

## Het isolement van de schoolscheikunde

W. de Vos, B. van Berkel en A.H. Verdonk  
Vakgroep Chemiedidactiek  
CD-B, Universiteit Utrecht

### Summary

*A conceptual structure underlying the traditional chemistry curriculum in secondary education has been described by two of the authors earlier in this journal. In the present paper this structure is used as a tool for analyzing some of the problems facing chemical education at secondary school level. The authors look at the content of school chemistry from the point of view of modern chemical research, technology, society, the teacher and the student. They argue that school chemistry has become alienated from modern chemical research, from technology and from society in general and that consequently there is little justification for teaching the current content of the curriculum.*

### 1. Inleiding

In twee eerdere artikelen (De Vos & Verdonk, 1990, 1991) is in TDB aandacht gevraagd voor een verborgen vakstructuur die ten grondslag zou liggen aan de inhoud van het schoolvak scheikunde, zoals dat vroeger aan HBS en gymnasium en tegenwoordig aan scholen voor mavo, havo en v.w.o. wordt onderwezen. In het tweede artikel werd een *spanning* (Fensham, 1992b) gesignaleerd tussen deze traditionele vakstructuur en de huidige, algemeen-maatschappelijke doelstellingen van het schoolvak.

Dit artikel kan worden beschouwd als het derde in de reeks. Het biedt een nadere analyse van de positie waarin het schoolvak verkeert en poogt op basis van deze analyse enkele problemen te verhelderen.

### 2. Vakstructuur

In leerplannen en examenprogramma's wordt per natuurwetenschappelijk schoolvak een opsomming gegeven van te onderwijzen begrippen en werkwijzen. Hoewel in deze documenten wel een bepaalde volgorde en soms ook een hiërarchie zichtbaar is, blijft een expliciete aanduiding van onderlinge samenhang tussen de verschillende begrippen en werkwijzen gewoonlijk achterwege. In een recente publicatie van het IUPAC Committee on Teaching of Chemistry (1993) worden betekenissen van belangrijke chemische begrippen (acid, atom, chemical bond, etc.) besproken, echter zonder een overkoepelende samenhang aan te geven waarin al deze betekenissen passen.

Toch is deze samenhang wezenlijk: ieder begrip ontleent zijn betekenis en iedere werkwijze zijn zin aan relaties met andere begrippen en werkwijzen. Zolang deze samenhang of 'context' niet wordt aangegeven, blijven voor elk begrip en elke werkwijze talrijke interpretatiemogelijkheden open en ligt de inhoud van het onderwijs niet vast.

Men zou nu kunnen veronderstellen dat er per natuurwetenschappelijk schoolvak slechts één specifieke, eenduidige, alle begrippen en werkwijzen van dat vak omvattende samenhang bestaat en dat die met de wetenschappelijke opleiding of de lerarenopleiding wordt meegegeven en zo de individuele docent in staat stelt het examenprogramma en het daarop gebaseerde leerplan voor zijn of haar vak te interpreteren zoals het door de samenstellers is bedoeld. Explicitering van deze samenhang in examenprogramma's en leerplannen zou dan overbodig zijn. Navraag bij enkele docenten is echter voldoende om aan deze veronderstelling althans voor het vak scheikunde te gaan twijfelen: zij blijken weinig samenhang in grote lijnen te kunnen aangeven in het vak dat zij onderwijzen en voorzover zij daartoe pogingen doen, komen deze onderling maar matig overeen. Ook blijkt het voor docenten moeilijk om aan te geven hoe een bepaald begrip of een bepaalde werkwijze past in een groter geheel. Bovendien roepen dergelijke vragen een zekere verbazing op: men heeft het kennelijk nooit nodig gevonden zich af te vragen hoe het eigen vak in elkaar zit.

Dan nog blijft de mogelijkheid bestaan dat een samenhang van begrippen en werkwijzen in het schoolvak op een impliciete wijze aanwezig is. Dat wil zeggen: de docenten zijn zich van een samenhang niet bewust maar door hun opleiding binnen een gemeenschappelijke traditie interpreteren zij het examenprogramma en het leerplan allen op dezelfde, voor hen vanzelfsprekende wijze (Garforth, 1983). De bovenbedoelde diversiteit in antwoorden en de verbazing over de vraag zijn dan verklaarbaar vanuit de stelling dat vanzelfsprekende, onbewuste kennis zich heel moeilijk onder woorden laat brengen.

