

## Vakstructuur: steunpilaar of sta-in-de-weg?

### Bespreking van een vakstructuur voor het schoolvak scheikunde

W. de Vos en A.H. Verdonk,  
Centrum voor Didactiek van Wiskunde en Natuurwetenschappen  
Rijksuniversiteit Utrecht

#### Summary

*In an earlier article in this journal (De Vos & Verdonk, 1990) the authors describe an underlying structure in traditional school chemistry curricula. This structure includes an introductory part and two complementary branches. In the present paper the three parts of the structure as well as the structure as a whole are being analyzed and discussed. Discussion focuses on the role played by the structure in curriculum innovation projects. The authors conclude that chemical education based on this structure does not comply with the aims of chemistry as a school subject in modern secondary education. They state that 'escaping' from the traditional structure will require a thorough analysis of its influence in teaching and teacher training.*

#### 1. Inleiding

In een eerder artikel in dit tijdschrift (De Vos & Verdonk, 1990) hebben we een structuur beschreven die wij in het schoolvak scheikunde menen te zien. Deze beschrijving was gebaseerd op een analyse van schoolboeken en leerplannen. De bedoeling van dat artikel was deze vakstructuur als resultaat van de analyse te presenteren zonder commentaar. In dit artikel willen wij ons commentaar op de toen beschreven vakstructuur geven. Uiteraard is een volledige scheiding van beide bedoelingen onmogelijk: enerzijds verraadt de woordkeuze bij de beschrijving onbedoeld opvattingen van de auteurs, anderzijds moet in een commentaar vaak informatie worden verstrekt.

Geen van beide artikelen heeft een definitief karakter. Op 1 september 1990 is in de vakgroep Chemiedidactiek van de R.U.-Utrecht met de benoeming van Drs. B. van Berkel een promotie-onderzoek begonnen naar inhoud en rol van de vakstructuur in het vak scheikunde in het secundair onderwijs. Daarbij zijn niet alleen schoolboeken en leerplannen object van onderzoek maar ook het onderwijsproces in de klas en de opleiding en nascholing van docenten. Er zijn inmiddels contacten gelegd die tot een internationalisering van het onderzoek kunnen leiden. In ons eigen land wordt een cursus voor scheikunde-docenten ontwikkeld waarbij o.a. wordt nagegaan of onze vakstructuur voor

docenten herkenbaar is en welke functie zij in hun onderwijs kan hebben.

In de afgelopen periode hebben wij onze huidige beschrijving van de vakstructuur besproken met o.a. chemiedocenten en chemiedidactici. Daarbij is ons opgevallen dat het idee van een vakstructuur die kan worden toegekend aan het schoolvak scheikunde in het algemeen positief wordt beoordeeld. Men aanvaardt de stelling dat de verschillende onderwerpen uit de chemie die in leerplannen worden vermeld en in schoolboeken worden behandeld, met elkaar in verband kunnen worden gebracht tot onderdelen van een samenhangend geheel. Een vakstructuur die ieder onderwerp een plaats en een functie geeft, biedt duidelijke voordelen voor de betrokkenen. Tot die betrokkenen rekenen wij docenten die scheikunde onderwijzen (en uiteraard hun leerlingen die dat onderwijs genieten, maar die laten we in dit artikel verder buiten beschouwing), leerplan- en toetsontwikkelaars, schoolboekauteurs, lerarenopleiders en didactische onderzoekers. Doordat de verschillende onderwerpen een functie hebben t.o.v. elkaar, vormt het vak een zekere eenheid waarbinnen die onderwerpen echter nog op uiteenlopende wijze kunnen worden behandeld en getoetst<sup>1</sup>. Wel zien wij als voorwaarde om van die eenheid te kunnen profiteren dat er onder de betrokkenen een grote mate van consensus moet bestaan over wat de vakstructuur inhoudt: als docent, schoolboek en/of examen in dit opzicht niet op een lijn zitten, ontstaan er problemen waarvan vooral leerlingen het slachtoffer kunnen worden.

