedidactiek een noodzakelijke wetenschappelijke basis kan leveren, en in het verlengde daarvan datgene wat ik wil benoemen als het expliciteren van vakconcepten.

1. *Onderwijsvernieuwing: kernthema's en implementatie.*

Eindexamenprogramma's en leerplannen worden veelal geprogrammeerd volgens chemische onderwerpen waarbij op gezette tijden onderwerpen vervangen worden door andere zonder dat daarvoor, vanuit produktief leren en onderwijzen gezien, een deugdelijke argumentatie wordt gegeven.

Zo is de Wet van Faraday uit het v.w.o.-programma verdwenen, waardoor elektrochemie geplaatst wordt in een meetcontext rondom de vergelijking van Nernst. Een "maakcontext", waarbij elektrolyse wordt gebruikt om eerst een half-reactieconcept te ontwikkelen, ontbreekt. Een onderwijsstructuur waarin een elektrolysecel vooraf gaat aan galvanische cel zou echter wel eens de voorkeur kunnen verdienen boven de momenteel gepracticeerde. Niet alleen krijgt bereiding dan duidelijk aandacht naast meting, maar de volgorde van begripontwikkeling lijkt ook logischer.

Ik wil er dan ook voor pleiten om wijzigingen in programma's eerst empirisch-didactisch te laten onderzoeken alvorens ze in te voeren, teneinde eventueel reeds bereikte produktieve samenhang van leren en onderwijzen niet opnieuw te verspelen. Tevens kunnen dan ook vanuit dit steeds onderzoeksmatig bijstellen van onderwijsprogramma's ook kernthema's uit het curriculum herkend worden in die zin, dat er sprake is van een over leerjaren heen samenhangende reeks van onderwerpen.

Voor het v.w.o. zou ik als kernthema's voor experimenteren en argumenteren in chemie momenteel willen kiezen: reactie en stof, samenstelling, energie, structuur en eigenschap en uiteraard meten en maken. M.b.t. de argumentatie zou ik relatief meer aandacht willen vragen voor de classificerende en vergelijkende uitspraken teneinde de kwantificerende niet alleen het karakter van sommetjes te geven, maar ook en vooral zicht te laten bieden op de manier waarop een natuurwetenschap als chemie werkt. Experiment en argument worden dan in samenhang onderwezen.

Vernieuwing van chemie-onderwijs kan m.i. alleen plaatsvinden via een proces van samenhangende veranderingen in eindexamenprogramma, leerplan, leermiddelen en opleiding en nascholing van docenten op basis van chemiedidactisch onderzoek.

De keuze om onderwerpsgewijs i.p.v. themagewijs te programmeren lijkt op het eerste gezicht een waarde vrije, maar hopelijk heeft deze lezing duidelijk gemaakt dat, wanneer leren wordt opgevat als het op een gestructureerde en systematische wijze ontdekken van samenhangen, de werkwijze in chemie niet automatisch die in chemie-onderwijs is.

Zo kom ik tot mijn laatste punt.

2. *Explicitering van vakconcepten.*

Wetenschap en onderwijs vat ik op als betekenisgevingsactiviteiten in een sociaal-culturele context. Wanneer chemiedidactiek de relatie tussen chemische betekenisgeving in chemie en in onderwijs bestudeert, zullen we zowel de beide wetenschappen - chemie en chemiedidactiek - als het onderwijs nader moeten beschouwen.

Ik wil hierop kort ingaan door een onderscheid afkomstig van Wardekker te vermelden, dat in onze vakgroep is geïntroduceerd door Van Aalsvoort. Wardekker onderscheidt twee wetenschapstradities, nl. een zogeheten waarnemers- en een deelnemerstraditie. Hij spreekt van tradities omdat gebruiken en opvattingen in wetenschap niet alleen op wetenschappelijke rationaliteit gebaseerd zijn, maar ook verbonden zijn met een sociaal-culturele context in een bepaalde periode. De eerste traditie, de waarnemerstraditie, wordt vooral in de natuurwetenschappelijk georiënteerde disciplines aangetroffen met de wetenschapper als een waarnemer, die niet betrokken is bij zijn object. De tweede, de deelnemerstraditie, wordt aangetroffen in de sociale wetenschappen voor zover deze de natuurwetenschappen niet als navolgenswaardig voorbeeld zien.

Bezien wij nu de beide wetenschapsgebieden dan moeten we chemie kenschetsen als behorend tot de waarnemerstraditie en kunnen we chemiedidactiek als sociaalwetenschappelijke activiteit plaatsen in de deelnemers-traditie. U heeft kunnen constateren dat de empirische chemiedidactiek, in zijn reflectie op chemie en in zijn zoeken naar structuur in spreken en handelen van op elkaar betrokken mensen, aspecten bezit van zowel een waarnemers- als een deelnemerstraditie. Van Keulen benoemt dit in zijn dissertatie als de objectivistische traditie van natuurwetenschappen en de hermeneutische traditie van de mens- en maatschappijwetenschappen. Een verschuiving van kwalitatief naar kwantitatief didactisch onderzoek zal dan ook gepaard gaan met de verschuiving in de richting van de waarnemerstraditie.

Ook chemie-onderwijs dat is ontworpen vanuit een reconstructie van chemie zal een objectivistisch kenmerk kunnen hebben. Wanneer door een onderwijsgever of ontwikkelaar gezegd wordt dat een experiment iets toetst, toont of illustreert, dan kan het woord 'experiment' wijzen op de chemische context en daarmee op de waarnemerstraditie. Het 'toetsen', 'tonen' en 'illustreeren' gaat uit van een chemische reconstructie binnen diezelfde chemische context waarbij niet is nagegaan of het getoetste, getoonde of geïllustreerde door de leerling als deelnemer kan worden begrepen.

Van Keulen zoekt in zijn proefschrift naar verschillen tussen kennis- en inzichtverwerving in wetenschap en in onderwijs in relatie tot de verwoording in vaktaal. Hij maakt daarbij een onderscheid tussen objectivisme en fenomenologie enerzijds en de hermeneutische traditie van inzichtelijk verwoorden anderzijds. In natuurwetenschap en in natuurwetenschappelijk onderwijs lijkt de hermeneutische traditie te zijn verwaarloosd.

Gaande van een chemie-onderwijssituatie naar een chemie-onderzoekssituatie is explicitering van de onderliggende vakconcepten van chemie, chemie-onderwijs en chemiedidactiek noodzakelijk. Anders blijft er binnen het onderwijs een kloof van niet verstaan tussen onderwijstekst en docent enerzijds en leerling anderzijds en eveneens een kloof tussen chemie-onderwijs als unieke sociale gebeurtenis en chemie objectivistisch opgevat, los van mensen. Ook blijven dan bestuur en beheer binnen hun politiek-juridische en sociaal-economische context. Onderwijsuitvoering blijft dan een sociaal-culturele activiteit in algemene zin die bestuur en beheer alleen als externe randvoorwaarde ervaart.

De recontextualisering van chemie in chemie-onderwijs op basis van chemiedidactisch onderzoek is noodzakelijk om chemie-onderwijzen als een functionele bezigheid te kunnen ervaren. Onderzoekers en uitvoerders van onderwijs kunnen anders nooit een verbetering bereiken van de kwaliteit van de onderwijssituatie ten behoeve van de komende generatie chemici en burgers.

Chemiebeoefening een universitair onderwijsleerproces? Ja, als chemie-didactiek een kans krijgt chemie-onderwijs en chemie op onderzoeksmatige wijze te verbinden. Vanuit bestuur en beheer aan de universiteit doen we dat normaal door een leerstoel te vestigen dan wel te continueren, wanneer we als bestuur het belang van een taak tenminste niet alleen zien vanuit politiek-juridisch of sociaal-economisch gezichtspunt. Een leerstoel is nodig om twee kloven te overbruggen:

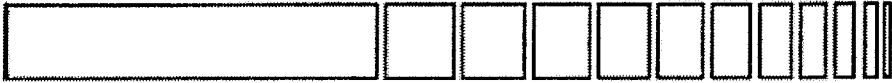
die tussen chemie en chemie-onderwijs

die tussen chemieleden en chemie-onderwijzen.

Ik dank u voor uw aandacht.



Chemiedidactiek, Natuurkundedidactiek of β -didactiek?





Chemiedidactiek, Natuurkundendidactiek of β -didactiek?

(of: wat ik geleerd heb van Adri Verdonk)

Piet L.Lijnse
Vakgroep Natuurkunde-Didactiek
CD- β , Universiteit Utrecht

1. Het Begin

In het begin van de jaren 80 kwam bij de Nederlandse Universiteiten een nieuwe mode in zwang, die sindsdien nog wel veranderd is, maar niet meer verdwenen. Deze mode hield in dat het veronderstelde gelanterfant en het individuele rondzwalken van onderzoekers maar eens afgelopen moest zijn. Er moest harder en vooral planmatiger gewerkt gaan worden, en daarvoor werd een systeem van kwaliteitscontrole in het leven geroepen. Onder de kop 'Voorwaardelijke Financiering' moesten er onderzoeksprogramma's geformuleerd gaan worden, waaraan een minimaal aantal fte's (staat voor: 'full time equivalent') aan onderzoekers moest deelnemen, en die regelmatig extern beoordeeld zouden gaan worden.

Bij beleidsmatige innovaties kan men natuurlijk nooit zeggen dat ze alléén maar rampspoed en extra werk met zich meebrengen. Datzelfde geldt ook voor invoering van de VF, zoals deze operatie in de wandelgangen genoemd werd. Hiervan ging ook een zekere positieve stimulans uit en voor ons is nu belangrijk dat hierdoor de vraag opkwam of er in Utrecht niet een didactisch onderzoeksprogramma voor de natuurwetenschappen te formeren zou zijn. Er waren immers vakgroepen Natuurkunde- en Scheikunde- Didactiek en er was een Biologie-Didactiek groep¹. Kon het onderzoek van deze groepen, ter vergroting en versterking aangevuld met geselecteerde collega-onderzoekers van elders, niet gebundeld worden tot een VF-programma dat de toets der kwaliteitskritiek zou kunnen gaan doorstaan?

De Utrechtse Natuurkunde- en Scheikunde-Didactiekgroepen, o.l.v. respectievelijk Hooymeyers en Verdonk, namen hierin het voortouw en het is in deze context dat ik voor het eerst kennismaakte met Prof.Dr. A.H.Verdonk, hoogleraar chemie-didactiek. Sindsdien heb ik veel van hem geleerd, waarover hieronder meer.

1. Met inbegrip van de met deze vakgroepen meewerkende PDI-medewerkers (het PDI is opgegaan in het huidige IVLOS).

De positie van de toenmalige vakgroep OW&OC (Ontwikkeling Wiskundeonderwijs en Onderwijs Computercentrum) was sterk genoeg om binnen de discipline Wiskunde een eigen VF-programma te kunnen formeren. Toch heeft de VF-invoering ook t.a.v. wiskunde-didactiek geleid tot verdere samenwerking. In 1989 hebben de vier betrokken vakgroepen deze vorm gegeven in het Centrum voor Didactiek van Wiskunde en Natuurwetenschappen.

Er werd voor het programma i.o. een programmaleiding gevormd waarin, naast Verdonk en Hooymayers, ook zitting werd genomen door Ten Voorde en mijzelf (later aangevuld met Voogt vanuit de Biologie-Didactiek). Maar, wat was eigenlijk de eenheid in dit programma? Ik herinner me niet meer precies de discussie over de titel van het programma, maar wel dat van chemie-didactische zijde werd voorgesteld dat we op zoek zouden moeten gaan naar zoets als de 'didactische structuur van de natuurwetenschappen'. Dit voorstel kon echter geen genade vinden in natuurkunde-didactische ogen, want die konden zich daarbij helemaal niets voorstellen. Natuurkunde had ongetwijfeld zoets als een vakstructuur, en scheikunde zou dat ook wel hebben, maar wat moesten we in hemelsnaam verstaan onder een 'didactische structuur' van deze disciplines, daar hadden we geen idee van. Uiteindelijk kwamen we samen uit op het compromis: 'Begripsontwikkeling en curriculumonderzoek in de wiskunde en natuurwetenschappen'. Een paraplu-titel waar het nogal brede scala van onderzoek dat op dat moment gedaan werd, naar ieders idee, goed onder kon worden samengebracht. Daarbij moeten we natuurlijk ook bedenken dat vakdidactisch onderzoek toendertijd een nog allesbehalve welomschreven activiteit was (en is!). Promotie-onderzoeken op β -didactisch gebied vonden tot dan toe alleen incidenteel plaats, en dan nog praktisch uitsluitend onder sociaal-wetenschappelijke vlag. In ieder geval niet in de natuurwetenschappen zelf, tenzij er een promotor gevonden kon worden van voldoende natuurwetenschappelijke onderzoeksstatus om de kritiek en hoon van de collega's naast zich te kunnen neerleggen. Kortom, β -didactisch onderzoek kon, begin jaren 80, nog allesbehalve bogen op een bloeiende traditie; of, om het modieuzer te formuleren, op een al uitgewerkt en geaccepteerd onderzoeksparadigma. En bovendien waren er ook nauwelijks op dit gebied ervaren onderzoekers². Wat we wel hadden was een zeker (vaak wijfelend) geloof in eigen kunnen, en de overtuiging dat de zaak waar we voor stonden de moeite waard was.

We kunnen dan ook rustig zeggen dat de oprichting van het genoemde VF-programma een daad was waar een zekere durf voor nodig was. Te meer daar het onderzoek in dit programma dus ook op de in de β -disciplines gebruikelijke wijze moest resulteren in proefschriften. Oftewel promoties, maar hoe en waarop? Als korte programmaomschrijving werd uiteindelijk het volgende geformuleerd: "Het programma beoogt op basis van ontwikkelingsonderzoek rond de vorming van kernbegrippen, te komen tot theorievorming op grond waarvan beargumenteerd kan worden hoe en in hoeverre het mogelijk en wenselijk is de kloof te overbruggen tussen begrippen in niet-wetenschappelijke en vakwetenschappelijke context".

Nu ik dit weer zo lees, vraag ik mij af in hoeverre de opstellers van dit programma toen eigenlijk hetzelfde voor ogen hadden. In hoeverre heeft er sindsdien programmaontwikkeling plaatsgevonden in de zin dat er in plaats van een gemeenschappelijke paraplu, nu ook gesproken kan worden van een gezamenlijk onderzoeksprogramma? En, in het licht van het doel van deze bundel, wat is de rol van Adri Verdonk geweest in dit proces?

-
2. Het belang hiervan zal voor ieder duidelijk zijn. Dit komt ook naar voren uit de grote invloed die Ten Voorde heeft en gehad heeft op ons programma. Hij was toendertijd in feite de enige als vakdidactisch onderzoeker gekwalificeerde programmaleider.

2. Het Vervolg

Sindsdien is er veel gebeurd. Om met de promotieoutput te beginnen, binnen het programma hebben tot nu toe 14 promoties plaatsgevonden (9 chemie-didactiek, 4 natuurkunde-didactiek³, 1 biologie-didactiek). Op dit moment zijn er onder supervisie van de programmaleiding 21 proefschriften in bewerking (8 chemie-didactiek, 7 natuurkunde-didactiek, 6 biologie-didactiek; waaronder 5 niet-Utrechtse Nederlandse promovendi en 2 Belgische). Vier promotie-onderzoeken staan op het punt te beginnen. Kortom, je zou kunnen zeggen dat de promotiefabriek aardig op gang is gekomen. (Zeker als je bedenkt dat voor dit type onderzoek niet of nauwelijks mogelijkheden zijn voor financiering uit de tweede en derde geldstroom.) Uit de getallen blijkt al dat Verdonk hierin een niet te overschatten leidende pioniersrol heeft vervuld. Praktisch vanuit het niets is, parallel met het opleiden van de staf, inmiddels een draaiend onderzoeksprogramma ontstaan; van een omvang en diepgang die tot op grote hoogte uniek kan worden genoemd in het vakdidactische Nederlandse wereldje en daarbuiten.

En hoe is het met de programmatische samenwerking gegaan? Ook daarin is, naar mijn oordeel, een duidelijke positieve ontwikkeling aan te wijzen, waarin de rol van Verdonk zonder meer toonaangevend is geweest.

In de eerste fase van het programma waren er duidelijk verschillende accenten aanwijsbaar. Het natuurkunde-didactisch onderzoek stond nog sterk in het licht van het curriculumontwikkelingswerk in het toenmalige PLON-project. Dat wil zeggen dat er een sterk accent lag op de evaluatie van de door dat project nagestreefde onderwijsvernieuwing. Deze bestond grotendeels uit het vormgeven van een nieuw type doelstellingen: natuurkunde-onderwijs dat voor leerlingen relevanter en motiverender moest zijn, minder uitgaand van de wetenschappelijke optiek en meer gericht op dagelijkse toepasbaarheid. Deze verschuiving in doelstellingen hield uiteraard ook een verschuiving in na te streven begripsvorming in, alhoewel de mate waarin dat het geval moest zijn nog niet altijd even duidelijk was. De micro-didactiek in het PLON-project was echter nog grotendeels intuïtief van aard, d.w.z. dat de wijze waarop begrippen werden geïntroduceerd nog grotendeels overeenkwam met de overdrachtsdidactiek van de ervaren leraar (die in dit geval dus curriculumontwikkelaar was geworden).

De chemie-didactische benadering was toen juist andersom. Hun onderwijsoptiek was nog praktisch uitsluitend gericht op het onderwijzen van wetenschap of daarvoor voorbereidend. Hun aandacht lag echter juist op de micro-didactische problemen. Het proces van begripsvorming werd nauwgezet bestudeerd in de feitelijke onderwijssituatie, waarbij het bestuderen van gespreksprotocollen tot methodologisch credo was verheven.

3. Hierbij dient vermeld te worden dat een ander deel van het onderzoek in de vakgroepen Natuurkunde- en Biologie-Didactiek werd ondergebracht in het IVLOS-VF-programma: 'Scholing van Onderwijsgeevenden'.

Sindsdien heeft er een wederzijdse toenadering plaatsgevonden. Het onderzoek in de vakgroep Chemie-Didactiek heeft haar eenzijdige aandacht voor vakwetenschappelijke cognitieve begripsvorming verruimd en houdt zich nu ook bezig met het onderzoeken van curriculumvragen en verandering in doelstellingen.

Het natuurkunde-didactisch onderzoek heeft op zijn beurt de begripsontwikkelingsoptiek als essentieel aspect overgenomen. Ook in het biologie-didactisch onderzoek is deze beïnvloeding duidelijk aanwezig, waarbij het deze bestudering van toch nog hoofdzakelijk cognitieve aspecten aanvult door ook aandacht te vragen voor de ontwikkeling van waardenoriëntaties, bijvoorbeeld t.a.v. het omgaan met natuur en milieu.