Maar als er zo'n verborgen samenhang bestaat, dan moet deze op de een of andere wijze door analyse zichtbaar gemaakt kunnen worden in de genoemde documenten, in schoolboeken en ook in feitelijke scheikundelessen. Het zou dan van belang zijn de samenhang te expliciteren, bijvoorbeeld om de validiteit ervan te kunnen beoordelen.

In het eerste van de bovengenoemde TDB-artikelen is een poging gedaan een samenhang van chemische begrippen, die wij 'vakstructuur' hebben genoemd, voor het vak scheikunde in het voortgezet onderwijs te beschrijven. Deze vakstructuur heeft de status van een constructie die is gebaseerd op in schoolboeken aangetroffen partiële samenhangen. Een ontwerp van een leerplan waarin zulke fragmenten zijn samengebracht tot een consistent, op verklaringen van chemische reacties gericht geheel zal verschijnen in het Journal of Chemical Education (De Vos, Van Berkel & Verdonk, 1993). Wij kennen geen andere

wijze waarop de inhoud van de klassieke 'inleiding tot de scheikunde' in een consistent geheel kan worden samengebracht<sup>1</sup>.

De vakstructuur die wij beschreven hebben, kent enkele uitgangspunten die sterk bepalend zijn voor de interne samenhang van het geheel maar die tegelijkertijd ook beperkingen opleggen aan de doelstellingen van het erop gebaseerde scheikunde-onderwijs. Het belangrijkste uitgangspunt is dat scheikunde een (natuur)wetenschap is en daarom als wetenschap wordt onderwezen. Dit leidt ertoe dat leerlingen worden beschouwd als toekomstige wetenschapsbeoefenaars die aan het begin van hun opleiding staan. De wetenschapsopvatting die hieraan gekoppeld is, houdt in dat een wetenschap gekenmerkt wordt door (a) een afgebakend onderzoeksterrein, (b) een verzameling onderzoeksmethoden en (c) een cumulatieve hoeveelheid kennis, bestaande uit ware feiten en theorieën, als resultaat van reeds door anderen verricht onderzoek. Leerlingen worden in deze opvatting geacht, nadat het onderzoeksterrein aan hen duidelijk is gemaakt, de methoden te oefenen en de feiten en theorieën te leren. Dit uitgangspunt, met de eraan gekoppelde wetenschapsopvatting, maakt een consistent scheikunde-leerplan mogelijk, dat het karakter heeft van een inwijding in chemie als wetenschap. Binnen het door ons ontworpen leerplan is een op wetenschapsbeoefening als *proces* gerichte benadering weliswaar mogelijk is, maar in de praktijk van het onderwijs blijkt dat de nadruk sterk komt te liggen op *resultaten* van wetenschapsbeoefening.

Hoewel de uitgangspunten herkenbaar zijn in schoolboeken beweren we niet dat de door ons beschreven vakstructuur ooit expliciet als grondslag voor het schoolvak is gekozen. We willen die keuze ook niet zonder meer aanbevelen. Voor ons is de vakstructuur in de eerste plaats een analyse-instrument en pas in de tweede plaats, onder bepaalde voorwaarden, een mogelijk structureringsmiddel bij onderwijsontwikkeling, bijvoorbeeld in het kader van het Curriculum Reform in Chemistry Project (Rickard, 1992). We menen nl. met behulp van deze vakstructuur een aantal problemen die kenmerkend zijn voor de positie waarin het schoolvak momenteel verkeert, te kunnen analyseren. Tot die problemen rekenen we het niet bereiken van gestelde doelen, vooral in de onderbouw (Joling e.a., 1988; Fensham, 1992b) en klachten over saaiheid, overladenheid en gebrek aan zichtbare relevantie van het programma. Bovendien is de belangstelling van leerlingen voor een universitaire scheikundestudie relatief klein<sup>2</sup> en signaleren de vervolgopleidingen problemen bij de aansluiting. Op een meer afstandelijk niveau kan ook de ontwikkeling van het schoolvak zelf als een probleem worden gezien: hoe vinden inhoudelijke vernieuwingen plaats en welke mechanismen spelen daarbij een rol?

In onze analyse vergelijken we kenmerken van het schoolvak, voorzover het de bovengenoemde vakstructuur weerspiegelt, met de doelstellingen die tegenwoordig aan dat schoolvak worden opgelegd. De vergelijking heeft betrek-

king op de *inhoud* van het vak, voorzover die is vastgelegd in examenprogramma's en leerplannen en zichtbaar wordt in schoolboeken, examens en lessen. We kiezen voor onze analyse vijf gezichtspunten: chemie, technologie, maatschappij, docent en leerling. Voor elk van deze vijf gezichtspunten zoeken we een legitimering van de inhoud, en in het verlengde daarvan ook van het bestaan van het schoolvak.