Aan de voorwaarde van consensus in de zin dat vrijwel alle betrokkenen de door ons beschreven vakstructuur (of welke andere dan ook) *expliciet* als basis voor hun werk hebben aanvaard, is op dit moment zeker niet voldaan. Wel veronderstellen we dat vele betrokkenen werken binnen een traditie waarin een *impliciete* overeenstemming bestaat over de wijze waarop scheikunde-onderwijs 'nu eenmaal' ingericht dient te worden. Het gebruik van de term "de vakstructuur" (cursivering door ons) als een vanzelfsprekend gegeven in een leerplan voor rijksscholen (zie ons eerste artikel) wijst op een dergelijke impliciete consensus.

Naast voordelen zou een door alle betrokkenen aanvaarde vakstructuur echter ook bezwaren met zich mee kunnen brengen. Het voornaamste bezwaar is naar onze mening dat ingrijpende veranderingen in het onderwijs in het betreffende vak erdoor zouden kunnen worden tegengehouden. Zulke veranderingen zouden immers niet passen binnen de aanvaarde vakstructuur. Zeker wanneer een vakstructuur impliciet aanvaard is, zoals in de huidige situatie bij scheikunde het geval lijkt, zou een discussie over mogelijke alternatieve structuren moeilijk gevoerd kunnen worden. De bedoeling van dit artikel en het voorafgaande is daarom te trachten helderheid te verkrijgen over een mogelijk nog impliciete vakstructuur in het scheikunde-onderwijs en daardoor ook over mogelijke alternatieven ervoor.

De vakstructuur die we in ons vorige artikel hebben beschreven, laat zich samenvatten in een driedeling:

- A. Introductie van de begrippen stof en reactie met bijbehorende hulpbegrippen;
- B. Invulling van reactie- en stofbegrip met concrete gevallen;
- C. Inperking van reactie- en stofbegrip door middel van voorwaarden.

A heeft het karakter van een inleiding in het wetenschapsgebied waarbij het primaire onderzoeksobject, de chemische reactie, wordt gedefinieerd. Dit vereist tevens de ontwikkeling van een chemisch stofbegrip en van enkele andere begrippen. Na deze inleiding komen B en C afwisselend aan de orde. B omvat de min of meer systematische kennismaking met steeds meer chemische reacties en daardoor ook met steeds meer stoffen. In C worden achtereenvolgens drie voorwaarden geïntroduceerd waaraan een reactie moet voldoen terwijl ook aan het bestaan van stoffen bepaalde voorwaarden worden opgelegd. We herkennen in B de beschrijvende chemie die zowel de anorganische als de organische chemie omvat, terwijl C vooral de fysische chemie vertegenwoordigt. In dit artikel zullen we eerst ons commentaar geven op de verschillende onderdelen van de vakstructuur en vervolgens op de structuur als geheel.

## 2. Introductie van de begrippen stof en reactie

De chemische reactie is in het kader van de vakstructuur gedefinieerd als een proces waarbij een of meer stoffen, reactanten genaamd, verdwijnen terwijl een of meer andere stoffen, de reactieproducten, ontstaan. In twee opzichten roept deze definiëring problemen op.

Als er bij een reactie meerdere reactanten zijn, moeten deze worden samengebracht alvorens de reactie kan optreden. Zijn er meerdere reactieproducten dan moet men deze van elkaar en van eventueel overgebleven hoeveelheden van de reactanten scheiden om te kunnen vaststellen dat ze niet identiek zijn aan de reactanten. Elk van de betrokken stoffen is immers in zuivere toestand herkenbaar aan zijn stoffeigenschappen en daardoor onderscheidbaar van andere stoffen. Eigenschappen verdwijnen en ontstaan echter niet alleen bij een chemische reactie maar ook bij het mengen van reactanten en bij het scheiden van reactieproducten: een mengsel heeft andere eigenschappen dan (elk van) de afzonderlijke bestanddelen. Zo heeft buskruit de eigenschap explosief te zijn, hoewel geen van de bestanddelen van dit mengsel afzonderlijk explosief is. Men moet zich dus altijd afvragen of het mengen of het scheiden van de betreffende stoffen met een chemische reactie gepaard is gegaan. Leerlingen menen dikwijls dat dit het geval is o.a. bij de chromatografische scheiding van de kleurstoffen in zwarte viltstiftinkt, waarbij de verschillende samenstellende kleurstoffen zichtbaar worden. Hun indruk dat

bij deze scheiding een chemische omzetting van zwarte inkt in verschillende kleurstoffen optreedt, kan met de boven aangegeven methode niet worden weerlegd. Bij het mengen van de samenstellende kleurstoffen tot de oorspronkelijke zwarte inkt zouden zij immers kunnen volhouden dat dezelfde chemische reactie optreedt, maar nu in omgekeerde richting.