Ik meen dan ook te mogen concluderen dat de afgelopen periode van onderzoekssamenwerking er een geweest is van naab elkaar toegroeien; van greep krijgen op wat β -didactisch onderzoek kan inhouden; van het ontwikkelen van een geschikte onderzoeksmethodologie en van een bruikbaar theoretisch kader. Het is een moeilijk zoekproces geweest naar wat je een eigen identiteit zou kunnen noemen. β -didactiek als onderzoeksgebied, zich situerend in het volgens velen eigenlijk niet bestaande terra incognita tussen vakwetenschap en onderwijswetenschap. Een proces dat bemoeilijkt werd doordat de deelnemers vanuit zeer verschillende achtergronden opereerden en dientengevolge evenzoveel verschillende stokpaarden bereden. Een proces ook dat zich, vanwege dit zoekende karakter noodzakelijkerwijs nogal naar binnen gericht heeft afgespeeld. Maar dat, desalniettemin, naar mijn oordeel, langzamerhand toch lijkt uit te kristalliseren in wat van nu af aan zou kunnen gaan functioneren als een gemeenschappelijke inspirerende visie op de verdere ontwikkeling van β -didactisch onderzoek en onderwijs. Dit lonkende perspectief is, het zij nogmaals gezegd, in niet geringe mate de verdienste van Adri Verdonk, niet alleen vanwege zijn inhoudelijke bijdragen hieraan, maar vooral vanwege het feit dat hij altijd rotsvast in het belang van deze zaak is blijven geloven. β -didactiek niet als een optelsom van natuurkunde-, scheikunde- en biologiedidactiek, ook niet als een op de β -vakken toegepaste vorm van de onderwijskunde, of als toegepaste pedagogiek of leerpsychologie, maar als een geïntegreerd vakgebied dat zich zelfstandig en op eigen kracht dient te ontwikkelen.

3. De Toekomst?

Hoe kan die gemeenschappelijke visie er dan uit gaan zien? Voortbouwend op de 'periode Verdonk' stel ik voor hiervoor drie samenhangende uitgangspunten te kiezen: probleemstellend onderwijs als onderwijsconcept, ontwikkelingsonderzoek als onderzoeksconcept en de beschrijving van didactische structuren(!), gekoppeld aan concrete vormgeving in onderwijs, als na te streven theoretische en praktische opbrengsten (Lijnse, 1995). En dit alles met als doel het ontwikkelen, onderzoeken en funderen van 'goed' natuurwetenschappelijk onderwijs, dat voortdurend adequaat aangepast is aan de maatschappelijke context waar het deel van uitmaakt⁴.

4. Insiders kunnen terecht opmerken dat hieruit een grote verwantschap blijkt met het 'realistisch wiskunde-onderwijs', wat het handelsmerk is geworden van het Freudenthal Instituut. Dit is inderdaad juist. Hieruit moge blijken dat de oprichting van het CD- β ook inhoudelijk vruchtbaar is geweest.

Probleemstellend onderwijs kenmerkt zich doordat het voor het bereiken van de onderwijsdoelstellingen, niet alleen uitgaat van de al aanwezige kennis en opvattingen van lerenden, maar ook van hun motieven en vragen. In een zorgvuldig uitgelijnd onderwijsproces worden kennis, handelingen en vragen in functionele relatie tot elkaar op een voor lerenden zinvolle wijze ontwikkeld. Door de ontwikkelingen in hun eigen handelingen, gedachten en wensen, dus door hun eigen constructies, zoveel mogelijk lokale leidraad te laten zijn voor het te ontwerpen onderwijsproces wordt niet alleen voorkomen dat dit begripsmatig geforceerd plaatsvindt, maar ook dat het inhoudelijk vervreemdend werkt.

Voor het ontwerpen, bestuderen en funderen van zulk onderwijs is ontwikkelingsonderzoek de aangewezen methode. Het volgen van begripsontwikkelingsprocessen in feitelijke onderwijssituaties is daarom standaard geworden in ons onderzoeksprogramma. Daarbij staat bestudering van het interactieproces van leerlingen en van leerlingen en docent centraal. De rol van interpretatie, communicatie en taalvorming, in relatie tot handelen, vraagt in een succesvol onderwijsleerproces voortdurende concentratie op het inhoudspecifieke karakter daarvan. Daarin ligt zowel de eigen geaardheid van vakdidactisch onderzoek besloten als zijn noodzakelijkheid.

De eerder genoemde kloof vraagt een nieuwe doordenking van te ondezwijzen vakbegrippen, de doelstellingen die men daarmee voor ogee heeft, en het in kaart brengen van de beginsituatie van lerenden. De overbrugging vraagt om het ontwerpen van onderwijsleerprocessen die uitgaan van wat leerlingen al kunnen en weten, en dat geleidelijk uitbreiden en ontwikkelen in een niet-geforceerd proces van elkaar voortdurend begrijpen. Een overbrugging dus die de kloof in feite opheft.

Als wetenschappelijke opbrengst kunnen we denken aan de gefundeerde en bereflecteerde beschrijving van een empirisch geoptimaliseerd onderwijsleerproces met betrekking tot een vakinhoudelijk onderwerp. Dat zou je een didactische structuur voor dat onderwerp kunnen noemen, of, zo u wilt, een domeinspecifieke theorie. Doordat deze structuur ontstaan is uit de vormgeving en bestudering van feitelijk onderwijs, is hier geen sprake van een theorie-praktijkkloof. Hetgeen betekent dat deze opbrengst ook perspectief biedt voor de (na-)scholing van docenten.

Uitbreiding en verweving van lokale structuren dient te leiden tot een didactische structuur voor het gehele vakonderwijs.

En eenzelfde onderzoeksprocedure kan leiden tot de ontwikkeling van vakdidactiekonderwijs.

Dit perspectief is hier in zeer ruwe en onvolledige lijnen geschetst. Desalniettemin hoop ik dat uit de beschrijving naar voren komt dat het gaat om een beloftevol perspectief. Na een periode van naar-binnen-gericht zoeken naar een gezamenlijk kader, zouden we nu dit kader naar-buiten-gericht kunnen gaan uitwerken. Daarin zouden we ons in de naaste toekomst kunnen gaan vinden. Ik ben daar optimistisch over, al was het alleen maar omdat ik, naar mijn idee, in het bovenstaande niet veel meer gedaan heb dan 'de lijn Verdonk' verder uitwerken.

4. Het Einde?

In het voorgaande heb ik het ontstaan van het VF-programma 'Begripsontwikkeling en Curriculumonderzoek in de Natuurwetenschappen' beschreven. Ik heb vervolgens beschreven hoe dit programma zich ontwikkeld heeft en deze ontwikkeling doorgetrokken naar de toekomst. Ik ben van mening dat we hiermee een belangrijke taak verrichten voor het Nederlandse onderwijs in de natuurwetenschappen. Een taak die alleen vanuit een lange termijn perspectief, gericht op progressie, kan worden voltooid. Natuurlijk kan en moet het allemaal nog beter, en hebben we ook te kampen met mislukkingen. Maar toch, startend vanuit een β -didactisch onderzoeksvacuüm, is er een onderzoeksprogramma ontstaan dat er, ook internationaal, zijn mag. En dat voortzetting verdient, niet alleen om wetenschappelijke redenen, maar juist ook vanwege het maatschappelijk belang van zo goed mogelijk natuurwetenschappelijk onderwijs. Het is dan ook jammer en onbegrijpelijk dat, op het moment dat ik dit schrijf, de opvolging van Verdonk nog steeds twijfelachtig is. Dat vanwege kortzichtige facultaire machtspolitiek het nog steeds maar de vraag is of het werk dat met zo veel durf en inspanning is begonnen ook kan worden voortgezet. Dat zou niet alleen heel slecht zijn voor ons onderzoeksprogramma. Het zou ook desastreus voor de scheikunde-didactiek in ons land, en daarmee slecht voor de scheikunde zelf. Maar bovenal zou het buitengewoon onrechtvaardig zijn in het licht van wat Adri Verdonk als hoogleraar Chemie-Didactiek heeft gepresteerd.

Literatuur

Lijnse, P.L. (1995). 'Developmental research' as a way to an empirically based 'didactical structure' of science. *Science Education*, 79, 189-199.

Invited papers



Chemistry curriculum development based on the diagnosis of students' learning difficulties*

Ruth Ben-Zvi
and
Avi Hofstein
Department of Science Teaching
The Weizmann Institute of Science
Rehovot, Israel.

1. Introduction

The inadequacy of students' knowledge and the resulting learning difficulties have been a central theme of research in the last decade. The initial phases focused on the description of students' difficulties. Numerous studies in the area of concept learning show that students frequently hold ideas that are different from the accepted scientific views (McDermott, 1984; Driver, 1987; Duit et al., 1985). In some cases, these ideas are consistent and make sense from the students' point of view; in others, students have a confused, inconsistent way of thinking. So far, however, research findings in this area have had only limited influence and impact on the practice of science education in the classroom or (school) laboratory, let alone on the design of curricula and teaching programmes.

Why this should be the case is not difficult to understand. Here are some reasons:

1. Researchers themselves have frequently failed to make explicit the implications of their research findings for educational practice and for curriculum design.
2. Investigations into students' learning difficulties are often conducted under conditions that are remote from the reality of actual teaching. Although findings from such investigations are usually interesting in themselves, the artificiality of the setting in which they were obtained can represent a barrier to their practical application.
3. Educational practitioners, i.e. teachers, teacher educators, as well as curriculum developers tend to be reluctant to accept and act on the basis of research findings, either because they conflict with the personal beliefs and convictions held by the practitioners, or because the changes which they call for are difficult to implement in practice.
4. Teachers are frequently unaware of the fact that learning difficulties and misconception do exist among their students.

* This symposium paper is based on a study conducted in collaboration with Judith Silberstein & Bat Sheva Eylon. The authors are indebted for this help and cooperation.

2. Definition of Learning Difficulties

Learning difficulty may be said to exist in any situation where a student fails to grasp a concept or idea as the result of one or more of the following factors:

- i. the nature of the ideas/knowledge system already possessed by the student, or the inadequacy of such knowledge in relation to the concept to be acquired; (Hewson & Hewson, 1983). There is an expanding literature concerning the role of prior knowledge on learning. Much of it is based on the constructivist point of view (Driver, 1987).
- ii. the demand and complexity of a learning task in terms of information processing, compared with the student's information-handling capacity.
- iii. communication problems arising from language use, e.g., in relation to technical terms or to general terms with context-specific specialized meanings, or the complexity of sentence structure and syntax used by the teacher (compared with the student's own language).

In order to bring the work on learning difficulties to the stage that it will be useful in practice, several steps are necessary (Kempa, 1988; Eylon, 1988):

1. Identification of learning difficulties and how they are manifested in students' behavior.
2. Interpretation of the difficulties with focus on their source.
3. Treatments (remedies) which leads to avoidance, by pass or remediation of a certain difficulty.

It is suggested, that the implementation of one's knowledge concerning a learning difficulty in a curriculum context should proceed as described in the following scheme.

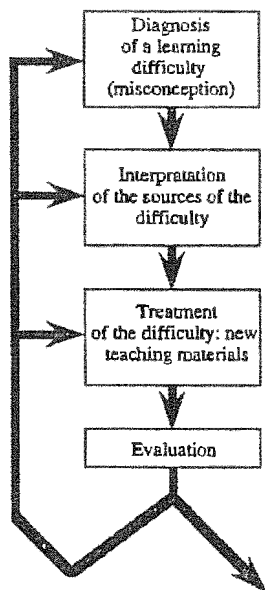


figure 1: Curricular interpretation of learning difficulties

In order to accomplish these steps there is a need to build a cooperation between the three predominant components of the framework of curriculum development and implementation namely researchers, curriculum developers and the science teacher in school.

This model was adapted in Israel and is used in the Amos de Shalit Israel Science Teaching Center. Examples pertaining to chemistry curriculum, will be presented.

3. Chemistry curriculum development in Israel: background

In Israel, the academic senior high school consists of three years age range 15-18. The educational system in Israel is centralized and thus the same chemistry syllabus is taught in all the academic high schools in the country. This also means that many teachers use the same curriculum materials, i.e., textbooks, teacher's guides, teaching aids, and various teaching and learning tools. These materials are developed by the "Chemistry group", a curriculum development team in the Department of Science Teaching, Weizmann Institute of Science.

4. Stages in the development of a Chemistry Curriculum in Israel

a. Diagnosis of a learning difficulty.

The following is a description of the model used to develop a chapter in the Chemistry curriculum: Chemistry - A Challenge (1984-1988) For the purpose of the diagnosis stage a sample of 337 students from eleven 10th grade classes was used. After studying chemistry for 8 months, the students were given a set of formula (e.g., O_2 , $O_2(g)$, N_2O_4 , NO_2 , etc.) and were asked to describe these by represented drawings of a model. . When student views about structure were analyzed, it was found that most of the students, who were at an advanced stage of the introductory course in chemistry, knew how to represent one molecule of an element. However, many of them had difficulties to represent correctly one molecule of a compound or an element in the gaseous or solid state. A third of our sample represented incorrectly the structure of a molecule of a compound. The most prevalent error was representation of the molecule N_2O_4 , for example, as two connected or disconnected fragments - one denoting N_2 and the other O_4 . About a third of the sample represented incorrectly an element in the gaseous state. For example, in the description of $O_3(g)$ most of the wrong answers represented the gas by one molecule or by three disconnected atoms. The performance dropped even more when students were asked to represent a compound in the gaseous state - about 70% of the students gave an incorrect representation.

b. Interpretation of the sources of the difficulty.

The examples presented in part a are a selection from a more comprehensive study that led us to assume the following as the main reasons for students' misconceptions regarding structure:

1. An incorrect understanding of the atomic model: If students feel that the atom is a small piece of an element, then an additive view of the structure of a compound (i.e. one small piece of one element being near a small piece of another element) is a natural outcome.

2. Misleading use of models: In textbooks, the use of models is usually confined to single units. For example, the representation of a chemical reaction, such as synthesis of HCl, is presented by one molecule of hydrogen, one molecule of chlorine and two molecules of hydrogen chloride.
3. Misunderstanding of chemical equations: The chemical equation is read by students as representing single units and not many of units.
4. Information overload: As was mentioned before, our results showed that when students had to represent a compound in the gaseous state their performance dropped noticeably. In order to perform correctly, students had to control two variables simultaneously, each of which caused difficulties on its own, one - the transition from an element to a compound and the other - the transition from one molecule to many molecules. The demands of the task apparently overloaded students' working memory and they regressed to simpler, incorrect models by neglecting one aspect or another (Eylon, B. et al., 1987).

c. Treatment of difficulty: development of new teaching materials.

An incorrect understanding of the atomic model

An analysis of students' answers concerning the atomic model led us to assume that the intuitive models that students have (i.e. that an atom is a piece of substance carrying all the properties of this substance) places them in the Greek period. Because we felt that many of the other difficulties are caused by this view, the objective of the developers of the new program was to show students how and why the atomic model was changed. The atom is therefore presented as an ever developing model, the characteristics of which change in accordance with new facts that have to be explained. An example will serve to illustrate this approach. After an introduction to scientific theories and models, a brief historical review is presented leading to a model of the atom that was devised in the beginning of the 19th century in order to explain some quantitative aspects of chemistry known at that time. This model, the Daltonian Atom, could explain the laws of constant composition and multiple proportions but could not be applied to explain other properties of matter such as electrical conductivity. Dalton's ideas had, therefore, to be changed to include additional features. This interplay of facts → model → new facts → new model (see fig. 2) is carried on during some months of study and with a summary of the stages of the development of the atomic model up to date.

Misleading use of models and misunderstanding of chemical equations.

In the new textbook, much stress is put on presenting many particles whenever possible (using models of solids, liquids and gases). Whenever the representation of many particles tends to obscure the point under discussion, the student is specifically told that for reasons of clarity only one set of particles was presented. Almost each chapter is followed by a unit called "the chemists' language", where the meaning of symbols and equations is taught, and here again the need to think simultaneously of many particles is stressed.

Information overload

It is our belief that if students will get used to thinking of many units and also of the structure of each unit, then they have less problems concerning a true

understanding of aspects of structure. This treatment, it is suggested, will help reducing the overload on students short term memory.

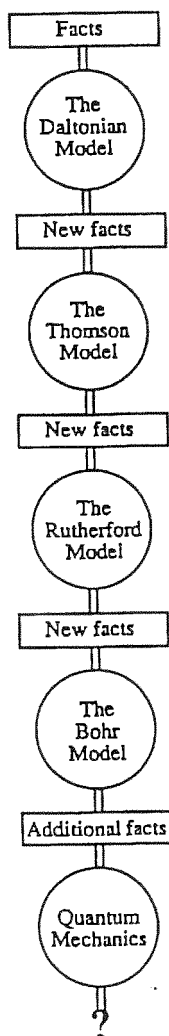


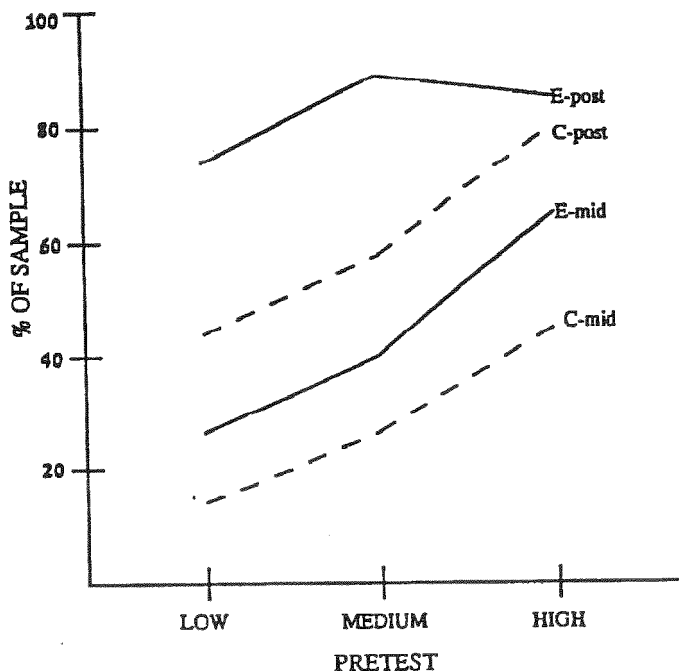
figure 2: Development of the atomic model

5. Evaluation

An intensive evaluation project aimed at finding about the productivity of the remedy was conducted.

The sample consisted of 1078 students from 35 classes. Half of this population studied a currently used book (a control group) and the rest studied the new courses "Chemistry- a Challenge" (1984) (experimental group). The students

were given three sets of questionnaires, each consisting both of achievement tests and of diagnostic questions to which they had to respond by drawings models. One set was given prior to the beginning of their study and tested students understanding and knowledge of their prior studies. The second set was submitted in the middle of the year and the third served as a post-test.



Legenda: C-control; E-experimental; mid-midtest; post-posttest

figure 3: Students achievements in the concept of structure

Figure 3 summarizes the results of the evaluation concerning the aspect of structure. As can be seen, by the end of the year, the high achievers succeeded in the tasks no matter which learning method was used. The new programme, however, had a pronounced effect on the mid and low achievers, i.e. those who seemed to have developed misconceptions unless specifically treated.