### 3. Chemie

Kunnen we de inhoud van het schoolvak legitimeren door te verwijzen naar de chemische wetenschap? Welke relatie is er tussen schoolchemie en wetenschappelijke discipline? Naar onze mening is die relatie tamelijk zwak. Dit kan bijvoorbeeld blijken uit het spreekwoordelijke advies dat de hoogleraar bij het begin van het eerste-jaars college chemie aan zijn studenten geeft, om alles wat ze op school hebben geleerd maar meteen te vergeten omdat aan de universiteit toch alles anders zal blijken te zijn. Voor een deel is dat ook zo: studenten hebben vaak moeite de beelden van de bouw van atomen die ze op school hebben geleerd te vervangen door de modellen die aan de universiteit worden onderwezen en de evenwichtsconstante  $K$ , die op school alleen afhangt van de temperatuur, blijkt zich aan de universiteit heel anders te gedragen.

Anderzijds verbazen chemische onderzoekers zich nogal eens over de in hun ogen merkwaardige scheikunde die hun kinderen op school moeten leren. Hedendaagse chemische onderzoekers maken zich niet druk over het onderscheid tussen chemische en fysische verschijnselen, terwijl dat onderscheid in de schoolchemie een wezenlijke functie heeft bij de afbakening van het onderzoeksterrein van de chemie. Ook blijkt de moderne chemie, in tegenstelling tot de schoolchemie, geen scherpe definitie van begrippen als molecuul of element nodig te hebben. In werkwijzen is er eveneens verschil: analytisch-chemici identificeren een onbekende stof in een mengsel gewoonlijk via een spectrum, terwijl de schoolchemie zuivering gevolgd door bepaling van smeltpunt, dichtheid en andere eigenschappen van de zuivere stof voorschrijft. Zuren en basen, een klassiek hoofdstuk in het schoolvak en jaarlijks goed voor enkele examenvragen, vormen niet bepaald een zwaartepunt in het moderne chemisch onderzoek<sup>3</sup>.

Bij de opstelling en herziening van examenprogramma's en leerplannen in ons land worden slechts incidenteel chemische onderzoekers betrokken, evenals bij het schrijven van schoolboeken. De eindexamenopgaven voor v.w.o. worden jaarlijks door een universitair chemicus beoordeeld, echter niet op hun relevantie t.a.v. chemisch onderzoek maar alleen op hun chemische correctheid. De Koninklijke Nederlandse Chemische Vereniging (KNCV), de beroepsvereniging van chemici, stelt zich weliswaar een actieve begeleiding van onderwijs ten doel maar heeft in de praktijk geen samenhangende visie op het schoolvak in het voortgezet onderwijs. De stichting Scheikundig Onderzoek in Nederland (SON),

die de tweede geldstroom voor chemisch onderzoek beheert, ziet het stimuleren van onderzoek naar chemie-*onderwijs* niet als een van haar taken.

Onze conclusie is dat de moderne chemie qua inhoud niet sterk met het schoolvak is verbonden. Dit lijkt in strijd met het eerder geformuleerde uitgangspunt dat scheikunde in de scholen als wetenschap wordt onderwezen en dat het vak zelfs het karakter zou hebben van inwijding in wetenschap. Dat uitgangspunt kunnen we echter handhaven door de schoolchemie in verband te brengen met de wetenschappelijke chemie *uit het verleden*, met name uit de negentiende eeuw. Dat is ook de periode waarin het schoolvak is ingevoerd. (In ons land was dat omstreeks 1860, toen de HBS werd opgericht.) Vergeleken met de huidige situatie bevond de chemische wetenschap zich toen nog in een zeer pril stadium van ontwikkeling. Het aantal onderzoeksmethoden was nog beperkt en de verzamelde kennis, met name die in de vorm van theorieën, nog redelijk overzienbaar<sup>4</sup>. Ook was de leerlingenpopulatie toen nog beperkt tot een maatschappelijke elite waarvoor een carrière in wetenschap, techniek of handel niet ongebruikelijk was.