Overigens is er, analytisch-chemisch gezien, geen noodzaak alle bij een reactie betrokken stoffen te zuiveren alvorens ze te identificeren. Moderne analysemethoden maken het mogelijk de aanwezigheid van stoffen in mengsels, soms zelfs in concentraties van minder dan 1 deel per miljoen, zowel kwalitatief als kwantitatief vast te stellen. De stoffeigenschaften die hierbij worden gebruikt, hebben het karakter van 'fingerprints', meestal in de vorm van zeer stofspectifieke spectra. Hiervoor is echter apparatuur nodig waarover men op scholen in het algemeen niet beschikt. De stoffeigenschaften die in de schoolsituatie in aanmerking komen, zoals kleur, geur, brandbaarheid en het al-of-niet-oplosbaar-zijn, vereisen veelal isolatie van de betrokken stoffen<sup>2</sup>. De sterke nadruk die in schoolboeken wordt gelegd op de toepassing van scheidingsmethoden bij het herkennen van een chemische reactie geeft dus een eenzijdig beeld van de wijze waarop in de chemie een reactie wordt geconstateerd.

Het tweede aspect dat problemen oproept, betreft de aandacht voor de chemische reactie als proces. Om een reactie als zodanig te kunnen herkennen moet men de stoffen die na afloop aanwezig zijn vergelijken met de stoffen die in de uitgangstoestand aanwezig waren. Dit betekent dat men op het eigenlijke proces niet hoeft te letten: alleen de toestand vooraf en die na afloop zijn van belang. Bij demonstratieproeven en practica zijn weliswaar de verschijnselen waarmee een reactie gepaard gaat soms zeer spectaculair, maar ze zijn binnen de context van de vakstructuur niet wezenlijk. Zo wordt bijvoorbeeld na de verbranding van een stuk magnesiumlint van de (nog door het felle licht verblinde) leerlingen gevraagd vooral op het beetje wit poeder te letten dat als "as" is overgebleven.

De procesaspecten van chemische reacties die door de sterke nadruk op het vergelijken van twee toestanden onderbelicht blijven, omvatten niet alleen het energie-effect van de reactie (dat overigens dikwijls wordt vastgesteld door een temperatuurmeting vooraf en na afloop) maar ook transport en ruimtelijke verdeling van de betrokken stoffen. Veel leerlingen die een explosie van knalgas hebben meegemaakt en die het karakteristieke plofje bij de verbranding van in een omgekeerde reageerbuis opgevangen waterstof als stoffeigenschap hebben leren kennen, begrijpen niet hoe datzelfde gas uit een gascylinder vrijwel geluidloos kan branden. In beide gevallen vindt immers dezelfde stofomzetting plaats en geldt dezelfde reactievergelijking!

Bij chemische reacties in de industrie en in het dagelijks leven spelen de

procesaspecten wel een belangrijke rol. Wie van vuurwerk de uitgangsstoffen en de reactieproducten kent, begrijpt nog weinig van het knaleffect en de veiligheidsaspecten van een rotje. Daartoe is ook inzicht nodig in de constructie van het reactievat en van het ontstekingsmechanisme. Het branden van een kaars is een ander voorbeeld: hier zijn de functie en de uiteindelijke verbranding van de pit voor een goed begrip even onmisbare elementen in het verhaal als de namen, formules en stoffeigenschappen van reactanten en reactieproducten. Door de onderbelichting van de procesaspecten van chemische reacties ontstaat bij de leerlingen een sterk verschaald reactiebegrip dat o.a. inzicht in toepassingen van chemische processen bemoeilijkt (Minssen, Popp & De Vos, 1990).