6. Concluding Remark

The results of the four stage study concerning students understanding of aspects of structure show that if those responsible for the teaching process, i.e. curriculum developers and teachers are conscious of problems faced by the students, quite a lot can be done in order to prevent them from developing misconceptions.

References

- Ben-Zvi, R. and J. Silberstein (1984). *Chemistry a Challenge*. Rehovot: Department of Science Teaching, The Weizmann Institute of Science.
- Driver, R. (1987). Theory Into Practice II, A constructivist approach to curriculum development. In: Fensham P. (Ed.) *Development and Dilemmas in Science Education*. London: Falcon Press.
- Duit, R., W. Jung & C. von Rhoneck (1985). Aspects of understanding electricity. Proceedings of an International Workshop, I.P.N., Kiel.
- Eylon, B., R. Ben-Zvi and J. Silberstein (1987). Hierarchical task analysis - an approach for diagnosing students conceptual difficulties. *International Journal of Science Education*, 9, 187-196.
- Hewson, W.H. and M.G. Hewson (1984). The role of conceptual conflict in conceptual change and the design of science instruction. *Instructional Science*, 13, 1-13.
- Kempa, R.F. (1988). Students learning difficulties in science introduction and overview in Kempa R.F., Ben-Zvi, R., Hofstein, A. and Cohen, I. (eds.) *Learning difficulties in Chemistry*. Proceedings of a Bi-National U.K.- Israel Seminar, The Weizmann Institute of Science, Rehovot.
- McDermott, L.C. (1984). Research on conceptual understanding in mechanics. *Physics Today*, 37, 24-32.

Exploring more effective teaching in Chemistry Classrooms

Robert B. Bucat
Department of Chemistry
The University of Western Australia
Nedlands, Western Australia
Australia

and
Peter J. Fensham
Faculty of Education
Monash University
Clayton, Victoria
Australia

The last decade has seen a burgeoning of new approaches to the teaching of chemistry. Unlike the novel ideas that committed teachers develop from time to time, the new pedagogies to which we refer in this paper are closely related to certain types of research studies in science education. The fruitfulness of these studies for better quality learning contrasts with the unrewarding (in this sense) studies that formed the dominant research paradigm in the 1960-70s.

The shift of one group of researchers at Monash University in Australia from the experimental and survey studies of this earlier paradigm to more clinical interview studies in the 1980s has been described by Gunstone, White and Fensham (1988). This shift was not only in methodology. It also involved a change of focus from teachers and teaching to learners and learning. Some new tools or tasks began to be used in individual interviews to probe young learners' ideas and conceptions of scientific phenomena and the concepts that are used to describe and explain them in the sciences. Among these were word association (Gunstone, 1980), concept mapping (Fensham, Garrard and West, 1982), interviews about instances and interviews about events (Osborne, 1980, Fensham, 1984, and Nusirjan & Fensham, 1987), and Venn diagrams (Gunstone and White, 1986).

In these studies the researchers were listening to students, and probing the way that these scientific ideas were expressed by them. Quite commonly their expressions were so unexpected that the term "Ha-Ha" (for amusement of the researcher) was an appropriate descriptor. On other occasions, in response to the tasks themselves or to the probing of the interviewer, the student would suddenly say, "So that's what that connects to" or "I've never thought about it in that way before". These were "Ah-Ha" moments for the students – a sudden dawning of understanding.

If the latter experience of learning could occur with the use of these tasks with individuals in research, it was natural to ask whether they could have the same effect in teaching. A number of studies were then undertaken in which these tools began to be used in the course of regular classroom teaching. There were clear signs that they were helpful to many students (Lee and Fensham, 1987), as were more meta-cognitive strategies like keeping a learning diary in which what

had been learnt in the lesson, its connection to what had occurred in earlier lessons, etc. were recorded (Baird, 1986). Despite this positive evidence from the students, it was also clear that these pedagogies remained the property of the researcher, and were tolerated rather than appropriated by the teachers in whose classes they were used.

Compared with the large scale studies in the 1970s, the researcher was now much more intimately involved with only one or a few teachers and some of their students. Even so, the research and its tools and timetable were still the researcher's and not the teachers' or students'.

This rather fundamental problem began to be overcome in the Project to Enhance Effective Learning (PEEL). This was started in a rather ordinary secondary school in a Melbourne suburb in 1985. Ten of its teachers declared an interest in improving the quality of the learning of their students. They agreed to commit themselves for two years to this goal by sharing with each other the ideas and experiences they had as they tried to achieve better learning. In support of their commitment, a small group of Monash researchers agreed to attend the teachers' weekly sharing sessions, to react to the teachers' ideas, and to assist to make them practicable by preparing work sheets, questionnaires, etc. In a very real sense the traditional roles were reversed. The pedagogical ideas, and the decisions to implement them when they were ready, were the teachers'. The researchers were supportive of, but not the initiators of, the agenda. Those involved in PEEL called it "collaborative action research", because it involved collaboration between the teachers and the researchers and between the teachers and their students.

Quite amazing results followed. From a starting point of a few pedagogies for effective learning like those listed above, a steady flow of the teachers' pedagogical ideas began to be explored and refined through the shared practice of these teachers. In the second year of PEEL, a book about the project (Baird and Mitchell, 1986) was produced with ten chapters written by the teachers, one by a student, and two by Monash researchers. After the two years, more teachers asked to join the group. A couple of the teachers moved to other schools and set about starting PEEL-type groups there. So the "Seeds of PEEL" emerged – a network of groups of teachers and researchers that now directly extends beyond Australia to Malaysia, Sweden, and Denmark, and less directly to groups of teachers and academic researchers working in similar collaborative ways in England, Canada and New Zealand.

By 1990 more than 50 new pedagogies had been invented and tried. These are reported by Mitchell and Mitchell (1992). In 1988 the Faculty of Education was offered a contract to teach a Chemistry Bridging Course in one semester that would enable students entering Engineering, who had not studied chemistry at school, to cope with Chemistry for Engineers. More than ten of these new pedagogies were used in each of the theory and practical classes of this rather daring experiment. So successful was the learning of these students compared with the learning of those with two years of chemistry at school, that this alternative entry to Engineering has continued to be available (Fensham, 1993).

In the remainder of this paper we give four examples of these new pedagogies as they can be applied in the teaching of chemistry. Two are drawn from the group of tasks that began life as tools for the clinical research studies that made the learner and learning their foci. These have been described in research contexts in the book by White and Gunstone (1991). The other two examples are from the much larger group that have been generated in collaborative action research studies like those of PEEL and Seeds of PEEL. For each of these

pedagogies there is a brief description, a statement of its educational value and range of use, and one or more examples applied to chemistry.

Examples Of Thinking Tasks

1. Venn Diagrams

Venn diagrams are away of clarifying the distinctions between related concepts. They are particularly useful for distinguishing between, and understanding the relationships amongst, various categories of classification (such as aromatic, aliphatic, saturated, unsaturated, alkanes and alkenes, from the field of organic chemistry).

Students can be asked to write a definition of classificatory concepts as tests of understanding, but Venn diagrams can often diagnose inadequacies of understanding that are not exposed in this way. They can, furthermore, be used to sharpen one's understanding of classifications, and are particularly good at highlighting "grey" areas between categories of classification. Some practice with simple Venn diagrams is usually necessary.

This strategy requires students to draw diagrams that portray the inclusiveness or exclusiveness of members of related classifications. For example, students who produced Figure 1 concerning various classifications of intermolecular force, would be demonstrating their understanding that substances with hydrogen bonding between their molecules are a subset of those that have dipole-dipole interactions - and that these are a subset of those (all molecular substances) that have dispersion forces acting between molecules. This task can be expected to identify those students with the common belief that molecular substances have either dipole-dipole forces or dispersion forces (but not both).

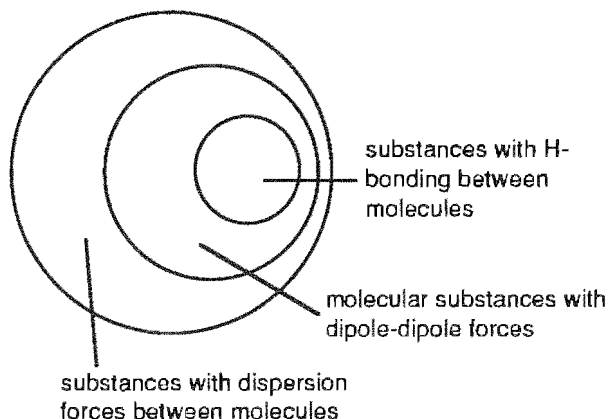


Figure 1: A Venn diagram concerning classes of intermolecular forces.

Figure 2 portrays one way that students might represent the relationship between classifications commonly used in reference to oxides. Students who drew a diagram like this would be demonstrating understanding beyond the school level generalisation that "non-metal oxides are acidic and metal oxides are basic".

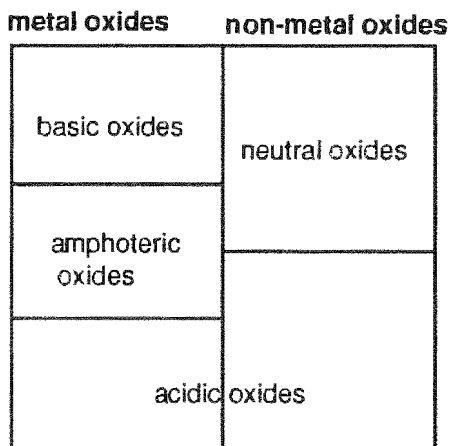


figure 2: Relationship between classes of oxides, shown in a Venn diagram.

A further use of Venn Diagrams is to provide students with a list of members of the concept to which the classifications apply, and ask them to put each member in its appropriate place in the diagram. For example, one might ask students to allocate each of CH_4 , CHCl_3 , CH_3Cl , CH_2Cl_2 and CH_3OH into the appropriate area of Figure 1. And the Venn diagram in Figure 2 could be "populated" with each of SO_2 , Al_2O_3 , CrO_3 , CO and CaO . Class discussion of the strengths and weaknesses of the Venn diagrams produced by various students, or of the issues that confronted students in the completion of their tasks, can be valuable.

2. Concept maps

Concept maps are diagrams, the construction of which can assist students to understand the degree of "interconnectedness" between the concepts that are relevant to a given topic. The task of constructing a concept map also helps students to clarify their understanding of the nature of the relationship between any two closely related concepts.

By way of illustration of this strategy, students might be asked to draw a concept map involving the concepts of *amount of substance*, *mole*, *relative atomic mass*, *relative molecular mass*, *molar mass* and *Avogadro's number*. The procedure typically consists of the following steps:

- Write the name of each concept on a small card.
- Arrange the cards on a sheet of paper (often with several re-drafts) until they form what appears to be a sensible organisation of the concepts. Stick the cards down.
- Draw lines between pairs of concepts that are directly related.
- On each line, write a summary statement of the nature of the relationship between pairs of concepts. The relationship may be either qualitative or quantitative.

The end result of this procedure might be that shown in Figure 3, although usually each student will produce a unique map - in the arrangement of concepts in relation to each other, the selection of pairs of concepts which they perceive

to be directly related, and in the descriptions of the relationships between concepts.

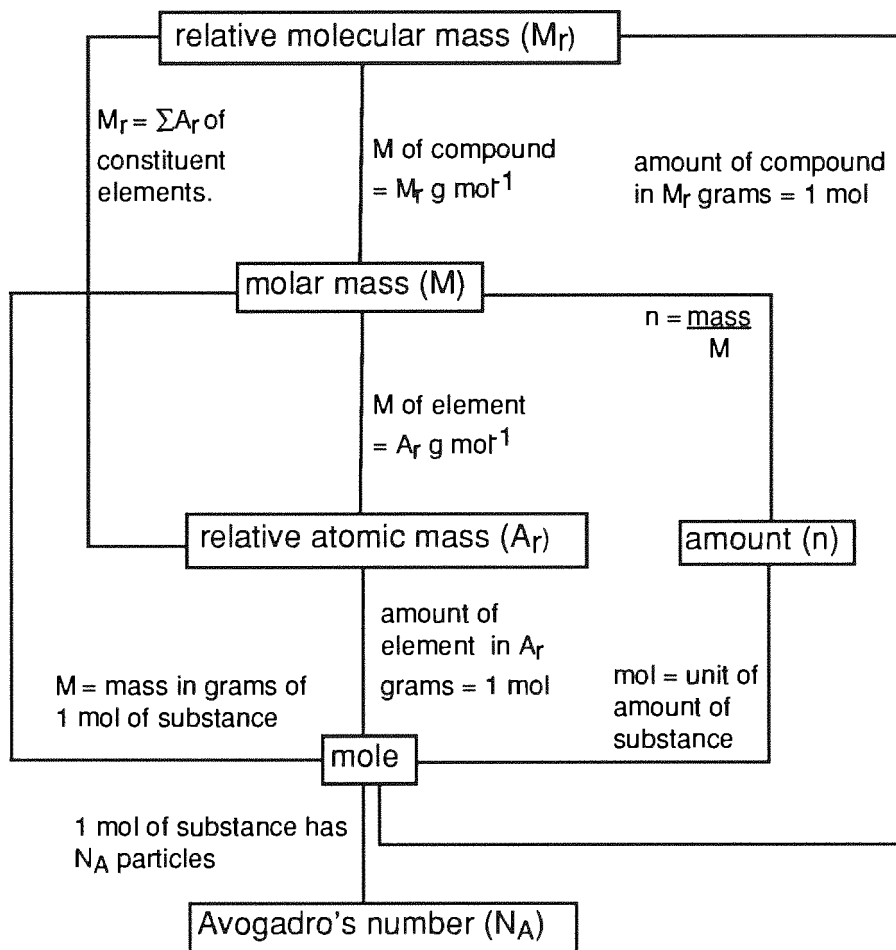


figure 3: A concept map.

This strategy has the potential to enhance students' understandings of the structure of a topic, perhaps bringing together what were previously isolated, unconnected bits of knowledge. For the same reason, a concept map can serve as a useful summary of the topic. In particular, concept mapping can be a useful device for making links between concepts that have been presented in different parts of the course (perhaps months apart) and in different chapters of the textbook. It can also be used to create links between "school science" and phenomena or concepts from everyday life.

Teachers can use concept mapping for the following purposes:

- To provide an "advance organiser" of a topic, giving an overview of the field, its structure and relationships, before the topic is presented.
- To provide a summary of the topic.
- As a diagnostic tool to check students' recognition of which concepts are closely related, as well as their clarity of understanding of the relationships. If the concept labels are not pre-defined for the students, then a concept map will indicate which concepts each student perceives to be relevant.

3. Scrambled lab work instructions

Every chemistry teacher knows that students often perform a practical work activity on a step-by-step basis, or even on a clause-by-clause basis. Hence, to the question "What are you doing now?", the response may be "This bit (of the instructions) here" or "Adding 10 mL of the blue stuff" or "Putting the evaporating basin on the steam bath". The teacher, of course, would prefer to hear responses such as "I'm making the solution basic to precipitate magnesium sulfide" or "I've filtered off my product and now I'm recrystallising it, but I haven't yet found a suitable solvent".

A strategy to enhance students' overview of a laboratory activity is to provide the instructions with the steps not ordered in the correct sequence. In that case, students need to resequence the steps before doing the practical activity, and to do that they need to understand the purpose (as well as the mechanics) of each step.

Two examples of such scrambled instructions are given below. In each case it seems sensible to give the students a very broad overview of the purpose of the activity and the chemistry on which it is based to assist them with the task of sequencing the steps appropriately. If the steps in each set of scrambled instructions were labelled A, B, C... consecutively, appropriate sequences of steps are CFAGDHEB and BFHDIECGA respectively.

Calculation of the percentage of sand in a mixture of sand and salt.

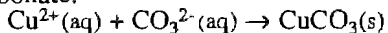
A mixture of salt and sand can be separated by utilising the difference between their solubilities in water. If the salt and sand can be separated quantitatively, it should be possible to determine the relative quantities (in percent by mass) in a mixture of the two substances.

Procedure (scrambled):

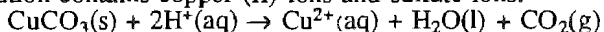
- Filter the mixture, using two approximately 5 mL portions of deionised water to ensure that all of the solid is transferred to the funnel.
- Calculate the percentage by mass of sand in the sample mixture.
- Weigh a 5 g sample of the mixture. Add about 20 mL of deionised water and stir well.
- Weigh a dry watch glass.
- Weigh the watch glass and its contents, and determine the mass of the residue.
- Weigh a filter paper.
- Wash the solid material in the filter paper with two approximately 5 mL portions of deionised water.
- *Carefully* transfer the filter paper and its contents to the watch glass, and allow to dry.

The preparation of copper (II) sulfate from copper (II) nitrate via the formation of copper (II) carbonate.

To make copper (II) sulfate from copper (II) nitrate solution, we can firstly add sodium carbonate solution to precipitate copper (II) carbonate.



If the precipitate is filtered off and acidified with sulfuric acid solution, the carbonate ions are removed as CO_2 , and the remaining solution contains copper (II) ions and sulfate ions.



Evaporation will yield copper (II) sulfate.

Procedure (scrambled):

- Dry the crystals on a filter paper and store them in a labelled sample bottle.
- Calculate the masses of 0.05 mol of $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ and 0.05 mol of Na_2CO_3 .
- Transfer both the filter paper and the precipitate into a 100 mL beaker. Add dropwise the calculated volume of 6 M sulfuric acid with stirring and heat gently to dissolve the precipitate.
- Add dropwise the sodium carbonate solution to the copper nitrate solution, stirring constantly during the addition.
- Calculate the volume of 6 M sulfuric acid you would need to react with 0.05 mol of copper carbonate.
- Weigh 0.05 mol of copper nitrate and 0.05 mol of sodium carbonate.
- When the precipitate has dissolved, transfer the solution to an evaporating basin, and heat gently on a steam bath until the volume has been reduced to about 10 mL. Allow the solution to cool and set it aside so that crystals may develop.
- Dissolve 0.05 mol of copper nitrate in 50 mL of water in a 250 mL beaker. In another 250 mL beaker dissolve 0.05 mol (plus an excess of about 10%) of sodium carbonate in 50 mL of water.
- Filter the precipitate and wash it with about 50 mL of deionised water.

4. Reversing the Task

Sometimes the numerical problems we use are so stereotypical that students can function by identifying the category of problem and then applying the appropriate algorithm. In these cases, students' understandings may be neither meaningful nor transferable. The strategy described here presents tasks based on the same chemistry as the stereotypical exercises, but from a different perspective. It is designed to encourage reflection on the chemistry as well as the mathematical relationships.

In one version, some of the data of a familiar problem are omitted, but the answer is given. Students are required to deduce the appropriate data. For example, suppose students are familiar with exercises of the following type:

The solubility product of iron(II) hydroxide in aqueous solution at 25°C is 7.9×10^{-15} . What is the solubility of iron(II) hydroxide at pH 12?

The following question represents reversal of the task:

The solubility product of magnesium hydroxide in aqueous solution at 25°C is 1.1×10^{-11} . The solubility of magnesium hydroxide in a particular solution is $1.1 \times 10^{-7} \text{ mol L}^{-1}$. What is the pH of this solution?