De ontstaansperiode maakt een aantal kenmerken begrijpelijk die het schoolvak ook nu nog heeft, zoals de gerichtheid op zuivere stoffen (elementen en verbindingen) en op analyse, met name in waterige oplossingen, en ook op classificatie van stoffen, waarvan zuren en basen een schoolvoorbeeld vormen. Wat dit laatste betreft: voordat het periodiek systeem werd gepubliceerd was de indeling van chemische kennis sterk beïnvloed door Lavoisier, die een indeling van elementen in metalen en niet-metalen hanteerde, waarbij de metalen via hun oxiden werden gerelateerd aan basen en de niet-metalen, eveneens via hun oxiden, aan zuren. In deze visie namen zuren en basen dus een zeer centrale plaats in het chemisch denken in en dat rechtvaardigde een centrale plaats in de schoolchemie. Toen het periodiek systeem als organiserend beginsel in de schoolboeken doordrong, bleven zuren en basen als vanzelfsprekend hun positie behouden. Dat bleef zo toen de school later de ontwikkeling van het zuur-basebegrip in de wetenschap door Arrhenius, Brønsted en Lewis op enige afstand volgde.

Het voorbeeld van zuren en basen en de nadruk op zuivere stoffen, elementen en verbindingen suggereren dat de schoolchemie weliswaar moderne ontwikkelingen in de wetenschappelijke chemie kan opnemen, maar daarbij vasthoudt aan een begrippenstructuur uit de negentiende eeuw. Deze negentiende-eeuwse begrippenstructuur kan worden gezien als een oorspronkelijke versie van onze vakstructuur die dus over een zeer lange periode een zekere stabiliteit vertoont.

In dit verband dringt zich een vergelijking op met een theorie over de ontwikkeling van de menselijke hersenen in de biologische evolutie. Hierbij worden drie hersendelen onderscheiden. Het diepst-liggende, 'oudste' deel komt voor bij reptielen, vogels en ook bij andere zoogdieren dan de mens en regelt o.a. agressief gedrag, verdediging van territorium en het vaststellen van sociale

rangorden. Het 'jongere' deel daarbovenop, dat het limbisch systeem wordt genoemd, komt alleen voor bij zoogdieren en is o.a. gekoppeld aan emoties en gemoedstoestanden. Daar weer bovenop bevindt zich bij de mens het 'jongste' deel, de neocortex die o.a. met rede en intelligentie in verband wordt gebracht. De drie delen zijn betrekkelijk los met elkaar verbonden en functioneren elk op hun eigen wijze, waarbij soms het ene, dan weer het andere domineert. Het gaat ons hier niet om de juistheid of de waarde van de theorie en ook niet om de volledigheid bij het weergeven ervan. Van belang is het principe dat in de loop van de evolutie oude systemen niet worden vervangen door nieuwe, maar dat het nieuwe zich bovenop het oude ontwikkelt. In de ontwikkelingen in het schoolvak vanaf de vorige eeuw is ditzelfde principe waar te nemen.

#### 4. Technologie

De relatie tussen schoolchemie en technologie wordt geïllustreerd door de ervaring van een leraar die met een derde klas een waterleidingbedrijf bezocht in het kader van het hoofdstuk over zuiveringstechnieken. De leerlingen raakten in verwarring toen tijdens de rondleiding werd verteld dat men het water zuivert door er verschillende stoffen aan *toe te voegen*. In de context van de schoolchemie betekent 'zuiveren' van water immers het *verwijderen* van alle andere stoffen. Bij het waterleidingbedrijf is zuiveren echter een technologisch begrip: het water is zuiver wanneer het aan een aantal wettelijk vastgestelde eisen voldoet, o.a. met betrekking tot smaak, kleur, helderheid en samenstelling. De samenstellings-eisen zijn geformuleerd in termen van maximale en (bijvoorbeeld t.a.v. zuurstof) minimale concentraties van bestanddelen. In de schoolchemie worden de zuiveringstechnieken echter behandeld ter voorbereiding van het begrip 'zuivere stof' dat een sterk theoretische betekenis heeft: het correspondeert met 'molecuulsoort' en legt de basis voor de chemische nomenclatuur en voor het reactiebegrip. De leraar had zich dit verschil in betekenis niet gerealiseerd.

Er wordt vaak verondersteld dat technologie toegepaste wetenschap is en dat de studie van wetenschap inzicht in technologie mogelijk maakt. Gardner (1992) heeft in dit tijdschrift laten zien dat technologie slechts in zeer beperkte zin toegepaste wetenschap is maar in veel opzichten een eigen denkwijze, een eigen geschiedenis en eigen betekenissen van woorden kent. Van dat laatste is 'zuiveren' een voorbeeld.