### 3. Invulling van de begrippen stof en reactie

De enorme groei van chemische kennis in de afgelopen eeuw komt o.a. tot uiting in de veelheid van stoffen die door chemici zijn gemaakt of ontdekt. Bij elk van deze stoffen behoren een of meer bereidingswijzen en reactiemogelijkheden. De stoffen en reacties die in het voortgezet onderwijs konden worden behandeld zijn door deze ontwikkeling een relatief steeds kleiner deel van het geheel gaan vormen. De groeiende achterstand dwong tot het maken van keuzes, waarbij de ambitie om een enigszins volledige invulling van de begrippen stof en reactie te geven steeds meer moest worden opgegeven. We noemen enkele keuzes die in de loop van de tijd zijn gedaan.

- Hoewel de organische chemie gemeten in aantallen stoffen en reacties de sterkste ontwikkeling doormaakte, is in de school de nadruk steeds op de anorganische chemie blijven liggen. Aan polymeerchemie en biochemie worden gewoonlijk slechts enkele lessen besteed.
- Chemische analyse kreeg vroeger veel aandacht, vooral de analyse van waterige oplossingen (titraties,  $H_2S$ -systeem) en daarnaast formulebepalingen van meestal organische stoffen. Deze analysemethoden vormden indertijd een tijdrovende maar onmisbare bron van kennis omtrent stoffen en mengsels en verdienden daardoor blijkbaar een plaats binnen de vakstructuur. Moderne, geautomatiseerde analysetechnieken hebben de noodzaak om langdurig te oefenen verminderd. Tegenwoordig is echter in het kader van de milieuproblematiek de belangstelling voor klassieke analysetechnieken weer toegenomen.
- Waar vroeger de 'kennismaking' met stoffen en reacties betekende dat er nogal wat uit het hoofd geleerd moest worden, kan de huidige generatie leerlingen volstaan met het opslaan van een of meer tabellen uit BINAS. Niet het kennen, maar het kunnen vinden is norm geworden.
- Hoewel er meer tijd wordt besteed aan practicum, leren de leerlingen zeer veel stoffen en reacties slechts op papier kennen. De ionbinding in natri-

umchloride en andere zouten wordt besproken, maar er is geen tijd om zelf kristallen te kweken. Isomerie van wijnsteenzuur wordt verduidelijkt met tekeningen en modellen, maar de stof zelf blijft in de kast staan (als ze daar al aanwezig is). Elektrochemische reacties worden behandeld in de vorm van tekeningen, reactievergelijkingen en sommen over de wet van Nernst, maar spanningsverschillen worden niet of nauwelijks gemeten; ze leveren overigens zelden de 'correcte' waarden op<sup>3</sup>. Minssen (1986, blz. 17) beschrijft een leraar die met een krijtje een gelijkzijdige zeshoek op het bord tekent en zegt: "Dit is benzeen".

- Het ligt voor de hand om stoffen en reacties, indien mogelijk, niet stuk voor stuk te behandelen maar groepsgewijs. Dat is efficiënt, maar het kan ook leiden tot het negeren van individuele kenmerken. In sommige schoolboeken wordt als gemeenschappelijk kenmerk van metalen genoemd dat ze zacht en vervormbaar zijn en een hoog smeltpunt bezitten; kwik is daarop niet de enige uitzondering. (Bovendien gaat het hier om de zuivere metalen en worden de talrijke legeringen die juist vanwege hun hardheid in het dagelijks leven als 'metaal' worden toegepast buiten beschouwing gelaten.) Met behulp van de tabellen 48 en 49 uit BINAS kunnen leerlingen van honderden redox- en zuur-basereacties de vergelijkingen opschrijven door telkens twee halfreacties te combineren, zonder zich te hoeven bekommeren om veiligheids- en afvalproblemen of om neven- of volgreacties die in vele gevallen optreden.