Or, instead of questions of the type:

What is the pH of a buffer solution in which $[\text{HCO}_3^-] = 0.10 \text{ molL}^{-1}$ and $[\text{CO}_3^{2-}] = 0.20 \text{ molL}^{-1}$?

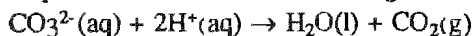
one can ask:

A buffer solution that contains 0.25 molL^{-1} of a weak acid and 0.10 molL^{-1} of its conjugate base has $\text{pH} = 4.36$. What is the weak acid?

An extreme case of reversing the task, to which each student might respond quite differently, is represented by the following example:

Write a question for which the answer is "The solution pH is 5.10".

Another version of this strategy is to provide a worked solution to a problem, and ask the students to write the problem. For example, students might be asked to express a question for which the following solution is appropriate:



$$n(\text{CO}_3^{2-}) = \frac{0.212}{106} \text{ mol}$$

$$n(\text{H}^+) = 2 * \frac{0.212}{106} = 0.0328 * c$$

$$\begin{aligned} \therefore \text{Concentration of HCl solution, } c &= 2 * \frac{0.212}{106} * \frac{1}{0.0328} \\ &= 0.122 \text{ molL}^{-1} \end{aligned}$$

[The "answer" (ie the question) is: If 0.212 g of anhydrous sodium carbonate needs 32.80 mL of a hydrochloric acid solution to neutralise it, what is the concentration of the hydrochloric acid solution?]

References

- Baird, J.R. (1986). Improving learning through enhanced metacognition. *European Journal of Science Education*, 8, 263-282.
- Baird, J.R. and I.J. Mitchell (Eds.) (1986). *Improving the quality of teaching and learning: An Australian case study – The PEEL project*. Melbourne, Monash University Printery.
- Fensham, P.J., J. Garrard and L.H.T. West (1982). A comparative critique of several methods of collecting data for cognitive mapping. *Research in Science Education*, 12, 9-16.
- Fensham, P.J. (1984). Conceptions, misconceptions and alternative frameworks in chemical education. *Chemical Society Reviews*, 13(2), 199-217.
- Fensham, P.J. (1993). Research into practice : a tribute to CHEM13 News. *CHEM13 News*, No. 225, 1-3.
- Gunstone, R.F. (1980). Word association and the description of cognitive structure. *Research in Science Education*, 10, 45-53.
- Gunstone, R.F. and R.T. White (1986). Assessing understanding by means of Venn diagrams. *Science Education*, 70, 151-158.

- Gunstone, R.F., R.T. White and P.J. Fensham (1988). Developments of style and purpose in research on the learning of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 25(7), 513-530.
- Lee, Kam Wah, and P.J. Fensham (1987). Teacher/student participation in a chemical education research project. *Lab Talk*, 31(1), 32-33.
- Mitchell, I.J. and J. Mitchell (1992). Some classroom procedures. In Baird, J.R. and Northfield, J.R. (Eds.) *Learning from the PEEL experience*, Ch.10, 210-268. Melbourne, Monash University Printing Service.
- Nusirjan and P.J. Fensham (1987). Descriptions and frameworks of solutions and reactions in solutions. *Research in Science Education*, 17, 139-148.
- Osborne, R.J. (1980). Some aspects of the students' view of the world. *Research in Science Education*, 10, 11-18.
- White, R.T. and R.F. Gunstone (1991). *Probing understanding*. London, Falmer Press.

Chemieunterricht: Lernen von Gesetzen und Tatsachen oder Erkennen und Verstehen von Prozessen?

Altfrid Gramm
Fachbereich Chemie
Universität-GH-Essen

1. Die Bedeutung des "geschichtlichen Elements".

Im Jahres-Bericht des Großherzoglichen Gymnasiums und der Großherzoglichen Realschule zu Worms über das Schuljahr 1892/93 setzt sich Ludwig Knöpfel (1893) mit der Frage auseinander, ob für den Chemieunterricht in der Schule die dogmatische Behandlung der Naturwissenschaften - wie sie zu seiner Zeit auf den Universitäten gepflegt wurde - auch für das schulische Lernen geeignet sei. Unter Verweis auf Kehr (1877) macht er darauf aufmerksam, daß für die Schule der "allerdings schwierigere(n), aber für die Ausbildung des Geistes auch allein richtige(n) entwickelnde(n) Methode" der Vorzug zu geben ist. Diese Ansicht sieht Knöpfel durch Diesterweg (1850) bestätigt: "Der wissenschaftliche Unterricht, wie wir ihn z.B. auf den Universitäten antreffen, beginnt in der Regel mit den allgemeinsten Sätzen, mit Axiomen, Definitionen, allgemeinen Einteilungen, Prinzipien, aus denen das Besondere und Einzelne abgeleitet wird. Wie die Wissenschaft hier aufgestellt wird, also ist sie nicht entstanden. Denn der menschliche Geist kennt und entdeckt erst das Einzelne, Besondere, woraus er später das Allgemeine entwickelt. Dieser Anfang vom Einzelnen, Speziellen und Individuellen und der Fortschritt zum Allgemeinen ist also der naturgemäße Gang der Entwicklung. Darum schlägt jeder bildende Unterricht diese elementare Methode ein, welche der wissenschaftlichen gerade entgegengesetzt ist. Der wissenschaftliche Lehrer trägt vor, doziert, gibt. Er macht die Wissenschaft, die er vorträgt, oder sich selbst, da er der Darstellende ist, zum Mittelpunkt der Bewegung oder vielmehr des Stillstandes, - Umgekehrt verfährt der Elementarlehrer, auch in der Wissenschaft. Er faßt den Schüler auf dem Standpunkt, auf dem derselbe steht, setzt ihn durch Fragen, die an seine Erkenntnis anknüpfen, in Bewegung, weckt dadurch seine Selbstthätigkeit und leitet ihn durch fortwährende Erregung zur Auffindung und Erzeugung neuer Gedanken und Erkenntnisse an. Also macht die Elementarmethode den Schüler oder vielmehr die ganze Schülerklasse zum Mittelpunkt der Bewegung. Der Lehrer betrachtet sich als Mittel, durch das die Erregung und Leitung geschehen soll. Er macht sich zum dienenden Werkzeug der Thätigkeit. - Natürlich gelangt man auf diesem Wege höchstens zuletzt zu allgemeinen Sätzen und Prinzipien, Dieser Gang ist der naturgemäße, der bildende, Demgemäß sollte nicht bloß in der Elementarschule, sondern in allen Schulen, selbst auf den Hochschulen verfahren werden. Die Einsichten sind, die Wissenschaften sind dem Lernenden nicht zu geben, sondern er ist zu veranlassen, daß er sie finde, sich selbstthätig ihrer bemächtigt. Diese Lehrmethode ist die beste, die schwierigste, die seltenste. Das Schwere erklärt das Seltene ihrer Erscheinung. Das Vorsagen, Ablesen und Diktieren ist dagegen Kinderspiel; aber es taugt nirgends. Es ist eine Schande, daß es in unserer Zeit noch vorkommt. Auch an den Lehrer der höheren und höchsten Schule sollte man die unbedingte Forderung stellen, daß

er sich der elementarischen Methode bediene. Es ist falsch zu glauben, sie eigne sich nur für die Elemente des Wissens. Sie gehört überall hin, wo ein Wissen erst erzeugt werden soll, d.h. für jeden Lernenden. Möchte das geisttötende, heillose Unwesen des Vortragens einer von den Zuhörern noch nicht ergriffenen, noch im Einzelnen nicht erkannten Wissenschaft endlich aus den Hörsälen verschwinden, wie das blindmechanische Lernen immer mehr aus den Schulstuben verschwindet. Nicht das Vollendete, Fertige gehört für den Lernenden, sondern das Einzelne, das Werden. Der wahre Lehrer zeigt seinem Schüler nicht das fertige Gebäude, an dem Jahrtausende gearbeitet haben, sondern er leitet ihn zur Bearbeitung der Bausteine an, führt mit ihm das Gebäude auf, lehrt ihn das Bauen."¹

Knöpfel stellt bedauernd fest, daß die entwickelnde Methode auf den Universitäten und in den wissenschaftlichen Lehrbüchern noch nicht anzutreffen ist. Der Grund dafür liegt nach seiner Meinung darin, daß die Lehrer auf den Universitäten nur mangelhaft für das Unterrichten ausgebildet werden. Dagegen läßt sich konstatieren, "daß man in der Schulliteratur die entwickelnde Methode nicht bloß fast allgemein als die richtige Lehrmethode anerkannt hat, sondern ihr auch in der Praxis gerecht zu werden sucht."

Von daher wird das Interesse von Lehrern für die Geschichte der Naturwissenschaften erklärlich, dem eine ganze Reihe von Arbeiten zur Naturwissenschaftsgeschichte entspricht. Knöpfel konstatiert, daß für die Methode des naturwissenschaftlichen Unterrichts ein neuer Anfang gesetzt ist. Lehrer der Naturwissenschaften müssen die historische Entwicklung der Naturwissenschaften kennen und in ihren Unterricht einbauen. Die Behandlung der Unterrichtsstoffe erfolgt durch die logisch-psychologische Methode, die durch das Einbringen der historischen Entwicklung vertieft wird. Knöpfel fordert, das entwickelnde Unterrichtsverfahren, das der Sache und dem Lernenden gerecht wird, zum Entstehen, Werden und Aufbauen der Wissenschaften - wie es sich im Verlauf der Geschichte zugetragen hat - in Beziehung zu setzen. "Kein Lehrer der Naturwissenschaften darf die historische Seite der Naturwissenschaften unberücksichtigt lassen." Knöpfel verweist in diesem Zusammenhang auf eine Reihe von Autoren, z.B. auf Mach und Ostwald, die auf die Bedeutung des geschichtlichen Aspekts aufmerksam machen. Ostwald², der die Reihe "Klassiker der exakten Naturwissenschaften" herausgegeben hat, "beklagt das Fehlen des historischen Sinns und bezeichnet die von ihm herausgegebenen Schriften für eine unerschöpfliche Fundgrube von Anregungen und fördernden Gedanken. Sie sollen das Eindringen in die Wissenschaft beleben und vertiefen."

Trotz der Anerkennung der Bedeutung der geschichtlichen Entwicklung für das Lernen wird diese an den Schulen des niederen und höheren Schulwesens ignoriert. Den Grund dafür sieht Knöpfel im folgenden: Die Vertreter der chemischen Wissenschaften - und damit auch die Chemielehrer - sind hoch spezialisiert. Aufgrund ihrer Einzelforschungen haben sie den Blick fürs Ganze verloren, und es fehlt der philosophische Sinn, durch den eine "pragmatische Betrachtung" des chemischen Wissens ermöglicht wird. So kann die Chemie im Unterricht nicht so dargestellt werden, daß dabei das Wesen der chemischen

1. zitiert in: Knöpfel, L. (1893)

2. Ostwald gab von 1889 an die Reihe Klassiker der exakten Wissenschaften im Verlag W. Engelmann heraus.

Bis zum Jahr 1907 waren 159 Bände erschienen, die grundlegende Abhandlungen aus den Gebieten der Mathematik, Astronomie, Physik, Chemie, Kristallographie, Botanik und Physiologie enthielten.

Erscheinungen logisch und geschichtlich entwickelt wird. Der geschichtliche Aspekt wird dadurch verwirklicht, daß man bei passender Gelegenheit die Namen der Entdecker und Erfinder angibt oder einige chronologische Notizen oder anekdotenhaftes Beiwerk erzählt. Ein solches Vorgehen aber, so meint Knöpfel, macht die Unterrichtsinhalte nicht einmal "schmackhafter", geschweige denn "verdaulicher". Insgesamt arbeitet Knöpfel zwei Aspekte zur Beurteilung der Bedeutung des geschichtlichen Elements im chemischen Unterricht heraus:

- Die Inhalte des chemischen Unterrichts werden durch Angaben zur Geschichte ergänzt. Diese Art der Verwendung lehnt Knöpfel ab, da so nur zusätzlicher Lernstoff vermittelt wird, der keinerlei Hilfen zum Verständnis über chemische Prozesse bietet.
- Für die entwickelnde Methode, bei der die Chemie als werdende gedankliche, sich ausdifferenzierende Theorie gezeigt wird, vermag die Betrachtung der Geschichte Hilfen zu geben, da die geschichtliche Entwicklung als Vorbild hierfür dienen kann. Während die dogmatische Methode ein Auswendiglernen der Unterrichtsinhalte forderte, die logische Methode die Geschlossenheit und Stimmigkeit des wissenschaftlichen Systems darstellte, die psychologische Methode den Lernenden in seinem Erkenntnisvermögen berücksichtigte, ist die entwickelnde Methode unter Einbezug der geschichtlichen Entwicklung der Wissenschaft logisch-psychologisch. Das bedeutet nach Knöpfel, daß der darzubietende Unterrichtsstoff nicht nur logisch stimmig, sondern mit Rücksicht auf das lernende Subjekt auch psychologisch sinnvoll entwickelt werden muß. So können chemische Inhalte auf eine natürliche, dem menschlichen Geist entsprechende Weise entwickelnd vermittelt werden und zu einem verstehenden Lernen führen.

2. Die Bedeutung des heuristischen Verfahrens.

Diese Vorstellungen Knöpfels kommen nahe an die Idee von Friedrich Dannemann (1907) heran. Sein heuristisches Unterrichtsverfahren ist ein Suchen nach Problemlösungen, wie es in der sokratischen Methode vorgezeichnet ist. Dannemann kennzeichnet das heuristische Verfahren als ein dialogisches. Zunächst setzt der Lehrer sich und seinen Schülern für jeden Unterrichtsabschnitt ein bestimmtes, leicht faßliches, möglichst dem Vorangegangenen entspringendes Ziel. Dieses Ziel soll in einem belehrenden Zwiegespräch erreicht werden. Als Hilfsmittel dienen dabei entweder die unmittelbare Anschauung, oder - wenn diese fehlt - geeignete Veranschaulichungsmittel. Gemeinsames Überlegen von Lehrer und Schüler führt zu dem gewünschten Unterrichtsergebnis. Dieses heuristische Verfahren muß für den Unterricht in den Naturwissenschaften durch einen zweiten Aspekt ergänzt werden. Naturwissenschaften bauen vorwiegend auf Beobachtungen und Versuchen auf. Folglich muß der Lernende selbsttätig durch Beobachtungen an Stoffen und durch Versuche über das Verhalten von Stoffen zu Lernergebnissen kommen. Damit entsteht das "praktisch-heuristische Unterrichtsverfahren" für die Naturwissenschaften. Dannemann widmet der Bedeutung der Geschichte der Naturwissenschaften für den so konzipierten Unterricht ein ausführliches Kapitel. In Anlehnung an die Vorstellung, die der Biologe Fritz Müller 1884 formuliert hat, daß "die Entwicklung des Einzelwesens eine kurze Wiederholung der Stammesgeschichte

darstellt"³, soll auch der Erkenntnis- und Lernprozeß des Einzelnen einen ähnlichen Verlauf nehmen, wie er in der Entstehung der Wissenschaft vorgezeichnet ist. Mit dieser Vorstellung erhält die Naturwissenschaftsgeschichte eine wichtige, ja entscheidende Funktion für die Auswahl und Aufeinanderfolge von Unterrichtsinhalten. Das praktisch-heuristische Unterrichtsverfahren muß auch die geschichtliche Entwicklung berücksichtigen und wird von Dannemann als genetische Lehrweise bezeichnet. Zur Begründung dieser Lehrweise beruft sich Dannemann auf den Pädagogen Otto Willmann (1882/1889). Dieser vertritt die Meinung, daß das "biogenetische Grundgesetz" zur Grundlegung einer Unterrichtsmethode benutzt werden muß. Dann aber ist ein genetisches Lehrverfahren das beste denkbare, indem es sich bei der Übertragung von geistigen Inhalten an die großen Phasen halten muß, die bei der Erzeugung dieser Inhalte durchlaufen wurden. Das genetische Verfahren wird in seiner Wirksamkeit unterstützt, wenn man den Lernenden unmittelbar an die Literaturquellen führt und ihn mit leicht verständlichen Abschnitten aus den epochemachenden Schriften der großen Bahnbrecher bekannt macht. Allerdings warnt Dannemann auch vor einer Übertreibung dieses genetischen Prinzips: Zum einen müssen nicht alle Irrwege in der Entwicklung der Wissenschaften gegangen werden, sondern nur solche, die für das Entstehen der Vorstellungen bedeutungsvoll sind. Zum andern soll man im Unterricht von Versuchen, Apparaten und Lehren absehen, die vielleicht für einen Wissenschaftshistoriker bedeutsam sind. Denn sie können den Lernenden vom gewünschten Ziel wegführen.

Wir finden also bei Dannemann einen zusätzlichen Aspekt, der bei Knöpfel nur anklingt: Die Geschichte der Naturwissenschaften bietet Kriterien für den Aufbau einer Inhaltssequenz für den Unterricht, die ein verstehendes Lernen ermöglicht.

Dieser an zwei Beispielen durchgeführte Rückblick in die Geschichte des chemischen Unterrichts macht dreierlei deutlich:

- Schon um die Jahrhundertwende machten sich Naturwissenschaftsdidaktiker Gedanken über die Möglichkeiten, den naturwissenschaftlichen Unterricht mit Hilfe der Naturwissenschaftsgeschichte effektiver zu gestalten, das heißt, den Unterricht nicht nur als eine Übermittlung und Anhäufung von Wissen zu sehen. Gleichzeitig - und darauf bin ich oben nicht eingegangen - wurde aufgezeigt, daß dieses durch Berücksichtigung des geschichtlichen Elements erreicht werden kann, indem die Bedeutung des menschlichen Geistes für das Entstehen der Naturwissenschaften explizit thematisiert wurde.
- Das Problem der Interdisziplinarität des naturwissenschaftlichen Unterrichts, das für das Verstehen der Naturwissenschaften von großer Bedeutung ist, stellte sich zu der Zeit nicht. Der Hauptgrund dürfte wohl darin liegen, daß um die Jahrhundertwende der Streit um die Einführung der einzelnen Naturwissenschaften als Unterrichtsfächer mit dem Nachweis ihrer je eigenen Bildungsbedeutsamkeit zu einem ersten Abschluß gekommen war und die Forderung nach Interdisziplinarität dem entgegengestanden hätte.
- Naturwissenschaftlicher Unterricht wurde so verstanden, daß der Lernende nur wenig (bzw. gar kein) Wissen mit in den Unterricht einbrachte. Von

3. Hier ist deutlich das biogenetische Grundgesetz Häckels angesprochen: "Die Ontogenese ist eine abgekürzte Wiederholung der Phylogenese", dessen Unhaltbarkeit heute als erwiesen gilt.

daher war naturwissenschaftlicher Unterricht in der Praxis vorwiegend eine vom Lehrer zu bewerkstellende Belehrung, gewissermaßen eine "Möblierung"⁴ des von naturwissenschaftlichem Gedankengut leeren Geistes im Schüler.