Er zijn talrijke andere voorbeelden. Zo wordt de stoommachine vaak als een toepassing van thermodynamische principes voorge-steld; de stoommachine is echter in de achttiende en de klassieke thermodynamica pas in de negentiende eeuw ontwikkeld. De schoolchemie heeft door haar gerichtheid op zuivere (negentiende-eeuwse) wetenschap slechts zwakke relaties met de technologie en zet, doordat dezelfde woorden in beide gebieden in verschillende betekenissen worden gebruikt, niet zelden de leerlingen op het verkeerde been. Een ander voorbeeld

daarvan is de term destillatie: in de schoolchemie een zuiveringstechniek, geïntroduceerd ter voorbereiding van het theoretische begrip zuivere stof, maar in de chemische technologie (bijvoorbeeld in de aardolie-industrie maar ook bij de productie van sterk-alkoholische dranken) een bereidingstechniek gericht op het maken van mengsels met een zeer specifieke samenstelling.

Hiernaast kunnen we opmerken dat de schoolchemie traditioneel sterk georiënteerd is op evenwichtsbeschouwingen, terwijl technologie de nadruk legt op processen. Het hoofdstuk over elektrochemie illustreert dit: in de scholen wordt veel gewerkt met combinaties van halfreacties en bijbehorende  $E^\circ$ -waarden, die verbonden zijn met strikte evenwichtscondities. Elektrochemische cellen worden als spanningsbron gezien en beschreven met behulp van de wet van Nernst. Dit is goed in overeenstemming met de plaats van de elektrochemie in onze vakstructuur: het onderwerp vertegenwoordigt daar de klassieke (evenwichts)thermodynamica die als bron dient voor een van de drie voorwaarden waaraan een chemische reactie moet voldoen (De Vos & Verdonk, 1990). In een op technologie gerichte benadering zou daarentegen aandacht gevraagd worden voor cellen als stroombron, met nadruk op stroomsterkte, vermogen, rendement, energie/massa-verhouding en bijvoorbeeld ook houdbaarheid en transporteerbaarheid.

Onze conclusie is dat door haar wetenschapsgerichtheid de schoolchemie slechts beperkt bijdraagt aan een beter inzicht van leerlingen in de technologische aspecten van chemie en dat in sommige gevallen de schoolchemie zelfs dat inzicht blokkeert. Pogingen technologische onderwerpen toe te voegen aan bestaand onderwijs vertonen het beeld van de biologische evolutie waarbij de oude context naast de nieuwe blijft bestaan. Betekenisveranderingen bij de overgang van de oude naar de nieuwe context worden daarbij dikwijls niet opgemerkt.

## 5. Maatschappij

Het schoolvak scheikunde kan zijn bestaansrecht niet ontleen aan de bijdrage die het levert tot de opleiding van chemici. Daartoe vormt het aantal leerlingen dat een studie of beroepsopleiding in die richting kiest, een te klein deel van de totale populatie (Hondebrink, 1992). Hoewel het schoolvak wel een oriëntatie op studie en beroepsuitoefening in de chemie kan bieden, moet de hoofdtaak toch zijn het onderwijzen van chemie aan toekomstige 'burgers' die in hun dagelijks leven, zowel in hun beroep als daarbuiten, met chemische processen en producten worden geconfronteerd.

Gevraagd naar de relevantie van hun vak voor toekomstige niet-chemici verwijzen scheikundeleraren gewoonlijk eerst naar milieu en persoonlijke veiligheid. Inzicht in chemie zou leiden tot meer verantwoord omgaan met giftige, brandbare of anderszins gevaarlijke stoffen. Ook de oordeelsvorming over maatschappelijke vraagstukken zoals zure regen, broeikas effect en afvalproblematiek zou naar

hun mening van het scheikunde-onderwijs kunnen profiteren. Buiten de sectoren veiligheid en milieu worden door leraren heel weinig mogelijke bijdragen aan het maatschappelijk bestaansrecht van hun schoolvak genoemd. Het vak lijkt daardoor in de ogen van veel leraren vooral te worden geassocieerd met dreigende gevaren en het leren vermijden daarvan.

Veiligheid en milieu zijn in de afgelopen jaren erkende thema's geworden in het schoolvak. Ook hier gaat echter de vergelijking met de ontwikkeling van de hersenen op: de genoemde thema's zijn niet gekozen als uitgangspunt voor de inrichting van een nieuw leerplan met bijbehorend nieuw examenprogramma, maar ze zijn op geschikte plaatsen in het bestaande leerplan eenvoudig toegevoegd. Het onlangs afgesloten nme-vo project richtte zich op "integratie van nme in de bestaande schoolvakken" (Van der Loo, 1991).