In scheikundeboeken van vóór ongeveer 1960 is de positie van beschrijvende chemie sterker dan in de hedendaagse boeken. In veel van de oudere boeken werd, na het inleidend gedeelte, de indeling in hoofdstukken geheel of grotendeels bepaald door een groepsgewijze beschrijving van elementen en hun verbindingen uit het periodiek systeem. Theoretische onderwerpen kwamen aan de orde als de behandeling van een element daartoe aanleiding gaf: chemisch evenwicht bij de halogenen (n.a.v. de dissociatie van jooddamp) of bij stikstof (ammoniakevenwicht), thermochemie bij koolstof (steenkol als brandstof), enz. In de schoolboeken van na omstreeks 1960 lijkt deze hiërarchie te zijn omgedraaid: beschrijvingen van stoffen en van reacties komen slechts aan de orde wanneer zij theoretische onderwerpen kunnen illustreren of verduidelijken. Binnen de vakstructuur is dit niet een wezenlijke verandering maar een accentverschuiving.

De laatste jaren wordt er, o.a. vanuit de Verenigde Staten, weer meer nadruk gevraagd voor "descriptive chemistry" (Beach, 1984; Bent & Bent, 1987; Zuckerman, 1986). Deze ontwikkeling heeft waarschijnlijk te maken met de toenemende aandacht voor de rol van chemie in het dagelijks leven, waar men niet zozeer met formules of met algemene kenmerken maar met concrete stoffen en processen te maken heeft.

#### 4. Inperking van de begrippen stof en reactie

In het deel van de vakstructuur dat we met de term 'inperking' hebben aangeduid hebben we drie voorwaarden onderscheiden waaraan een chemische reactie moet voldoen. De eerste is het elementbehoud, de tweede kunnen we aanduiden met de thermodynamische formule  $\Delta G < 0$  en de derde heeft betrekking op de snelheid waarmee een reactie verloopt. Daarnaast hebben we enkele regels genoemd waaraan een stof moet voldoen.

Het meest voor de hand liggende commentaar op dit deel van de vakstructuur is dat het met betrekking tot twee van de drie voorwaarden van het reactiebegrip in het voortgezet onderwijs onvoltooid blijft. De klassieke thermodynamica die voor de tweede voorwaarde nodig is, wordt in de school niet behandeld en toepassing van deze voorwaarde blijft beperkt tot enkele vuistregels die betrekking hebben op deelgebieden van de chemie (zuur-basereacties, redoxreacties). Bij de derde voorwaarde worden wel factoren genoemd die invloed hebben op de snelheid van een chemische reactie (temperatuur, concentratie, katalysator) maar hiermee worden slechts snelheidsverschillen en snelheidsveranderingen verklaard en niet de snelheden zelf. Verder worden beide voorwaarden slechts in zeer beperkte mate gerelateerd aan corpusculaire voorstellingen. Bij de tweede voorwaarde zou daartoe naast aandacht voor bindingsenergieën ook een behandeling van onderwerpen uit de statistische mechanica nodig zijn en bij de derde zou moeten worden gelet op reactiemechanismen en de daarmee in verband staande activeringsenergieën, die via de wet van Arrhenius (zie bijv. Atkins, 1988; blz. 687 e.v.) onder bepaalde voorwaarden kwantitatieve uitspraken over reactiesnelheden mogelijk maken. Wij willen zeker niet betogen dat deze onderwerpen in de leerplannen voor het voortgezet onderwijs moeten worden opgenomen (zie ook Van Sprang, Van Roon & Verdonk, 1988), maar slechts signaleren dat een afronding van dit deel van de vakstructuur, binnen de randvoorwaarden die de school stelt, niet haalbaar blijkt te zijn.

Het elementbehoud wordt als enige van de drie voorwaarden wel op een enigszins afgeronde wijze behandeld. Discussies over het onderwijzen van het elementbegrip binnen het kader van de vakstructuur hebben betrekking op twee aspecten: op het gebruik van de termen 'element' en 'niet-ontleedbare stof' (Umans, 1980; Hondbrink, 1981) en op het al of niet leggen van een relatie met corpusculaire voorstellingen (moleculen en atomen) bij de invoering van het elementbegrip (De Vos, 1985; Vogelegang, 1990). Het laatste punt laat zien dat binnen de vakstructuur ruimte bestaat voor verschillende volgorde en behandelingswijze van onderwerpen.