3. Die Bedeutung der Handlungstheorie

Heute wird Lernen als das Aufbauen von Wissensstrukturen verstanden. Der Lernende macht durch Handeln und Beobachtungen Erfahrungen und versucht, diese gewonnenen Erfahrungen zu ordnen. Dabei bildet er ein System von Begriffen aus, das es ihm ermöglicht, Handlungspläne zu entwerfen und somit Prozesse in Gang zu setzen, deren Ergebnisse er vorherzusagen vermag. Somit wird der Mensch in die Lage versetzt, Prozesse durch Variation von Bedingungen gezielt zu beeinflussen bzw. seine Handlungen zu planen. Entscheidend anders ist hier also folgendes: Verstehendes Lernen vollzieht der Lernende, indem er sich aktiv mit erkannten Problemen auseinandersetzt und die Probleme einer subjektiv befriedigenden Lösung zuführt. Damit wird Lernen eine vom Lernenden aktiv vollzogene Handlung, deren Ablauf immer an bestimmte Inhalte gebunden ist. Der Lernende baut ein in sich verknüpftes Wissen auf, das er wieder benutzt, um andere Probleme zu lösen. Neue Verknüpfungen und auch neue Begriffe werden gebildet oder früher gebildete Verknüpfungen erweisen sich als nicht sinnvoll, und sie werden durch neue ersetzt. Diese kurz skizzierte Vorstellung vom Lernen läßt sich durch die Ansichten Karl Poppers (1982) stützen. Popper widmet sich auch Problemen des Lernens und vertritt die Theorie, daß wir aus Erfahrung durch Handeln und Auslese lernen. Menschliches Handeln ist immer zielbezogen und wird mit bestimmten Erwartungen mit Hilfe vorgängiger Theorien durchgeführt. Vor allem haben wir die Erwartung, daß wir das gewünschte Ziel erreichen oder zumindest diesem Ziel näher kommen. Dazu bauen wir Handlungsprogramme auf. Das Lernen aus Erfahrung besteht dann nach Popper darin, daß wir unsere Erwartungen, Theorien und Handlungsprogramme auf geeignete Art und Weise modifizieren. Lernen ist demnach ein Prozeß der Modifikation und Auslese, zu dem wir aufgrund der Widerlegung unserer Erwartungen oder aufgrund unserer Enttäuschungen über die Ineffektivität unserer Handlungsprogramme veranlaßt werden.

Hier nun kommt der Begriff des genetischen Lernens einen neuen, anderen Sinn: Das genetische Lernen orientiert sich nicht mehr an dem früher vollzogenen, historischen Prozeß, sondern ist bezogen auf das einzelne, lernende individuelle Subjekt. Damit wird für den Unterricht der Lernende aus seiner Rolle als Adressat für zu vermittelnde Inhalte herausgenommen und als Akteur seiner eigenen Lernprozesse gesehen. Die Realisierung dieser Anschauungen ist in ausgezeichneter Weise bei den Vorstellungen von Martin Wagenschein⁵ zu finden. In seinem Unterricht äußern alle Lernenden zu einem gemeinsam erfahrenen Phänomen ihre ganz subjektiven - auch vor- oder unwissenschaftlichen - Vorstellungen. Der Lehrer bestimmt nicht den Ablauf des Lernprozesses, indem er die Schüler mit seinem Wissen belehrt, sondern die Lernenden diskutieren ihr Problem unter dem Wunsch, bei sich und den Mitschülern Verstehen und Verständnis zu erzeugen. Um einen solchen

4. vgl. dazu Wagenschein, M. (1983).

5. Wagenschein, M. (1983).. Hier finden sich auch Angaben zu weiteren Arbeiten Wagenschein's.

Lernprozeß im Unterricht zu realisieren, sind nach Wagenschein eine Reihe von Bedingungen zu beachten:

Jeder, der an einem solchen Unterricht teilnimmt, muß den anderen in seiner Eigenart achten und die vorgetragenen Argumente ernst nehmen.

Jeder Schüler muß bereit sein, alles mitzuteilen, was er zur Sache denkt.

Der Lehrer muß sich selbst und sein fertiges Wissen möglichst zurücknehmen: er muß zuhören und wenn nötig, das Gespräch bei der Sache halten.

Alle Beteiligten müssen sich verantwortlich dafür fühlen, daß jeder die Gelegenheit bekommt, den anderen zu verstehen, damit alle gemeinsam sich in die Sache vertiefen können.

Hier erhält der Begriff 'genetisch' seinen Sinn darin, daß in jedem einzelnen Lernenden eine neue Sichtweise generiert wird, die auf früher entwickelten Vorstellungen basiert. Die Chemie wird also nicht vom Lehrer in den Schüler hineingetragen, sondern vom Schüler durch Problemlöseprozesse aufgebaut, gewissermaßen als ein neuer Sinnzusammenhang konstruiert.

4. Zusammenfassung

Der Rückblick in die Geschichte des chemischen Unterrichts läßt erkennen, daß sich die Ansichten über Art und Weise, wie Chemie gelernt werden sollte, in chemiedidaktischen theoretischen und in unterrichtspraktischen Ansätzen deutlich unterschieden. Die hoffnungsvollen Äußerungen Knöpfels werden eigentlich in späteren Jahren Lügen gestraft. Erik Joling (1993a; 1993b) hat in seinen Arbeiten auf das Problem der "verstudieboeking" aufmerksam gemacht: "Hoe kunnen we voorkomen dat de kennis die studenten tijdens hun studie vergaren eigenlijk een verzameling van half-begrepen feiten, feitjes of zelf schijnfeiten blijkt te zijn?"

Zur Auflösung dieses Dilemmas wurden von mir zwei komplementäre Ansätze vorgestellt: die Bedeutung der geschichtlichen Entwicklung der Wissenschaft Chemie und die Berücksichtigung der Aspekthaftigkeit chemischer Erkenntnisse. Beide Ansätze sind zum Aufbau einer "didaktischen Struktur" hilfreich und finden Niederschlag in der Schulpraxis und sollen im folgenden noch einmal kurz charakterisiert werden:

- Bei dem vorgestellten genetischen Unterricht von Martin Wagenschein ist die Rolle der Naturwissenschaftsgeschichte gegenüber dem praktisch-heuristisch-genetischen Verfahren verändert: Das geschichtliche Werden der Naturwissenschaften ist nicht Richtschnur des unterrichtlichen Vorgehens und wird auch den Lernenden nicht unmittelbar vermittelt, da die geschichtlichen Probleme nicht die Probleme des heutigen Lernenden sind. Die Geschichte ist nicht Lehrmeister der Schüler, wohl kann sie Lehrmeister des Lehrers werden, weil ihr Studium den Lehrer öffnen kann für Fragen, die das Werden der Wissenschaften bestimmt haben.

Ist aber im Lernenden ein erstes Verstehen für Fragen der Biologie, Chemie oder Physik aufgebaut, dann wird es auch sinnvoll, geschichtliche Entwicklungen in den einzelnen Naturwissenschaften zu betrachten. Die Lernenden können sehen, wie erkannte Probleme mit Hilfe von Begriffen und Theorien gelöst werden, aber auch, wie eingeführte Theorien für andere Problemlösungen blind machten: Aristotelische Prinzipienlehre, Phlogistontheorie, Oxidationsvorstellungen des Lavoisier. Es ist das ständige Wechselspiel zwischen Theorie und Empirie, das die

Naturwissenschaften weitertreibt: theoriegeleitete Empirie und empirische Kontrolle der Theorie.

- Die Interdisziplinarität, wie sie in der Regel verstanden wird, geht davon aus, daß die Welt durch die Wissenschaften in voneinander getrennte Einzelteile zerlegt wird, deren Zusammenhang verloren gegangen ist. Wissenschaft nämlich ist auf eine Spezialisierung, eine Einengung der Fragestellung, der Methoden zur Antwortfindung und der Zielsetzung aus. Beim genetischen Verfahren wird deutlich herausgearbeitet, daß die Erkenntnisgewinnung über Naturphänomene im naturwissenschaftlichen Sinne einen schwerwiegenden Verzicht auf andere mögliche Aspekte zur Folge hat:
Es ist derselbe Mond⁶, den die Naturwissenschaftler, die Dichter und die Verliebten anschauen, - und alle entwerfen ein anderes Bild dieses Mondes. Welches mag wohl das richtige sein?

Literatur

- Dannemann, Friedrich (1907). *Der naturwissenschaftliche Unterricht auf praktisch-heuristischer Grundlage*. Hannover und Leipzig: Hahnsche Buchhandlung.
- Diesterweg, A. (1850). *Wegweiser zur Bildung deutscher Lehrer*, 4. Auflage. Essen: Bädecker.
- Joling, E. (1993). Didaktische structuur als antwoord op verstudieboeking. In: Kramers-Pals, H. und Niehaus, G. (Hrsg): *Chemiedidaktische Forschung Lopend onderzoek in de chemiedidaktiek*. Essen, Magdeburg: Westarp-Wissenschaften.
- Joling, E. (1993). *Chemie in gesprek*. Dissertation Amsterdam.
- Kehr, C. (Hrsg.) (1877). *Geschichte der Methodik des deutschen Volksschulunterrichts*. Gotha: Verlag von E. F. Thienemann's Hofbuchhandlung.
- Knöpfel, Ludwig (1893). Über die Verwendung des geschichtlichen Elements im chemischen Unterricht. In: *Jahresbericht des Großherzoglichen Gymnasiums und der Großherzoglichen Realschule zu Worms über das Schuljahr 1892/93*. Worms. Progr. Nr. 630.
- Popper, K. R. und J.C. Eccles (1982). *Das Ich und sein Gehirn*. München, Zürich: Verlag R. Piper & Co.
- Wagenschein, Martin (1983). *Erinnerungen für morgen*. Weinheim und Basel: Beltz-Verlag.
- Willmann, O. (1882/1889). *Didaktik als Bildungslehre*. 2 Bände.

6. vgl. dazu Wagenschein, M. (1983).

The development of multiple-choice questions for stoichiometric calculations on titration

Hans-Jürgen Schmidt
Dept. of Chemistry
University of Dortmund

1. Abstract

The present study is based on the following hypothesis: If scientists or chemistry students cannot solve a mathematical problem by reference to its content, they may manipulate the numerical values of different variables without considering their meaning and with only partial reference to their contents. This hypothesis is first illustrated by reference to developments in the history of the periodic system. The periodic system was developed after chemists had noticed similarities between chemical elements. They arranged the elements two-dimensionally in order of increasing atomic weights so that certain variables (chemical properties, valencies) changed periodically. However, the periodic system could not be theoretically substantiated in the 19th century.

The hypothesis which underlies this study was used to develop multiple choice questions on titration. The characteristics of these test items were that

- (1) the correct and incorrect strategies led to different results (i.e. to different answer options)
- (2) items included only numbers or number ratios which allowed a quick mental calculation of the answer.

Subsequently the quality of the test items was tested with an empirical investigation. Subjects were 7,441 senior high school students in grades 11, 12 and 13 in the Federal Republic of Germany in the school year 1989/90 who completed the paper- and pencil tests. Results indicate that students actually used the strategies on which construction of the test items had been based. The results of the study are directly applicable to classroom practice. Continued research is needed to develop and test tasks for other domains of stoichiometry.

2. Introduction

This article describes the development and evaluation of multiple choice questions on titration (Schmidt, 1992a). The test items were designed according to the same principle as the test items for the calculation of chemical formulae described by Schmidt and Beine (1992). In order to find the formulae of binary compounds from the masses of the elements involved or, vice versa, to derive such masses from the known chemical formulae, three variables are to be considered:

- the masses $m(A)$ and $m(B)$ of the elements involved
- their amounts of substance $n(A)$ and $n(B)$ as well as
- their molar masses $M(A)$ and $M(B)$.

These variables are related by the following expression:

$$n(A) = \frac{m(A)}{M(A)} \quad \text{and} \quad n(B) = \frac{m(B)}{M(B)} \quad (1)$$

Schmidt (1990) indicates that many students do not find the correct answer because they consider only two of the three variables. When given the chemical formula they simplify the relationship

$$\frac{m(A)}{m(B)} = \frac{n(A) * M(A)}{n(B) * M(B)} \quad (2)$$

into

$$\frac{m'(A)}{m'(B)} = \frac{n(A)}{n(B)} \quad \text{or} \quad (3)$$

$$\frac{m''(A)}{m''(B)} = \frac{M(A)}{M(B)} \quad (4)$$

The aforementioned calculations can be done easily if the molar masses of the elements involved in the compound bear a simple ratio to one another (e.g. 1:2, 1:3 etc.). Schmidt and Beine (1992) used these incorrect strategies to calculate plausible sets of answers and appropriate values for the stem of multiple choice questions. From students' comments on the solutions to the test items it is unclear whether

- they actually realised and noted chemical relations between the variables

or

- they were interested in manipulating numbers before giving them a chemical interpretation.

Is it conceivable that students follow the magic of 'fitting' numbers before getting interested in the meaning of these numbers?

3. Background

The historical development of the periodic system can be regarded as an example of how chemists have come to new findings by juggling with numbers. In 1820 Döbereiner published the Law of Triads (Ihde, 1984). Döbereiner had noticed that there was a simple correlation between the atomic masses of elements belonging to the same family: The atomic mass of the central element in the triad approximated the average of the atomic masses of the adjacent elements. Döbereiner's triads can also be formulated as follows: In a triad of elements with similar properties the difference between the atomic masses of adjacent elements is identical.

Pettenkofer and Dumas enlarged on this idea in 1850 respectively 1858. They noted that the atomic masses of similar elements are multiples of a basic value. Today we know that this is not generally a valid statement (fig. 1).

								He
								16
Li	Be	B	C	N	O	F		Ne
16	15	16	16	17	16	17		20
Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	Ar	
16	16	43	45	44	47	44	44	
K	Ca	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	
46	48	44	46	47	49	47	47	
Rb	Sr	In	Sn	Sb	Te	I	Xe	
47	49	90	88	87	81	83	91	
Cs	Ba	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	
90	89							
Fr	Ra							

figure 1: Reconsideration of the Law of Triads by applying it to the representative elements of the periodic table. The rounded differences of their relative atomic masses are printed between the element symbols.

An important step was made by Newlands with his Law of Octaves stating: If the chemical elements are arranged in order of increasing atomic weights similar properties recur after a sequence of seven elements. Mendeleev constructed the periodic system by additionally considering regularities in valence when arranging the elements periodically. To the originators of the periodic table it was clear that the periodic system had to be theoretically substantiated by analysing atomic structures. Until such analysis was possible, the periodic system was based on juggling with numbers.

4. Problem

This review of chemical history suggests the following hypothesis. Researchers working on problems involving manipulation of numbers may investigate the correlation between the numbers before exploring the content of the problem. Students may have applied this strategy to the above-mentioned test items on chemical formulae. It can be reasonably asserted that students simplify calculations by considering only two of the three variables. The incorrect statements (3) and (4) may indicate that the strategy of juggling has been utilised. According to the hypothesis students had to solve test items on stoichiometry containing even numbers by the process of 'numerical juggling'. Test items on titration were used to test this hypothesis. The purposes of the present investigations were:

1. to design multiple choice questions on titration that have the following characteristics:
 - correct and incorrect solution strategies must lead to different numerical answers
 - numbers used in calculations were such that when divided by each other no remainder was obtained, whether or not incorrect strategies are used.
2. to assign the new test items to students. From responses selected by students (and from their comments) it should be possible to decide whether students apply the incorrect strategies which were used to calculate the distractors.

5. Method

Instruments

Three variables must be considered in order to solve test items on titration:

- the molar concentrations of the standard solution c_1 and of the solution with the unknown concentration c_2
- their volumes v_1 and v_2 and
- the coefficients n_1 and n_2 of the reaction equation.

Between these variables the following relationship exists

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{c_1 * v_1}{c_2 * v_2} \quad (5)$$

Different types of test items for two experimental situations were developed. In test items of type 1 the molar concentration of a solution, with all other variables given, is to be determined. In test items of type 2 the volume is to be calculated.

The development of test items of type 1 is first discussed. Equation (5) can be written as

$$\frac{c_1}{c_2} = \frac{n_1 * v_2}{n_2 * v_1} \quad (6)$$

If students consider only two of the three variables the two following relationships result from (6):

$$\frac{c_1}{c_2} = \frac{v_2}{v_1}, c_2' = c_1 * \frac{v_1}{v_2} \quad (7)$$

$$\frac{c_1}{c_2} = \frac{n_1}{n_2}, c_2'' = c_1 * \frac{n_2}{n_1} \quad (8)$$

Another relationship students may use can be expressed as:

$$\frac{c_1}{c_2} = \frac{v_1}{v_2}, c_2''' = c_1 * \frac{v_2}{v_1} \quad (9)$$

Here c_2' , c_2'' , c_2''' are three incorrect solutions.

The following relationship must be valid for each incorrect calculation to lead to a distinct distractor

$$c_2 \neq c_2' \neq c_2'' \neq c_2''' \quad (10)$$

From (6) and (7) it is clear that n_1 has to be different from n_2 so that c_2 can be different from c_2' . Accordingly, it follows from (6) and (8) that v_2 has to be different from v_1 because this is the only case in which $c_2 \neq c_2''$. Additionally, the boundary condition (11) results from (7) and (8):

$$c_2' \neq c_2''; \frac{v_1}{v_2} \neq \frac{n_2}{n_1} \quad (11)$$

In setting $n_1 : n_2 = 1 : 2$ and $c_1 : c_2 = 2 : 1$, for example, the ratio 1 : 4 results for $v_1 : v_2$ according to (6). Therefore, $c_2 = \frac{1}{4}c_1$. From (7), (8) and (9) it follows that $c_2' = \frac{1}{4}c_1$, $c_2'' = 2c_1$ and $c_2''' = 4c_1$. Further values are displayed in table 1.

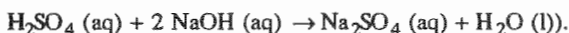
Table 1: Calculation of the options of multiple choice questions on titration. The molar concentration c_2 of the solution given is requested. n_1 respectively $n_2 =$ coefficients of the equation; v_1 respectively $v_2 =$ volumes of the standard solution respectively of the solution given; $c_1 =$ molar concentration of the standard solution.

$n_1 : n_2$	$c_1 : c_2$	$v_1 : v_2$	c_2	c_2'	c_2''	c_2'''
1 : 2	2 : 1	1 : 4	$1/2c_1$	$1/4c_1$	$2c_1$	$4c_1$
2 : 1	1 : 2	4 : 1	$2c_1$	$4c_1$	$1/2c_1$	$1/4c_1$
1 : 3	2 : 1	1 : 6	$1/2c_1$	$1/6c_1$	$3c_1$	$6c_1$
3 : 1	1 : 2	6 : 1	$2c_1$	$6c_1$	$1/3c_1$	$1/6c_1$
1 : 3	1 : 2	2 : 3	$2c_1$	$2/3c_1$	$3c_1$	$3/2c_1$
3 : 1	2 : 1	3 : 2	$1/2c_1$	$3/2c_1$	$1/3c_1$	$2/3c_1$

The following test item 1 was designed according to line 1 in table 1, c_1 given the value 0.5 mol/l, so that the numerical values common in laboratory practice result for all other concentrations.