Net als bij de technologie zijn betekenisverschillen ook hier dikwijls onopgemerkt gebleven. Zo wordt het onderwerp zure regen behandeld bij het klassieke hoofdstuk over zuren en basen die, na een eerdere modernisering, worden gedefinieerd volgens Brønsted. Deze definities hebben als voordeel boven de vroeger gangbare dat de begrippen zuur en base ook betekenis hebben in andere situaties dan alleen in waterige oplossingen, bijvoorbeeld in vloeibare ammoniak of in de gasfase. Hoewel dit voor inzicht in het probleem van de zure regen volkomen irrelevant is, wordt ook hier het nieuwe (de zure regen) boven op het oudere (Brønsted) geplaatst. Voor de leerlingen ontstaan nu extra moeilijkheden, o.a. doordat volgens de Brønsted-definities water zelf een zuur (en bovendien een base) is<sup>5</sup>. Onze conclusie is dat, net als bij de relatie met technologie, de nieuwe ambities van het schoolvak zich moeilijk laten verenigen met de klassieke wetenschapsgerichtheid.

We willen verder nog vermelden dat in de maatschappij zelf de chemie in de media dikwijls in verband wordt gebracht met ongelukken en dreigend gevaar, terwijl vanuit de chemische industrie wordt geprobeerd de negatieve beeldvorming te corrigeren. Dit laatste gebeurt o.a. door de Vereniging van de Nederlandse Chemische Industrie (VNCI) in de vorm van wandplaten, tentoonstellingen e.d. Vanuit het schoolvak gezien zijn dit activiteiten in de marge die, hoe nuttig ook in andere opzichten, de klassieke inhoud van het leerplan niet wezenlijk beïnvloeden. Hoewel de chemici een van de weinige beroepsgroepen zijn met een eigen schoolvak in het voortgezet onderwijs, ontstaat er pas geleidelijk een gevoel van verantwoordelijkheid voor de inhoud van dit vak.

Een ander verschijnsel dat in dit opzicht relevant lijkt is het gebrek aan kennis van eenvoudige chemie bij journalisten en nieuwspresentatoren. Zo is er nogal eens sprake van stoffen als 'sodiumhydroxide' en worden bij de vermelding van concentraties gemakkelijk fouten ter grootte van een factor duizend gemaakt.

Tenslotte blijkt het maatschappelijk isolement van het schoolvak ook nog uit vaak gehoorde opmerkingen van volwassenen over het vroeger door hen genoten



scheikunde-onderwijs. De bewering dat men van scheikunde op school nooit iets heeft begrepen en er ook nooit iets van gebruikt in het dagelijks leven, schijnt de spreker een zeker respect te verlenen. Chemie is in sommige kringen blijkbaar een vak waar men beter niet mee te maken kan hebben.

## 6. De docent

In Nederland worden scheikundeleraren eerst opgeleid tot chemicus waarna zij een onderwijsbevoegdheid behalen, of zij volgen een lerarenopleiding waarbij zij de noodzakelijke chemische kennis als onderdeel van die opleiding verwerven. In beide gevallen is het gebruikelijk dat de docent voor de klas terecht komt zonder ooit het onderwijscircuit te hebben verlaten: leerling - student - leraar. Ook leraren die aan de universiteit als chemicus zijn opgeleid, hebben meestal niet als chemicus gewerkt. Scheikundeleraren weten veel van chemie, maar zij weten veel minder van wat een chemicus of een chemisch-technoloog in de praktijk doet of hoe ze hun eigen chemische kennis in het dagelijks leven kunnen gebruiken.

We hebben al opgemerkt dat de schoolchemie slechts zwakke bindingen heeft met moderne wetenschap, met technologie en met de maatschappij, m.a.w. dat het schoolvak een tamelijk geïsoleerd systeem vormt. We stellen nu vast dat de docent tot op zekere hoogte deel van dat systeem is. Van docenten mag niet worden verwacht dat zij de maatschappelijke, technologische en milieuaspecten van chemie, die in het leerplan onderbelicht blijven, op grond van hun opleiding gemakkelijk zelf kunnen vormgeven. Hetzelfde geldt voor veel leerplan- en toetsontwikkelaars, lerarenopleiders, schoolboekauteurs en chemiedidactische onderzoekers (waartoe wij ook onszelf rekenen).