De inperking van het stofbegrip berust op een aantal factoren die vanuit het standpunt van de leerlingen gezien slechts als 'meevallers' kunnen worden gekwalificeerd. Het aantal elementen is beperkt tot ongeveer honderd (het had-

den er ook tienduizend kunnen zijn) en het aantal elementen in een verbinding is, evenals het aantal bij een reactie betrokken stoffen, meestal op de vingers van een hand te tellen. Indices in formules zijn zelden hoger dan tien en coëfficiënten in reactievergelijkingen blijven daardoor beperkt tot 'eenvoudige gehele getallen'. Voor een deel wordt deze ordelijkheid aan leerlingen verklaard op basis van modellen van de bouw van atomen, waarbij bindingstypen en het 'streven' naar edelgasconfiguratie een belangrijke rol spelen. Er wordt hierbij gewoonlijk veel aandacht besteed aan goed kloppende voorbeelden, waardoor leerlingen de onjuiste indruk kunnen krijgen dat structuurchemie een min of meer afgerond wetenschapsgebied zou zijn.

### 5. De vakstructuur als geheel

In de door ons beschreven vakstructuur staan de begrippen chemische reactie en stof centraal. Andere begrippen zoals zuivere stof en stoffeigenschap hebben tot taak de betekenis van deze centrale begrippen te verduidelijken. Het reactiebegrip wordt al zeer vroeg in een zeer algemene betekenis ingevoerd. Ons valt vooral op dat de introductie van het reactiebegrip geplaatst wordt in een wetenschappelijke context. Deze contextkeuze wordt soms al op de eerste bladzij van een schoolboek expliciet gemaakt door de vermelding dat scheikunde behoort tot de (natuur)wetenschappen (bijv. Bokhorst, 1939, maar ook Reiding & Franken, 1984; Carelsen e.a., 1990). In andere boeken is deze contextkeuze impliciet aanwezig.

De introductie van het reactiebegrip dient binnen de vakstructuur om het onderzoeksgebied van *chemie als wetenschap* te definiëren. Dit gebied wordt vervolgens afgebakend en geëxploreerd en ook dit gebeurde in de oudere schoolboeken in een strikt wetenschappelijke context. Maatschappelijke toepassingen van stoffen of van reacties en de invloed daarvan op het dagelijks leven bleven buiten beschouwing of werden slechts terloops genoemd, als een onderbreking van het eigenlijke betoog. (In schoolboeken voor HBS-A kregen deze aspecten wel veel aandacht; de leerlingen van dit schooltype werden niet als toekomstige chemici benaderd.) Emotionele aspecten van het vak, zoals angst en schoonheidsbeleving bij het practicum kwamen vrijwel geheel niet aan de orde. Er werd van uitgegaan dat de leerlingen zich als wetenschappelijke onderzoekers opstelden. Vanuit dat uitgangspunt werden zij geconfronteerd met belangrijke resultaten van reeds door anderen verricht wetenschappelijk onderzoek, bijvoorbeeld het massabehoud bij chemische reacties of de bouw van het atoom, en met methoden die bij chemisch onderzoek worden (of werden) gebruikt.

In schoolboeken van meer recente datum wordt weliswaar meer aandacht besteed aan toepassingen van stoffen en reacties en ook aan milieu- en veiligheidsaspecten daarvan, maar de volgorde en de onderlinge samenhang van de



centrale begrippen uit de vakstructuur zijn daardoor niet aangetast. In een van de leerplannen voor rijkscholen wordt de positie van milieu-onderwerpen duidelijk aangegeven: ze moeten "waar mogelijk" aan de orde komen. Onderwerpen als 'Voedsel' en 'Chemische industrie' zijn als afzonderlijke hoofdstukken opgenomen; ze tasten de behandeling van de klassieke onderwerpen niet aan.