Test item 1

10 ml of sulphuric acid H_2SO_4 (aq) of the concentration $c(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0,5$ mol/l reacted with 40 ml of sodium hydroxide NaOH (aq) in equimolar amounts (i.e. in the amounts given by the equation)



What was the concentration of the sodium hydroxide?

- [A] 0.125 mol/l ($c_1 \cdot v_2 = c_2' \cdot v_2$)
 [B]* 0.25 mol/l ($n_1 : n_2 = c_1 \cdot v_1 : c_2 \cdot v_2$)
 [C] 1 mol/l ($c_1 : c_2'' = n_1 : n_2$)
 [D] 2 mol/l ($c_1 : c_2''' = v_1 : v_2$)

The remarks in parenthesis, which were not given in the test, show which strategies the options represent.

In the test items of type 2 the volume v_1 that is used up in titration is to be calculated. From (5) the expected incorrect statements (12) and (13) result:

$$\frac{v_1'}{v_2} = \frac{c_2}{c_1} ; v_1' = v_2 * \frac{c_2}{c_1} \quad (12)$$

$$\frac{v_1''}{v_2} = \frac{n_1}{n_2} ; v_1'' = v_2 * \frac{n_1}{n_2} \quad (13)$$

Additionally, it was assumed that students would choose

$$\frac{v_1'''}{v_2} = \frac{c_1}{c_2} \quad (14)$$

With reference to the above calculations the following relationship must be valid:

$$v_1 \neq v_1' \neq v_1'' \neq v_1''' \quad (15)$$

Another condition results from (12) and (13):

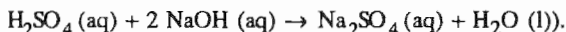
$$v_1' \neq v_1'' ; \frac{n_1}{n_2} \neq \frac{c_2}{c_1} \quad (16)$$

From (6) and (12) n_1 has to be different from n_2 , so that v_1 is different from v_1' . Equally, from (6) and (13) it follows that in order to make v_1 different from v_1' , c_1 has to be different from c_2 . From setting $n_1 : n_2 = 1 : 2$ and $c_1 : c_2 = 1 : 4$ for example, the ratio 2 : 1 results for $v_1 : v_2$, according to (6). Thus, $v_1 = 2v_2$. From (12), (13) and (14) we get $v_1' = 4v_2$, $v_1'' = \frac{1}{2}v_2$ and $v_1''' = \frac{1}{4}v_2$. Further values are displayed in table 2.

Test item 2 was designed using line 1 in table 2. v_2 was given the value 10 ml, so that realistic numbers occur for the correct and incorrect answers.

Test item 2:

10 ml of sulphuric acid H_2SO_4 (aq) of the concentration $c(H_2SO_4) = 0.05$ mol/l are to be titrated with sodium hydroxide NaOH (aq) of the concentration $c(NaOH) = 0.2$ mol/l in equimolar amounts (i.e. in the amounts given by the equation



What volume of sodium hydroxide is needed?

- [A] 2.5 ml ($v_1' \cdot c_1 = v_2 \cdot c_2$)
 [B]* 5 ml ($n_1 \cdot n_2 = c_1 \cdot v_1 : c_2 \cdot v_2$)
 [C] 20 ml ($v_1'' : v_2 = n_1 : n_2$)
 [D] 40 ml ($v_1''' : v_2 = c_1 : c_2$)

Table 2: Calculation of the options of multiple choice questions on titration. The volume v_1 of the standard solution is requested. n_1 respectively n_2 = coefficients of the equation; c_1 respectively c_2 = molar concentration of the solutions; v_2 = volume of the solution given.

$n_1 : n_2$	$c_1 : c_2$	$v_1 : v_2$	v_1	v_1'	v_1''	v_1'''
1 : 2	1 : 4	2 : 1	$2v_2$	$4v_2$	$1/2v_2$	$1/4v_2$
2 : 1	4 : 1	1 : 2	$1/2v_2$	$1/4v_2$	$2v_2$	$4v_2$
1 : 3	1 : 6	2 : 1	$2v_2$	$6v_2$	$1/3v_2$	$1/6v_2$
3 : 1	6 : 1	1 : 2	$1/2v_2$	$1/6v_2$	$3v_2$	$6v_2$
1 : 3	2 : 3	1 : 2	$1/2v_2$	$3/2v_2$	$1/3v_2$	$2/3v_2$
3 : 1	3 : 2	2 : 1	$2v_2$	$2/3v_2$	$3v_2$	$3/2v_2$

Design

10 sample items focusing on titration were tested in the course of a major study. Each student received a package of 6 test items to be completed in one school period. The test items were randomly distributed between test packages and with respect to their position within the packages. Further details have been reported (Schmidt, 1994).

Data collection and sample

The tests were completed in the school year 1989/90. 7,441 grammar school students from all parts of the Federal Republic of Germany participated. In addition to marking the option they thought correct, students were asked to give reasons for their choice. The teachers volunteered their classes for the test, therefore the student sample is not random.

6. Findings

For all test items the distribution of answers against the options was the same, so only the responses to test items 1 and 2 are presented in table 3.

Table 3: Distribution of the answers to the options; b = basic course, e = extensive course¹

test item	course	options chosen in %				no answer	number of students
		A	B	C	D		
1	b	19	41*	13	15	12	119
	e	14	50*	15	12	10	121
2	b	21	39*	16	9	15	104
	e	21	52*	15	5	8	130

Students' written comments were congruent with the assumptions upon which the multiple choice questions were based. Examples of students' comments are as follows:

Test item 1

Distractor A, strategy $c_1 \cdot v_1 = c_2 \cdot v_2$

"c(NaOH) has to be 4 times smaller than c(H₂SO₄), because there is 4 times as much NaOH as H₂SO₄."

Distractor C, strategy $c_1 : c_2 = n_1 : n_2$

"Sulphuric acid is a divalent acid, sodium hydroxide is a monovalent base, i.e. twice as much sodium hydroxide as sulphuric acid is required ... the concentration of the sodium hydroxide must be twice as large."

Distractor D, strategy $c_1 : c_2 = v_1 : v_2$

" $\frac{0.0101}{0.5 \text{ mol/l}} = \frac{0.041}{x}$, $x = 2 \text{ mol/l}$ "

1. In Germany Senior High School students can choose between basic courses (three lessons of chemistry per week) and extensive courses (five to six lessons per week). For more details see Schmidt (1992b).

Test item 2

Distractor A, strategy $v_1 \cdot c_1 = v_2 \cdot c_2$

"Equal volumes of equimolar solutions neutralise each other. If the concentrations of the acid and the hydroxide are different, a larger volume of each solution is needed the smaller the concentration is. Therefore:

$$v_1 \cdot c_1 = v_2 \cdot c_2$$

$$10 \text{ ml} \cdot 0.05 \text{ mol/l} = x \cdot 0.2 \text{ mol/l}$$

$$10 \text{ ml} \cdot 0.05 \text{ mol/l} = x \cdot 0.2 \text{ mol/l}''$$

Distractor C, strategy $v_1 : v_2 = n_1 : n_2$

"The numbers in front of the compounds in the reaction equation demonstrate the ratio between the compounds. Here the ratio of $\text{H}_2\text{SO}_4 : \text{NaOH}$ is 1 : 2. As 10 ml of H_2SO_4 are to be neutralised, corresponding to the ratio, 20 ml of NaOH have to be added."

Distractor D, strategy $v_1 : v_2 = c_1 : c_2$

"The concentration of the sodium hydroxide amounts to four times the concentration of the sulphuric acid, thus four times the amount of sodium hydroxide is required."

Finally, in some classes' reasons for correct and incorrect solutions between corresponding test items were gathered. In these classes were students with well-considered reasons for choosing the correct answer as well as students with reasonable arguments for the incorrect answer.

7. Discussion

From these observations it can be concluded that students who responded to the test had been exposed to teaching about titration. The results of this study provide strong indication that students arrived at incorrect solutions due to considering only two of the three variables involved. Perhaps the even and plausible numbers caused students to play with these numbers - or contributed to their doing so - rather than paying attention to the chemical content of the question. Since the test items on titration used even and plausible numbers, solutions can be calculated mentally. However, these test items make it more likely that students who do not have a thorough understanding of the chemistry involved will reach incorrect answers. Is it fair to give students such test items? An historical illustration of the utility of juggling with numbers was provided in the Background section. We should not teach the students to stop the "Döbereiner" because it is a way of tackling problems creatively. There is, however, a distinction to be made between the appropriateness of the numerical juggling done by Döbereiner and his contemporaries in the absence of a scientific orthodoxy about a systematic arrangement of the elements - and indeed carried out while trying to achieve a systematic ordering - and the

numerical juggling done by students who have been exposed in school science classes to teaching specifically intended to impart an understanding of the current scientific orthodoxy on how stoichiometric calculations are to be done. In the former case the scientists were trying to design an understanding of a system, in the latter case students are expected to learn and use a mode of calculation which is universally accepted and used in chemistry, and which does have theoretical underpinnings (see also de Jong , 1992).

Since this study used a non-random sample, no claim is made for the general validity of the results. To find out if the results of the present study are also valid for other student populations the test items must be tested on other samples. The financial expenditure and time required are small: test items can be done quite quickly by students and the results can be interpreted easily.

8. Implications for research and teaching

The results suggest issues for both research and teaching practice. Knowing how students have solved the test items on titration, researchers can develop and test multiple choice questions in other domains of stoichiometric calculation. Before entering the classroom teachers can reflect on how to respond to students' incorrect answers. Minor elaboration by the teacher may enable students to correct their answers themselves. The following suggestion refers to test item 1 and to distractor A of test item 1, and is also applicable to incorrect answers to all other test items. In the above-mentioned example:

10 ml of sulphuric acid of the concentration 0.5 mol/l were to react with 40 ml of sodium hydroxide of the concentration 0.125 mol/l. In teaching students how to do such a question, this is transformed (stepwise) into 1 l of sulphuric acid of the concentration 1 mol/l and 4 l of sodium hydroxide of the concentration 0.25 mol/l. Hence 1 mol of sulphuric acid reacted with 1 mol of sodium hydroxide which is not congruent to the reaction equation. This simple check of an incorrect answer reveals the mistake. The concentration of the sodium hydroxide must be higher. Teachers may wish to leave most of these reflections to the students.

Acknowledgements

Preparation of this article was supported by the Deutsche Forschungsgemeinschaft (Schm 701/3-1).

References

- Ihde, A. J. (1984). *The development of modern chemistry*. New York: Dover Publications.
- Jong, O. de (1992). Aufgaben zum stöchiometrischen Rechnen: Mittel oder Ziel? In N. Just & H.-J. Schmidt (Eds.), *Grundlinien deutscher Chemie-didaktik*. Essen: Westarp, 84-89.
- Schmidt, H.-J. (1992a). Harte Nüsse im Chemieunterricht. Frankfurt: Diesterweg.
- Schmidt, H.-J. (1992b). Chemistry teaching in Germany. *Education in Chemistry*, 29, 104-106.
- Schmidt, H.-J. (1994). Stoichiometric problem solving in high school chemistry. *International Journal of Science Education*, 16, 191-200.
- Schmidt, H.-J. and M. Beine (1992). Setting multiple-choice tests. *Education in Chemistry*, 28, 19-21.

Learning Processes in Chemistry - an Interaction of Students' Preconceptions and Chemical Contents

Elke Sumfleth
and
Stephanie Todtenhaupt
Fachbereich Chemie
Universität-GH-Essen

1. Introduction

Each learning process is a kind of interaction between learner and contents. Both, learner and contents are characterized by different marks. Motivation, social surrounding field, learning strategies, preconceptions and so on belong to the learner's marks, structure, meaningfulness, understandability, concreteness, imagery and others to the marks of the content. These different marks are not independent of each other, but on the other side they must not correlate. For instance our investigations show high correlations between understandability, imagery and concreteness but meaningfulness plays a subordinated role (Sumfleth, 1994; Sumfleth and Körner, 1992, 1993; Körner, 1994). Perhaps it is related more closely to other characteristics. So, learning is determined by interrelations of all these and other characteristics.

It is very difficult to investigate such a multifactorial context in the whole. Therefore learning is differentiated into special parts and special interrelations. But it is very important to be aware of this simplification and to aim at reuniting these single parts step by step later on and at investigating the corresponding consequences.

In the field of students' preconceptions this paper is focused on the change in knowledge during schooling concerning redox-reactions (Todtenhaupt, 1995).

2. Students' Preconceptions

Children possess solid conceptions (Driver and Easley, 1978) to predict events. They have concrete views of terms used as well by daily life as by science which enable them to construct coherent understanding of the world (Gilbert and Osborne, 1980). On the other hand children search for isolated explanations of special events (Driver, 1989; Osborne et al., 1983). In contrast to scientists they do not long for a consistent model to explain a number of phenomena. Only few investigations refer to chemical content as to the mole-concept (f.i. Driver and Easley, 1978; Lazonby et al., 1982), to stoichiometry (f.i. Schmidt, 1990) or to chemical reactions (f.i. Schollum, 1981). Cros has asked 400 students (first university year) not only to define some terms but also to describe the reaction process (Cros et al., 1986; Cros et al., 1988). The students often show good formal knowledge, but are unable to interpret reactions. Besides investigations concerning acid-base those relating to redox are somewhat numerous (f.i. Haupt, 1984; Friedler, Amir and Tamir, 1987; Todtenhaupt, 1986; Zoller, 1990), especially to burning and combustion processes (f.i. Meheut et al., 1985; Pfundt, 1975, 1982).

While many scientific conceptions are learnt as passive data, daily life conceptions are used frequently. They are encoded as procedural knowledge allowing an automatic, unconscious use (Jung, 1986; Hashweh, 1986). They are never totally wrong, as they are at least adequate to daily life situations. In addition different strategies exist to 'save' proved conceptions in spite of inconsistencies recognized. These are ignored or accepted as exception to the rule. Further variables are added to the existing ones or ad hoc explanations are invented. Phlogiston theory is a historic example (Musgrave, 1976; Brown and Dronsfield, 1991).

3. Method

Searching for the reason for students' difficulties concerning redox reactions the change in knowledge during schooling is investigated. The investigation might be carried out as a longitudinal or as a cross-age study. *"Longitudinal studies require repeated measures with possible resulting contamination of results. Cross-age studies are subject to error of comparing nonequivalent populations, but are more easily accomplished and have been used in previous studies of concept understanding (Westbrook and Marek, 1991, 1992; Osborne and Cosgrove, 1983; Novick and Nussbaum, 1981)." (Abraham et al., 1994).*

This investigation is carried out as a cross-age study with all classes - except the first one¹ - of one gymnasium. Concerning the external influences this is a homogeneous group. Therefore differences in understanding depend on age and schooling time.

- 1.) Is air burnable? Give reasons for your answer.
- 2.) What does happen during burning of a candle?
- 3.) In a heatresistent tube you burn one gram of charcoal and collect all materials produced. Do they weigh more than one gram, less than one gram or does the weight² not change? Give reasons for your answer.
- 4.) How does a car battery function? Describe its construction.
- 5.) An iron nail is dipped into a copper sulfate-solution. After some time there is a copper-colored coat on the nail. Explain this observation³.
- 6.) Hydrogen and oxygen react to water:

$$2 \text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{H}_2\text{O}$$
 Why can you call water a combustion product?
- 7.) Sodium and chlorine react to sodium chloride. What has this reaction in common with the water formation?

figure 1: The achievement test

1. The gymnasium starts with class 5.
2. The term mass is substituted by weight, because this is easier to understand by younger students. The physics curriculum of North-Rhine Westfalia (Der Kultusminister, 1978) proposes to do without a strong differentiation of these terms concerning the classes five and six.
3. (Todtenhaupt, 1986; Sumfleth und Todtenhaupt, 1988)

The investigation starts with the sixth class to determine students' knowledge before any chemistry lesson. Concerning the last three years of school-time (11th to 13th) only those students are included who have decided to learn chemistry in fundamental (Grundkurse G) or advanced courses (Leistungskurse L).

In the analysis of knowledge an achievement test is used (Sumfleth, 1988a, 1988b). As even the youngest students should have a chance to solve the single problems, those relating to daily life are put at the beginning (figure 1). (Sumfleth, 1988a).

The evaluation of the answers is mainly qualitative. Only in order to compare different classes we have done a quantitative scoring following a distributive formula. If an answer meets the demands of a completely right one, the student gets two points. If the answers are partly right, the student gets points proportionately (Sumfleth, 1988a).

4. Results

For comparing the results are put into a matrix (fig. 2), the problems being listed horizontally by decreasing facility index, the classes and courses vertically by decreasing means. Course means above the total mean are marked by plus, below this value by minus.

	P 1	P 3	P 2	P 6	P 5	P 7	P 4
12L	+	+	+	+	+	+	+
11L	+	+	+	+	+	+	+
13G	+	+	-	+	+	+	+
12G	+	+	+	+	+	+	-
11G	+	+	+	+	-	-	+
9	+	+	+	+	-	-	-
10	+	-	-	+	+	+	+
8	+	-	+	-	-	-	-
7	-	-	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-	-	-

figure 2: Evaluation of the results according to a method (modified) by Friel/Johnstone (1988)

Students of advanced courses in the 11th and 12th year are the best ones showing achievements above average. Surprisingly the results of the 13th year lie below the total mean with regard to the easier problem P2. The 10th year follows behind the 9th, but has better results concerning the more difficult problems (P5,P7,P4). The 8th classes still get achievements above average in case of the easier problems P1,P2. On the whole the students' capability increases during schooling.

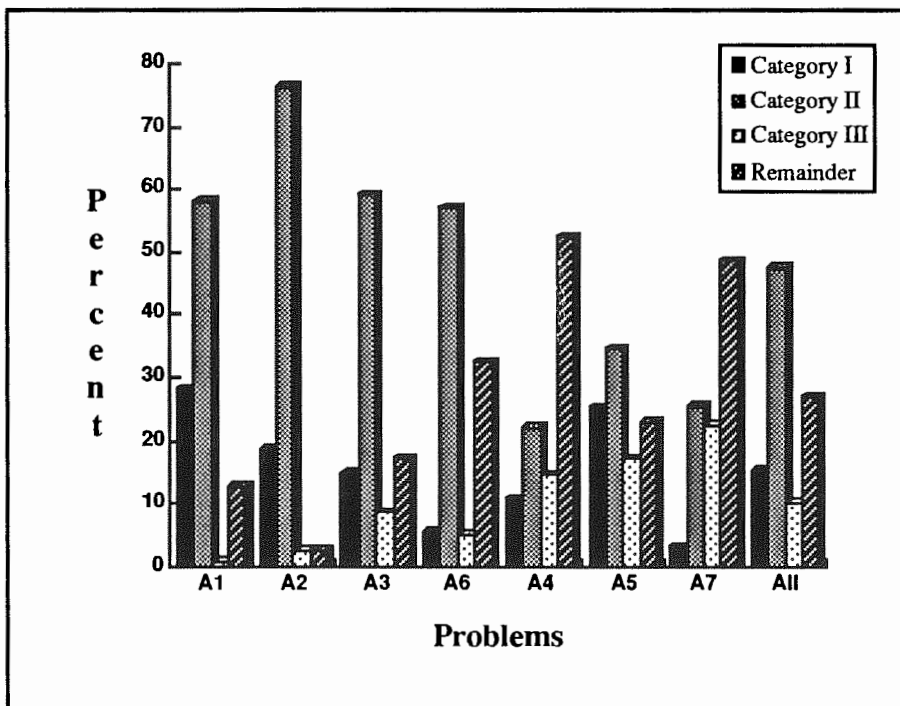


figure 3: Answer distribution over the three interpretation levels in percent

During schooling students should increasingly be able to interpret phenomena by discontinuous models (Kultusminister 1981). For proving this the students' answers are categorized by three different interpretation levels (fig. 3). The first type includes phenomenological and daily life explanations. Physicochemical statements rooted in continuous models belong to the second category. In the third one answers are gathered which point to thinking by discontinuous models. With regard to these three categories scientific correctness is not taken into consideration, because it is intended to investigate students' changing of arguing.