Tot het geïsoleerde systeem behoort ook het eindexamen dat immers op het eerder genoemde examenprogramma is gebaseerd. Het eindexamen biedt een *onderwijsinterne* rechtvaardiging van de inhoud van het programma. Wanneer de wetenschap, die een externe rechtvaardiging zou kunnen bieden, als zodanig terrein verliest dan kan het examen bij afwezigheid van andere externe (bijvoorbeeld technologische of maatschappelijke) criteria een sterk dominerende invloed op het onderwijs uitoefenen. Een voorbeeld hiervan is dat het gebruik van gebroken coëfficiënten in reactievergelijkingen, wat door chemici volstrekt normaal wordt gevonden, in examenantwoorden om toetstechnische redenen niet is toegestaan (Verdonk, 1992).

## 7. De leerling

In de wat oudere scheikundeboeken worden leerlingen vaak expliciet toegesproken als toekomstige chemische onderzoekers. Een onderzoeker wordt daarbij, maar dan impliciet, voorgesteld als iemand die experimenten uitvoert, daarbij waarnemingen verricht en door rationeel redeneren tot onweerlegbare conclusies komt.

De 'wetenschap' in deze schoolboeken is een reconstructie waarbij de emotionele kant van wetenschapsbeoefening, de spanning, de frustratie, de fascinatie en het avontuur buiten beschouwing worden gelaten. Dat geeft niet alleen een te afstandelijk en onjuist maar bovendien een voor veel leerlingen onaantrekkelijk beeld van wetenschap. Klachten over saaiheid en gebrek aan zichtbare relevantie worden dan begrijpelijk.

De afstandelijke houding werkt, ook in hedendaagse boeken, door in de eenzijdige wijze waarop over stoffen en verschijnselen wordt gesproken. Een formule en een systematische naam verwijzen naar een stof die wordt gekarakteriseerd door een lijst van stoffeigenschappen zoals kleur, smeltpunt, dichtheid etc. Dit kan zover gaan dat de formule de plaats van de stof inneemt, bijvoorbeeld als de leraar een zeshoek op het bord tekent en zegt: "Dit is benzeen", waarbij de stof zelf geen aandacht krijgt (Minssen, 1989). De formule en de systematische naam verbergen bovendien het feit dat de bedoelde stof, in een minder afstandelijke beschouwing, buiten het laboratorium ook nog een andere betekenis kan bezitten. Natriumchloride heeft eigenschappen, maar zout betekent smaak en kan emoties oproepen, bijvoorbeeld over zwemmen in zee, of over de nabijheid van een verplicht zoutloos dieet bij hoge bloeddruk. Zout is een belangrijke factor in alle menselijke culturen en natriumchloride is een zeer beperkte manier om over zout te spreken. In de schoolchemie wordt zout 'gereduceerd' tot natriumchloride en onderwijs dat zich daartoe beperkt doet zowel de leerlingen als het zout onrecht. Wat hier over zout wordt gezegd, geldt ook voor water, ijs, ijzer, goud, zand, steen, glas, lucht en vele andere stoffen.

## 8. Conclusie

Onze eindconclusie is dat het schoolvak scheikunde in de afgelopen jaren geleidelijk in een isolement is geraakt ten opzichte van wetenschap, technologie en maatschappij. Modernisering hebben voornamelijk geleid tot invoering van nieuwe onderwerpen bovenop de oude, op een wijze die de negentiende-eeuwse begrippenstructuur in stand heeft gelaten en soms zelfs heeft versterkt.

Scheikunde kan een belangrijk en boeiend vak zijn dat een algemeen vormende maatschappelijke functie heeft. De huidige inhoud van het schoolvak, die is neergelegd in examenprogramma's, leerplannen en schoolboeken maakt het moeilijk de positie van scheikunde in niet-beroepsgericht onderwijs te verdedigen. Nodig is een grondige herziening waarbij de inhoud beter met de gekozen doelstellingen in overeenstemming wordt gebracht. Hierboven hebben we in het gedeelte over de leerling enigszins willen aangeven in welke richting we ons deze herziening voorstellen. Scheikunde zal aan de orde moeten komen op een manier die niet alleen de wetenschappelijke maar ook de ambachtelijk-technologische, en niet alleen de rationele maar ook de emotionele aspecten toelaat.

Er zijn momenteel talrijke initiatieven, in Nederland zowel als elders, die vorm geven aan zulke ideeën. Veel van deze initiatieven zijn echter, hoe creatief ook, toch beperkt van opzet, onderling onsamenhangend en daardoor weinig succesvol<sup>6</sup>. Nodig is een nieuwe visie op het schoolvak, die samenhang in deze inspanningen kan brengen. We hopen met onze analyse aan de ontwikkeling van zo'n visie bij te dragen.

### Noten:

1. Fensham (1992a) geeft een aanzet tot een soortgelijke begrippenstructuur waarbij de nadruk niet, zoals bij ons, op het reactiebegrip ligt maar op het structuurbegrip.
2. Uit een recent onderzoek (Verhorst & Verhulst, 1993) onder ruim 1200 leerlingen uit 5- en 6vwo met een  $\beta$ -pakket blijkt dat nog geen vier procent van hen overweegt scheikunde of scheikundige technologie aan een universteit te gaan studeren.
3. Dat wil niet zeggen dat er geen begrippen zuur en base worden gebruikt. Zo staat de A in DNA voor 'acid' en iedere chemicus weet dat deze stof vier verschillende basen bevat. Deze begrippenzuur en base staan echter in een geheel andere context dan in de schoolchemie.
4. Dat neemt niet weg dat er al een twaalfdelig "Woordenboek der Zuivere en Toegepaste Scheikunde" bestond. Het was samengesteld door J.P.C. van Tricht, apotheker, en Dr.J.J. Woltersom en tussen 1856 en 1870 uitgegeven bij Nijgh in Rotterdam en De Breuk en Smits in Leyden.
5. Dat de Brønsteddefinities op hun beurt bovenop de Arrheniusbenadering zijn geplaatst, is in een hoofdvakonderzoek aangetoond door S.Houtzager (1989).
6. Onderzoek zal moeten uitwijzen of curriculumprojecten zoals ontwikkeld door UYSEG (Salters') hierop mogelijk een uitzondering vormen (zie ook Fensham, 1992b).

### Literatuur

- Fensham, P.J. (1992a). *Beginning to Teach Chemistry*. Lezing op de First European Conference on Research in Chemical Education. Montpellier, 25-28 augustus.
- Fensham, P.J. (1992b). Science and Technology. In: P.W. Jackson (Ed.) *Handbook of Research on Curriculum*, (789-829). New York: Macmillan Publishing Company.
- Gardner, P.L. (1992). The Technology-Science Relationship: Some Curricular Implications. *Tijdschrift voor Didactiek der  $\beta$ -wetenschappen*, 2, 126-137.
- Garforth, F.M. (1983). Chemistry to 16+ Examination: Work in Progress - Help Needed! *Educ. in Sci*, 102, 29-30.
- Hondebrink, J. (1992). *Chem. Weekblad* 40, 1 oktober 1992.
- Houtzager, S. (1989). *Zuren en basen: van Gewicht voor Allen*. Utrecht: Vakgroep Chemiedidactiek, UU (intern verslag).
- IUPAC Committee on Teaching of Chemistry (1993). Recommendations for Language, Symbols and Representations in Chemistry. *Int. Newsletter on Chem. Educ.* 39, 1-32.

- Joling, E. e.a. (1988). *Chemie mavo; onderzoek naar het functioneren van een leergang scheikunde. SCO-rapport 161*. Amsterdam: Stichting Centrum voor Onderwijsonderzoek UvA.
- Loo, F.A. van der (1991). Op zoek naar duurzame ontwikkeling. *Tijdschrift voor Didactiek der  $\beta$ -wetenschappen*, 9, 177-200.
- Minssen, M. (1986). *Der sinnliche Stoff*. Stuttgart: Ernst Klett Verlag GmbH.
- Rickard, L.H. (1992). Reforms in the General Chemistry Curriculum. *J. Chem. Educ.* 69, 3, 175-177.
- Verdonk, A.H. (1992). Speuren en sporen. In: O. de Jong (Ed.) *Conferentieverlag tweede scheikunde tweedaagse te Woudschoten, 6 en 7 november 1992*. (7-17), Utrecht: Vakgroep Chemiedidactiek, UU.
- Verhorst, J. & C.T.A.M. Verhulst (1993). *Een keuze voor een bèta-studie; onderzoek naar het keuzeproces van VWO-bèta-leerlingen voor het vervolg op de VWO-opleiding*. Utrecht: STOGO.
- Vos, W. de, B. van Berkel & A.H. Verdonk (1993). A Coherent Conceptual Structure of the Chemistry Curriculum. *J Chem. Educ.* (accepted).
- Vos, W. de & A.H. Verdonk (1990). Een vakstructuur van het schoolvak scheikunde. *Tijdschrift voor Didactiek der  $\beta$ -wetenschappen*, 8, 19-35.
- Vos, W. de & A.H. Verdonk (1991). Vakstructuur: steunpilaar of sta-in-de-weg? *Tijdschrift voor Didactiek der  $\beta$ -wetenschappen*, 9, 97-108.