In the whole category II is preferred. The students try to interpret in a physicochemical manner without using discontinuous models. This is even right concerning the problems 4, 5, and 7 which long for submicroscopic explanations.

Problems 1 (Is air burnable?) and 2 (burning of a candle) can be solved by daily-life conceptions. Argueing by discontinuous models is rare. 58% of the answers to problem 1 and 76% of those to problem 2 belong to the second category, because the older ones often add scientific terms to daily-life explanations. Students of the 6th class without any education in chemistry differ from the others, because they prefer phenomenological interpretations (level I).

Several younger students (f.i. 52% of the 6th classes) affirm that air is burnable. The most frequent argument is that air is compulsory for combustion (10%) and therefore it must be burnable. 74% of the students consider air not to be burnable. 26% argue by air components. 17% underline that air is not burnable but required for combustion. Here you cannot decide whether the students regard air as compulsory for combustion or whether they only suppose a supporting influence (Schollum, 1981). In addition 16% argue that it would be impossible to light a fire assuming burnable air.

Concerning problem 2 the differences between statements of younger and older students are very small. 32% name oxygen consumption. But this scientific knowledge stands unrelatedly beside daily life observations: *"Burning of a candle is an oxidation, a reaction with oxygen. You light a wick, after some time wax is melting and running down the candle"* (11th class). 17% (half of them belonging to the 6th and 7th class) use the terms fire and flame. A third of them explain that the flame needs oxygen and/or wax to burn. Some 10% emphasize the heat of the flame which causes melting or evaporating of wax (see Abraham, Williamson and Westbrook, 1994). On the whole melting of wax is the most eye-catching mark. Its burning is mentioned considerably more seldom, although daily life language tells it by this way. Statements like *"wax is burnt to soot and carbon dioxide"* let us suspect that soot is regarded as combustion product.

Solving the problems 3 (charcoal) and 6 (water as combustion product) demands for first knowledge concerning combustion reactions. Here all students argue with preference by type-II-ideas (59%/57%; Fig. 3). Category I is more often used by students of the 6th and 7th class than by others. The portion of category-III-answers (problem 3) is greater than with regard to problem 1 and 2 (especially in answers of the 9th and 10th class). The high value results from argueing by the law of conservation of mass which is just introduced to them (Kultusminister 1978). The students of the 11th course often also use this law, which is repeated in the context of elementary analysis. Otherwise it is hardly mentioned. Mass constancy (31%) and mass decrease (34%) (preferred by the classes 6 to 8 and 13) are chosen slightly more often than mass increase (29%) (Sumfleth 1992). Regarding decrease there are many mistakes concerning specific gravity/weight: *"combustion product changes into the lighter gaseous state and therefore the whole weight falls below 1g"* (13) (see Bader 1992; Haupt 1984; Stavy, 1990).

The problems 4 (car battery), 5 (iron nail) and 7 (sodium and chlorine) are to be explained by electronic theory. Category II is dominant. The problem 7 shows the change in argueing most clearly (fig.4). The portion of students not answering diminishes gradually during the first years of chemistry instruction. The portion of category-II-statements increases and reaches a maximum in the 9th class. Concerning to the 10th class category II and III are equally represented, while category III is preferred by the older students. This result is comparable to the statement of Abraham et al. (1994) concerning the increased use of the terms "atoms" and "molecules" with grade level. Introduction of electronic redox theory leads to more discussions at the discontinuous level.

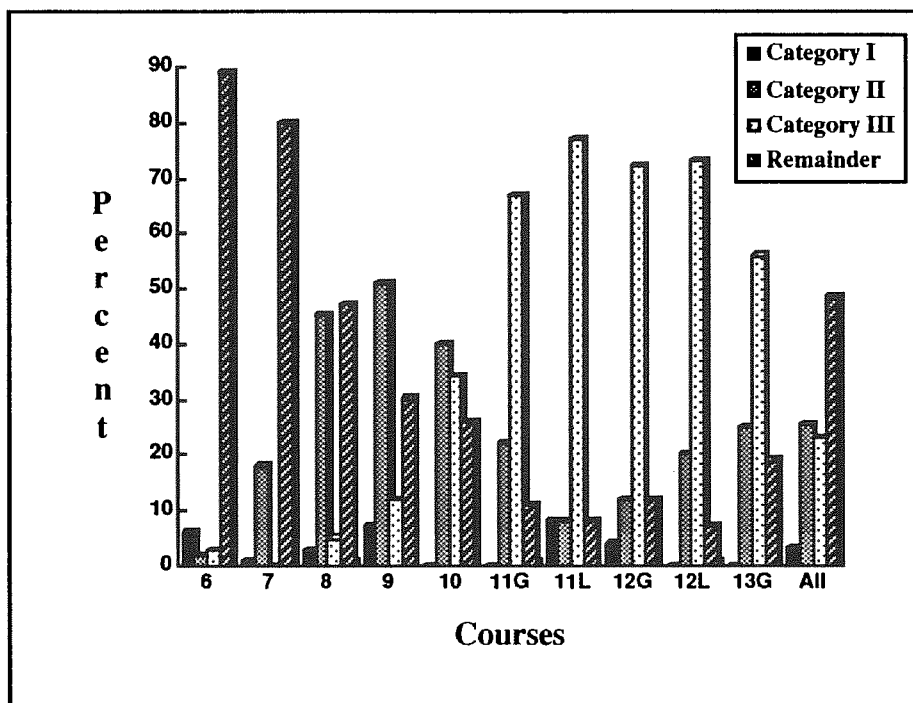


figure 4: Answer distribution over the three interpretation levels in percent concerning problem 7

5. Summary

Students' difficulties concern daily life terms as well as scientific terms. For example the term 'burnable' is not clear. It is applied for substances used for burning or taking part in combustion as well as for those reacting with oxygen or becoming oxidized. Another example is the German name "Stickstoff", which suggests that a flame can be quenched ('erstickt') (Pfundt, 1982). So the students argue that this substance prevents burning of air. The same function is described to carbon dioxide because of carbon dioxide fire extinguisher.

The students do not differentiate between burning, heating and evaporating (Séré, 1986; Pfundt, 1982). They understand combustion or burning as a colloquial term of oxidation. Three explanation patterns are mixed up: combustion as intake of oxygen, oxidation as intake of oxygen, and oxidation as liberation of electrons. These difficulties exist already when arguing by continuous conceptions. Enlargement to electronic theory including the discontinuous level is not successful. The students become completely confused and mix up several models of interpretation. This is caused partly by not differentiating between ions and atoms, between substances and particles, and between objects and materials. It is talked about reaction of the wick or about oxidation of the candle. It is argued that the candle becomes gaseous. The candle is even put into a reaction scheme. On the other hand students use

chemistry symbols in texts. Some describe reduction of "solved" copper ions to "elemental" or "neutral" copper, others equate "(iron)nail" with the material iron. The students possess only small knowledge of substances, but they know the chemical symbols and use them as a kind of algebra (Ten Voorde, 1983a; see Barke, 1985; Cros et al., 1986; Weninger, 1982).

In addition there is an unreflected use of learnt rules, f.i. the law of conservation of mass but by a very formal way. The older students state:

$$m_{\text{Edukt}} = m_{\text{Produkt}}$$

but it is an unmeaningful label. The use of chemical terms increases (see Abraham et al., 1994), but it is often inappropriate.

Although the conception of world of younger students is partly egocentric there are hardly animistic interpretations even concerning fire. Conceptions of destruction are rare; this might be influenced by environmental discussions. Concerning younger students' explanations like "it is as it is" are very typical (McClelland, 1984).

Generally all students of every age have the same difficulties not only concerning daily-life terms; the same is true concerning scientific terms. The results show that a new interpretation of contents learnt before does not occur. Students know several terms by daily-life and keep their conceptions unreflectedly. The different models are mixed up, preconceptions are mixed up with scientific explanations. Therefore it is extremely unfavourable to introduce rules and laws which have to be revised later. This statement fits to that of Garnett and Treagust (1992) "*Presenting using more than one model to explain scientific behavior is often confusing*", but it is somewhat contrary to the suggestion of Abraham, Williamson and Westbrook (1994) "*that a spiral curriculum model makes sense for the instruction of chemistry concepts.*" Terms not originating from scientific language or having additional meanings make the problem more difficult. F.i. the term "product", sometimes understood as a substance usable for a reaction like a "buyable" product. A few students understand the term mathematically and underline that water, a combustion product, is "composed".

On the whole students accumulate abstract facts which they are not able to use for solving new problems. Fragments of knowledge are remembered, but wrongly interrelated. There is a lack of qualitative understanding to evaluate the own statements. If students try to argue by discontinuous models they often fail. For instance they argue by liquid molecules in the context of burning of a candle. On the whole statements to discontinuous models are avoided (Andersson, 1986; De Vos and Verdonk, 1987; Duit, 1992).

Acknowledgement

We would like to express our thanks to the teachers, students and especially to the head of the gymnasium for the opportunity to carry out this investigation.

References

- Abraham, M.R., V.M. Williamson and S.L. Westbrook (1994). A cross-age study of the understanding of five chemistry concepts. *Journal of Research in Science Teaching*, 31 (2), 147-165.
- Andersson, B. (1986). The experimental gestalt of causation: A common core to pupils' preconceptions in science. *European Journal of Science Education*, 8, 155-171.
- Bader, H.-J. (1992). Vorstellungen und Wissen zukünftiger Grundschullehrer über einfache Oxidationsreaktionen. *Vortrag im naturwissenschaftsdidaktischen Kolloquium der Universität-GH-Siegen*. Siegen.
- Barke, H.-D. (1985). Salze - Strukturvorstellungen und Symbole. *Naturwissenschaften im Unterricht - Physik/Chemie*, 33, 169-178.
- Brown, T.M. and A.T. Dronsfield (1991). The phlogiston theory revisited. *Education in Chemistry*, 28, 43-45.
- Cros, D., M. Chastrette and M. Fayol (1988). Conceptions of second year university students of some fundamental notions in chemistry. *International Journal of Science Education*, 10, 31-336.
- Cros, D., M. Maurin, R. Amouroux, M. Chastrette, J. Leber and M. Fayol (1986). Conceptions of first-year university students of the constituents of matter and the notion of acids and bases. *European Journal of Science Education*, 8, 305-313.
- Driver, R. (1989). Students' conceptions and the learning of science. *International Journal Science Education*, 11, 481-490.
- Driver, R. and J. Easley (1978). Pupils and Paradigms: A Review of Literature related to Concept Development in Adolescent Science Students. *Studies in Science Education*, 5, 61-84.
- Duit, R. (1992). Von Alltagsvorstellungen zu den naturwissenschaftlichen - neue Ansätze für den naturwissenschaftlichen Unterricht. *Vortrag gehalten im naturwissenschaftsdidaktischen Kolloquium der Universität-GH-Essen*. Essen.
- Friedler, Y., R. Amir and P. Tamir (1987). High school students difficulties in understanding osmosis. *International Journal of Science Education*, 9, 541-551.
- Friel, S. and A.H. Johnstone (1988). Making test scores yield more information. *Education In Chemistry*, 25 (2), 46-49
- Garnett, P.J. and D.F. Treagust (1992). Conceptual difficulties experienced by senior high school students of electrochemistry: electric circuits and oxidation-reduction equations. *Journal of Research in Science Teaching*, 29 (2), 121-142.
- Gilbert, J.K. and R.J. Osborne (1980). I understand, but I don't get it: some problems of learning science. *School Science Review*, 61, 664-674.
- Hashweh, M. (1986). Toward an explanation of conceptual change. *European Journal of Science Education*, 8, 229-249.
- Haupt, P. (1984). *Verbrennungs- und Oxidationsvorgänge im Verständnis von Schülern*. Köln, Aulis.
- Jung, W. (1986). Alltagsvorstellungen und das Lernen von Chemie und Physik. *Naturwissenschaften im Unterricht - Physik/Chemie*, 34, 100-104.
- Körner, H.-D. (1994). *Vorstellen und Verstehen*. Frankfurt, Lang.
- Kultusminister des Landes Nordrhein-Westfalen (Eds.) (1978). *Vorläufige Richtlinien für die Sekundarstufe I, Gymnasium Physik*. Köln, Greven

- Kultusminister des Landes Nordrhein-Westfalen (Eds.) (1981). *Richtlinien Chemie; Gymnasiale Oberstufe*. Köln, Greven.
- Lazonby, J.N., J.E. Morris and D.J. Waddington (1982). The muddlesome mole. *Education in Chemistry*, 19, 109-111.
- McClelland, J.A.G. (1984). Alternative frameworks: Interpretation of evidence. *European Journal of Science Education*, 6, 1-6.
- Meheut, M., E. Saltiel and A. Tiberghien (1985). Pupils' (11-12 year olds) conceptions of combustion. *European Journal of Science Education*, 7, 83-93.
- Musgrave, A. (1976). Why did oxygen supplant phlogiston? Research programmes in the Chemical Revolution. In C. HOWSON (Ed.), *Method and appraisal in the physical sciences*. Cambridge, Cambridge University Press.
- Novick, S. and J. Nussbaum (1981). Pupil's understanding of the particulate nature of matter: A cross-age study. *Science Education*, 65, 187-196.
- Osborne, R.J. and M. Cosgrove (1983). Children's conceptions of the changes of state of water. *Journal of Research in Science Teaching*, 20, 825-838.
- Osborne, R.J., B.F. Bell and J.K. Gilbert (1983). Science teaching and children's views of the world. *European Journal of Science Education*, 5, 1-14.
- Pfundt, H. (1975). Ursprüngliche Erklärungen der Schüler für chemische Vorgänge. *Der Mathematische und Naturwissenschaftliche Unterricht*, 28, 157-162.
- Pfundt, H. (1982). Vorunterrichtliche Vorstellungen von stofflicher Veränderung. *chimica didactica*, 8, 161-180.
- Schmidt, H.-J. (1990). *Stolpersteine im Chemieunterricht*. Frankfurt am Main - Aarau, Diesterweg-Sauerländer.
- Schollum, B. (1981). *Chemical Change (Learning in Science Project)*. Hamilton N. Z., University of Waikato, Working Paper No. 27.
- Séré, M.-G. (1986). Children's Conception of Changes in the State of Matter: from Liquid (or Solid) to Gas. *Journal of Research in Science Teaching*, 8, 413-425.
- Stavy, R. (1990). Children's Conception of Changes in the State of Matter: from Liquid (or Solid) to Gas. *Journal of Research in Science Teaching*, 27, 247-266.
- Sumfleth, E. (1988a). *Lehr- und Lernprozesse im Chemieunterricht*. Bern-Frankfurt-New York, Lang
- Sumfleth, E. (1988b). Knowledge of terms and problem-solving in chemistry. *International Journal of Science Education*, 10, 45-60.
- Sumfleth, E. (1992). Schülervorstellungen im Chemieunterricht. *Der Mathematische und Naturwissenschaftliche Unterricht*, 45, 410-414.
- Sumfleth, E. (1994). Research in Science Education. In P.L. Lijnse (Ed.), *European Research in Science Education. Proceedings of the first Ph. D. Summer-school*, Utrecht, CDB-Press.
- Sumfleth, E. and H.-D. Körner (1992). Bildhaftigkeit und Abstraktheit chemischer Begriffe aus der Sicht der Lernenden. In K.H. Wiebel (Hrsg.), *Zur Didaktik der Physik und Chemie*, Alsbach, Leuchtturm.
- Sumfleth, E. and H.-D. Körner (1993). Wodurch wird "Atom" zum konkreten Begriff? *Bildhaftigkeit und Abstraktheit chemischer Begriffe*. In H. Kramers-Pals und G. Niehaus (Hrsg.), *Chemiedidaktische Forschung - Lopend Onderzoek in de Chemiedidactiek*, Essen, Westarp-Wissenschaften.

- Todtenhaupt, S. (1986). *Das Schülerwissen über die Redoxproblematik zu Beginn der Sekundarstufe II*. Schriftliche Hausarbeit im Rahmen der Ersten Staatsprüfung für das Lehramt für die Sekundarstufe II, Essen.
- Todtenhaupt, S. (1995). *Zur Entwicklung des Chemieverständnisses bei Schülern*. Frankfurt, Lang
- Voorde, H. ten (1983a). Das Entstehen des Chemiekontextes im Chemieunterricht. *chimica didactica*, 9, 129-137.
- Vos, W. de and A.H. Verdonk (1987). A new road to reactions, part 4: The substance and its molecules. *Journal of Chemical Education*, 64, 695-697.
- Weninger, J. (1982). Das Denken im Kontinuum und im Diskontinuum. Teil 1/Teil 2. *Der Mathematische und Naturwissenschaftliche Unterricht*, 35, 193-200/268-273.
- Westbrook, S.L. and E.A. Marek (1991). A cross-age study of student understanding of the concept of diffusion. *Journal of Research in Science Teaching*, 28, 649-660.
- Westbrook, S.L. and E.A. Marek (1992). A cross-age study of student understanding of homeostasis. *Journal of Research in Science Teaching*, 29, 51-61.
- Zoller, U. (1990). Students' Misunderstandings and Misconceptions in College Freshman Chemistry (General and Organic). *Journal of Research in Science Teaching*, 27, 1053-1065.

Scientific Research into Chemical Education in Utrecht

Wobbe de Vos
Department of Chemical Education
CD- β , Utrecht University

1. Introduction

The theme of this book, "Visies op chemiedidactiek als wetenschap", has been translated into English as "Perspectives on Research in Chemical Education". The Dutch title not only claims that there is such a thing as scientific research into chemical education but it also suggests that such research constitutes a scientific discipline ('wetenschap') in its own right. Is there such a thing as a scientific discipline that examines how chemistry is being taught and learnt? Is this discipline being practised in Utrecht? And if so, what approach to studying this research object has been adopted in Utrecht?

In this chapter I will try to answer these questions. It is a personal answer, in the sense that although I will refer to the work of our department as a whole, I do not write on behalf of the department. It is also personal in another sense: my view is determined to a large extent by my own experience as a member of the department and especially by my co-operation with Adri Verdonk. Adri was a chairman who guided the department in his own inimitable way, which means that on the one hand he inspired every individual member of the group while he himself, in a miraculous kind of way, always managed to paint a coherent overall view of the field in which everybody's work seemed to occupy a unique and crucial position, but on the other hand he often complained about the heterogeneity of the group, yet stubbornly refused to impose a common view or even a common approach or procedure. Instead, he often explained that research can only prosper if the researchers believe in what they do. If they believe in different things one should not try to force them into one line but rather encourage them to listen to one another and learn from one another whenever possible. Therefore, my personal view, strongly influenced by others as it certainly is, is just one view in a rich diversity.

2. Criteria

Is there a scientific discipline that deserves the name 'chemiedidactiek' (chemical education research) and does it exist in Utrecht? In order to answer these questions one first has to establish criteria for identifying a scientific discipline. I will consider six such criteria and then examine to what extent the work of our department complies with each of them. Obviously, this does not mean to imply that chemical education research, if it is a scientific discipline, exists only in Utrecht. The rest of this book shows otherwise. However, I will try to answer the question for our own group.

A scientific discipline, as I see it, should show at least the following characteristics:

1. An institution in which the research is located;
2. A properly defined field of research;
3. An independent research forum;
4. A research method;
5. Results.

An additional characteristic that applies in this case is:

6. Applicability of results.

Each of these characteristics will be briefly discussed below.

1. Institution

There must be a stable *institution* that can guarantee continuity in research work. The institution may be completely independent or it may be embedded in a wider scientific organization. In Utrecht, the institution is the Department of Chemical Education. It was established in 1982 by Adri Verdonk and Olle van Sprang as one of the departments of the faculty of chemistry. Adri, who became the department's chairman, was a respected and experienced chemical researcher and some of his colleagues were surprised to see him take up the challenge of scientific research into chemical education instead of continuing a promising research career in inorganic chemistry. As I saw it, it was not a good-bye to chemistry and it was not intended as such. Verdonk has always been fond of chemistry and, having taught it at secondary school level as well as at the university, he felt that his research experience in chemistry would enable him to set up a research programme in chemical education that might contribute to solving some of the problems he had been confronted with. In his view, this was just another way to be active in chemistry.

The department's links with the faculty of chemistry are still very strong. All members in the department staff have been trained as chemists, most of them in Utrecht, and some are involved in teaching chemistry within the faculty. Members of the department staff have always been involved in teaching chemistry within the faculty. It should, therefore, not be surprising that chemistry plays an important role in the department's research activities.

From the start there has been a close cooperation with the Department of Chemical Education of the University of Amsterdam, headed by Henk ten Voorde. Adri Verdonk has agreed to act as a supervising professor for four PhD researchers in Amsterdam, one of whom (Joling) has already defended his thesis.

There is, of course, also a strong relationship with the social sciences since what we actually study is not chemistry but knowledge about chemistry and how people learn, teach or otherwise communicate such knowledge. There are no formal links with the Faculty of Social Sciences, but the department closely cooperates with IVLOS, the Teacher Education Institute of Utrecht University. The Teacher Education Institute was involved in establishing the department in 1982 and from the beginning some staff members of the Institute are working within the department on a permanent basis.

Chemistry, biology and physics are by tradition distinct scientific disciplines, but it does not follow automatically that the study of biology, chemistry and physics education and maybe even mathematics education should require three or four separate institutions. Therefore, in Utrecht, as in many other places, a science and mathematics education centre has been established. In 1989 the department was a co-founder of CSMEU, the Centre for Science and

Mathematics Education of Utrecht University. Some years before, three of the departments had already initiated a research programme in science education entitled 'Concept Development and Curriculum Research in Science and Mathematics Education'. This programme was submitted for approval to two inspection committees, one from the natural sciences and one from educational research, and was accepted in both cases.

2. Research field

A scientific discipline must have a *research field*, a 'territory' that is properly defined and demarcated from other fields. This research field should present a central research problem, i.e. there must be something to investigate, a question to be answered, a task to be accomplished.

Obviously, the field of research could be defined as 'chemical education'. This definition refers to activities in schools or at the university in which chemistry is supposed to be taught and learnt. There is, however, another definition of the field of research that has been suggested by Henk ten Voorde. In this view, chemical education research should address 'relations between chemistry and education'. In my interpretation (which does not necessarily coincide with Ten Voorde's), this is a somewhat wider definition than the first one. Relations between chemistry and education include, for example, the fact that the content of a chemistry curriculum is derived from chemistry and the process of selecting and restructuring concepts constitutes an interesting research theme. And, another example, since every chemist is a product of chemical education another possible research theme is to examine how chemistry learned in school is used in practice. These examples indicate that the definition takes into account chemists and chemistry. The field covers questions about justification of curriculum content from a chemical point of view, and about the chemical knowledge of chemists, including the teacher and the researcher himself or herself.

In a very wide interpretation, the definition might even enable the educational researcher to contribute to chemical research. After all, modern chemical research is team work and as such it involves communication between researchers. New chemical concepts and procedures are being developed, explained and accepted or rejected by the community of researchers. Research questions, hypotheses and outcomes are being formulated and discussed. There is learning as well as teaching going on at the frontiers of chemical research. The educational researcher might be able to contribute to efficient communication between chemical researchers by studying, for example, the development of a particular new concept and helping to achieve consensus about its meaning.

Ten Voorde's definition has found general acceptance within the department. Although the department does not give up its claim on contributing to chemical research, its research up to now has always focused on chemical education in the usual sense, either at secondary school level or at the university. However, the research activities always include a thorough analysis of relevant chemical concepts and procedures. Such an analysis often covers historical as well as philosophical aspects of a concept.

How is the field demarcated from chemistry itself? Whereas research chemists as well as students struggle to gain a better insight into chemical phenomena, we are interested in getting a better insight into the struggle. Since both chemical research and chemical education make use of laboratories, it is not surprising that chemical education research also involves laboratory work. A typical laboratory activity, which might be defined as 'educational chemistry' or

'educational chemical research' aims at sorting out how a particular chemical phenomenon can be demonstrated to students in such a way that it is safe, cheap, not too time-consuming and, last but not least, instructive. Such work is essentially a chemical activity, comparable to pharmaceutical or technological chemistry, since it aims at finding a chemical solution to a problem that has been formulated outside the field of chemistry. We think it is an essential part of our work.

Another demarcation problem is between chemical education research on the one hand and biology, mathematics and physics education research on the other. The reasons for distinguishing between these research fields are rather pragmatic. The main reason is that most researchers have been trained in only one of the four disciplines. In an educational context even so-called simple concepts require an intimate knowledge of the subject in question. Nevertheless, the research activities in the various disciplines have much in common. An important motive for establishing the Centre in 1989 was that it could contribute to reducing the barriers between the disciplines. It is now common practice that progress in the various research projects is being discussed in meetings not only at the department level but also at the level of the Centre as a whole.

3. Forum

There must be a community of researchers that can act as an independent forum and, consequently, there must also be a means of communication within that community.

Although chemical education is a research object in some other Dutch universities, the total amount of chemical education research in this country is too small for a really independent forum to exist at the national level, even if Flanders (the Dutch speaking part of Belgium) is included. This implies that Dutch cannot be the language, or rather, not the only language, for publishing scientific papers in this field. This explains why the department has decided that future PhD theses will be written in English. Papers and lectures may be in English or in German as well as in Dutch. Articles in Dutch are usually being published in 'Tijdschrift voor Didactiek der β -wetenschappen' (TD β), the Dutch journal for research in science education.

Apart from the fact that English and German are foreign languages for the members of the department, there is an additional difficulty in the fact that the research material itself is almost exclusively collected in the Netherlands. This creates translation problems, especially where spontaneous group discussions in students' spoken language are concerned. Such problems go beyond the normal difficulties of, say, chemical researchers who communicate in Dutch and then have to report their results in English. In our case, the data themselves are in Dutch. Some discussions are almost impossible to translate without losing the essence of what was said. Besides, the research situation is, at least to some extent, determined by the Dutch educational system. Some of students' questions or statements are undoubtedly universal, but others may be induced by a national curriculum, a school system or even cultural factors. Consequently, some research problems may be country bound and not even exist in a neighbouring country.

4. Research method

There must be a *research method*. If there is a field of research but no way to explore it, one cannot maintain that there is a scientific discipline.

Any research method in this field is based on two assumptions. The first assumption is that a student does not learn in a completely unpredictable and incoherent way. The learning process of an individual student shows some kind of structure that somehow manifests itself in the way the student behaves. Therefore, it is meaningful for the researcher to try and understand and describe the learning process by interpreting what the student says and does. The same must be true for the teacher and the teaching process.

The second assumption is that individuals engaged in teaching and/or learning chemistry (and in investigating these processes!) have common characteristics. If not, it would be impossible to make statements about learning that go beyond the learning of an individual person. Each individual learner or teacher would require his or her own research project.

These assumptions still allow for a wide variety of research approaches and indeed there is some variety within the department. However, in general terms one can say that the various chemical education research projects in Utrecht do have common characteristics. The most important of these characteristics are:

- Research data are being collected in the actual situation in which chemistry is supposed to be taught and learnt and not, or not predominantly, in pretests and posttests. The situation may be a traditional type of education or it may be experimental with teaching material especially designed for the research project. It may also be an in-service or pre-service course in chemical education, with teachers or future teachers as students. In the case of an educational experiment, students are usually working in small groups. From the researchers point of view, one of the advantages of having students work in small groups is that they tend to frequently engage in spontaneous group discussions, thereby expressing their observations, ideas and questions more freely than in class discussions.

Usually, the research data include audiotape recordings of such discussions, with or without a teacher taking part. In some cases the researcher engages in discussions with students in order to ask for clarification, e.g. about the meaning of a concept or about the reason why a particular question was asked or a specific answer given. As far as the discussions are relevant for a research project, they are being written out in the form of protocols or transcripts that are available for analysis.

Other research data consist of answers written by students or notes made by the researcher while observing students' behaviour, e.g. during laboratory work. Videotape recordings have also been made.

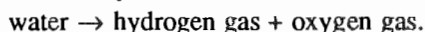
Interviews and questionnaires play a much less important role in the department's research, since they provide rather indirect information about the actual process of teaching and learning chemistry.

- *Analysis* of the research material often focuses on interpreting the various meanings that a concept may have. Whereas chemists almost automatically interpret a word or an expression in a way that is adequate from a chemical point of view, students often show a much wider diversity in their interpretation of chemical terminology. Distinguishing between

right and wrong is often the least interesting way to analyse their interpretations. It is much more important to try and understand why a specific expression has been used in a specific situation. Two examples will be given to demonstrate this.

In an experimental course in elementary chemistry, students were provided with a series of jars containing various substances. They were asked to say, after careful observation of the content of each jar, whether they thought it contained one substance or a mixture of substances. One of the jars contained potassium dichromate, which consists of orange crystals. To our surprise, some groups immediately responded that this was clearly a mixture. When asked to explain their answer, they said the art teacher had told them that orange is a mixture of red and yellow, and they concluded that therefore an orange substance must be composed of a red component and a yellow one. The fact that they could not actually see these two components was not considered to be decisive. (In fact, some students reported that they *did* see two components, a red one and a yellow one; the researcher then noted that the jar contained large crystals as well as fine powder and that the larger crystals are rather dark orange, almost red in colour, while the powder is much lighter and in fact almost yellow.)

In another, traditional course, students witnessed electrolysis of water in Hofmann's apparatus. The teacher explained that hydrogen gas was being formed at one electrode and oxygen gas at the other electrode. The electrodes were about twelve centimetres apart. The reaction was represented on the blackboard by a reaction scheme:



Both gases were said to be decomposition products of the water. Then one student wanted to know the exact place where the water was supposed to decompose. This student could not understand how hydrogen and oxygen could be formed from the same substance at two different places. The teacher was unable to point out where the water decomposed. In fact, he could only admit that this reaction differed from other reactions that had been shown in that it did not proceed at one particular spot. Students then decided that the reaction scheme on the blackboard was misleading since it suggested (at least to them!) that somewhere in the apparatus water was being converted into two gases in one process.

The examples show that so-called simple concepts may contain hidden educational problems and that listening to students can help to reveal these problems. The first example is part of an 'educational analysis' of the substance concept, while in the second example the reaction concept is submitted to such an analysis.

- After making an educational analysis of relevant concepts, the researcher is able to suggest changes in the teaching material that might either solve students' learning problems or avoid them. A first round of a *repetitive process* of analysis of concepts and reviewing of teaching material has now been completed. In practice, each cycle usually takes a whole year

since most topics are taught only once a year in schools. At the faculty of chemistry of Utrecht University some laboratory experiments are being offered to small groups of students several times a year, enabling the researcher, at least in principle, to work in shorter cycles. The whole procedure will result in a thorough educational analysis of a series of chemical concepts on the one hand and high quality teaching material on the other. The process is reported upon in a thesis or by other means of publication.

A PhD research project normally covers four years. Most PhD students at the department work on a four days a week basis, which gives them an additional year for their research project. As a result, projects usually include three or four cycles of research activities.

The research method could be described as empirical and qualitative. The research data have a high reality content in the sense that they, more than interviews and questionnaires or pretests and posttests can do, reflect what actually happens in the classroom. On the other hand, the data do not make good material for statistical analysis. We do know that some students believe potassium dichromate, because of its orange colour, to be a mixture, but we do not know whether twenty percent or sixty percent or any other percentage of the students believe this. In our approach, however, it is important to know that there *are* students who believe such things since this contributes to the educational analysis of concepts such as substance, pure substance and mixture. It would be very difficult for the researcher to think up such a view without listening to real students.

5. Results

The existence of the research programme entitled 'Concept Development and Curriculum Research in Science and Mathematics Education' has been mentioned already. Now the question should be asked: has something been achieved within that programme? There must be research results and, moreover, also some intrinsic form of progress to report.

In the first place, there is of course an accumulation of research outcomes, a growth of knowledge. Eight PhD researchers have now published their theses under Adri's professorial supervision in Utrecht and, as Adri has volunteered to continue his supervising activities for some time after his retirement, four more are likely to follow within a few years. The theses show that an ever increasing number of chemical concepts and procedures have been analysed and several teaching and learning problems have been identified, examined and (though not in all cases) solved.

Topics that have been or are being covered are:

- the particulate nature of matter (De Vos, 1985)
- chemical synthesis (De Jager, 1985; Elzenga, 1991; Van Keulen, 1995)
- the element concept (Vogelezang, 1990)
- stoichiometry and the mole concept (De Jong, 1990)
- chemical equilibrium (Van Driel, 1990)
- measurement (Goedhart, 1990)
- chemical structure and bonding (Van Hoeve-Brouwer, planned 1996)

- teachers' conceptions and activities in electrochemistry (Acampo, planned 1996)
- the conceptual structure of chemistry curricula (Van Berkel, planned 1996).

This list indicates what might be called progress in width: apart from chemical synthesis, each research project seems to address a new topic from the syllabus. But there is also progress in depth: the content of the theses shows that the department's approach itself has developed over the years. In 1981 the department started from an archipelago model of chemical education. Various topics from the syllabus were selected as research topics for various reasons. There was not yet a coherent view on the level of the curriculum as a whole. We have gradually moved to a coherent approach which allows us to ask more fundamental and general questions both about the role of the chemistry teacher and about the chemistry curriculum and its underlying conceptual structure. This has also enabled us to identify alternative curriculum structures and consequently to contribute to a discussion about the future content and justification of chemical education.

The ultimate form of progress in any scientific discipline is the development of a theory. Small scale, topic-specific theories can be distinguished in the various theses that have been published. Such theories are usually called 'educational structures'. They describe in general terms how the teaching and learning processes interact in the case of a specific topic. There is, for instance, Van Driel's distinction of four successive steps in the teaching and learning of a qualitative chemical equilibrium concept. These steps are the reversibility and the incompleteness of some chemical reactions and the dynamic nature and the stability of chemical equilibria. Empirical research suggests that each of these steps builds upon the previous step and prepares for the next one. Other theses describe similar topic-specific educational structures or 'proto theories'.

Van Berkel represents the department's first attempt to cover the entire general chemistry curriculum. This includes the question of how to legitimate the existence of chemistry as a subject in secondary schools. In Van Berkel's work, a theory on traditional chemistry curricula is gradually beginning to emerge.

6. Applicability

It is not essential for all scientific research that its outcomes are being used in one way or another. One can do research into, say, the origin of the universe in a way that is perfectly scientific even if the results are never put into practice. On the other hand, all medical research is supposed to contribute to the cure of patients, either directly or indirectly. In this respect, chemical education research is comparable to medical research. If one claims to perform research into chemical education then students and teachers may expect to get a chance to benefit from the results.

There are some channels for communicating research outcomes to the classroom. One is through teacher education. In Utrecht, research outcomes of the department are integrated into the pre-service teacher education course as well as into in-service courses.

Another channel is curriculum development. Several ideas that resulted from the department's research projects have found their way into school books and official documents. There is a tendency, however, for the research outcomes to demand more drastic changes in the curriculum than the educational system seems to be able to absorb. There is some irony in the fact that our own research

into the stability of the traditional curriculum and its built-in resistance to change explains why our most fundamental and far-reaching curriculum recommendations are not easily put into practice. Taking our own analysis seriously, we will have to accept that, at least for the time being, research outcomes will meet with some resistance if they affect the hard core of the traditional school chemistry curriculum.

3. Future

At the moment of Adri's retirement the future of the department is somewhat obscure, mainly because a successor has not yet been appointed. This creates room, however, for painting an imaginative and at the same time realistic picture of the future of the department.

In the first place, being a university institution, the department will continue to consider research as its central activity. It will also remain part of the Centre of Science and Mathematics Education and attempt, as before, to integrate its research and other activities with those of the other CSMEU departments wherever possible. The gradual shift to publishing about research on the international level as well as in Dutch will also be continued. Whereas most theses up to now have been written in Dutch, future theses will be in English. Members of the department will increasingly participate in international conferences and be ready to make contributions to conference programmes whenever that is meaningful.

As far as chemical education in the Netherlands is concerned, we feel that our research work has important implications for the future development of school chemistry. The department will have to find ways to do its share in a fundamental curriculum innovation process that has already started in a sometimes intuitive and somewhat incoherent way. Making use of its research outcomes the department can contribute to this innovation process by providing a conceptual framework that can facilitate the selection and structuring of curriculum content.

There will be changes after Adri's retirement, even if research will remain the central activity of the department. The most important changes are a stronger emphasis on application of research outcomes, especially in curriculum development, and a stronger tendency to engage in curriculum innovation activities. But the changes are a logical consequence of what has been achieved in the previous period. The changes would also have occurred if Adri had not retired. They reflect a natural development that is inherent to doing research of this type: one can not forever accumulate knowledge about chemical education without feeling the necessity of putting the results somehow into practice.