Om deze situatie te begrijpen is het verhelderend naar de begintijd van scheikunde als schoolvak te kijken. Aan de Hogere Burgerscholen en aan de gymnasia werd al in de jaren zestig van de negentiende eeuw scheikunde-onderwijs gegeven. Het betrof onderwijs aan een beperkte groep leerlingen die voorbestemd waren om leidende posities in wetenschap, techniek of andere sectoren van het maatschappelijk leven te bekleden. Scheikunde als wetenschap verkeerde toen in een stadium dat wij nu als 'pril' zouden omschrijven. Het periodiek systeem, het tetraedrisch koolstofatoom, de ionentheorie en vele andere onderwerpen uit de huidige schoolscheikunde waren nog onbekend. Zelfs over de formules van zuurstof waren chemici het pas in 1860 na afloop van een congres in Karlsruhe eens geworden. Gezien de functie van de betreffende scholen en het ontwikkelingsstadium van de chemie is het begrijpelijk dat men ernaar kon streven de leerlingen al tijdens hun schoolloopbaan tot aan het 'front' van het chemisch onderzoek te voeren. De leerlingen werden behandeld als toekomstige wetenschappers en niet zelden waren zij dat ook. Op zijn minst moesten zij in staat worden gesteld de ontwikkelingen te volgen en te beoordelen.

Naarmate het wetenschappelijk onderzoek voortschreed, ontstond er echter een steeds breder wordende kloof tussen het schoolvak en de wetenschappelijke discipline. Het afleggen van de hele weg vanaf het beginpunt tot aan het brede wetenschappelijke front van de chemie binnen het beschikbare aantal lesuren werd een steeds hopelozere opgave. Ook de leerlingenpopulatie nam in omvang toe: de mammoetwet introduceerde scheikunde bij grote groepen leerlingen in v.w.o., havo en mavo en in de basisvorming wordt scheikunde als onderdeel van het vak natuur- en scheikunde in principe aan alle leerlingen onderwezen. In de bovenbouw, waar scheikunde keuzevak is, kiest slechts een klein deel van de leerlingen een verdere studie en beroep waarbij dit vak een rol speelt (Hondebrink, 1988). Deze twee ontwikkelingen vragen om een nieuwe doelstelling van het schoolvak en die is er in feite al: vrij algemeen wordt aanvaard dat scheikunde-onderwijs in mavo, havo en vwo en in de basisvorming een belangrijke taak heeft bij de opleiding tot 'burger' in een samenleving waarin chemische processen en chemische producten een grote rol spelen. Daartoe behoort o.a. dat het schoolvak een beeld geeft van het beroep van chemicus, maar de opleiding tot dat beroep wordt aan andere onderwijsinstellingen overgelaten.

Er is nu naar onze mening sprake van een groeiende spanning tussen de

nieuwe doelstelling van het schoolvak en de oude vakstructuur. Het uitgangspunt van de traditionele vakstructuur, de benadering van de leerling als toekomstig chemisch onderzoeker, is namelijk in leerplannen en schoolboeken nog niet verlaten. Wel wordt binnen de vakstructuur iedere gelegenheid aangegrepen om voorbeelden uit het dagelijks leven aan te halen en begrippen in een leefwereldcontext te plaatsen. De spanning die dit oplevert komt tot uiting in betekenisverschillen die optreden wanneer een term in de twee verschillende contexten wordt gebruikt. Zo betekent 'zuiver' in een leefwereldcontext iets heel anders dan in de context van de vakstructuur (De Vos, 1989).

Om die spanning te kunnen oplossen is het nodig dat de bestaande vakstructuur zichtbaar en daardoor bespreekbaar wordt gemaakt. Dan wordt het ook mogelijk een nieuwe structuur te ontwerpen die doel en inhoud weer op één lijn kan brengen en het schoolvak als eenheid kan handhaven. Wat dat laatste betreft: veel vernieuwingsprojecten in het buitenland, zoals Salters' Advanced Chemistry (Holman e.a., 1988) en het Kölner Modell van het IPN in Kiel (Duitsland) breken weliswaar met de traditionele vakstructuur maar bieden nog slechts fragmenten van wat op den duur een nieuwe structuur van een schoolvak zou kunnen worden.

Door bij de bespreking van de bestaande vakstructuur veel nadruk te leggen op de introductie van chemie als wetenschap, kunnen we de indruk wekken dat we in een alternatieve structuur geen aandacht willen besteden aan het wetenschappelijk karakter van chemie. Deze indruk zou onjuist zijn. We menen zelfs dat in de bestaande traditie een te smalle invulling aan dat wetenschappelijk karakter wordt gegeven. Gedwongen door tijdgebrek heeft men zich in het onderwijs immers steeds meer beperkt tot het vermelden van geselecteerde resultaten van chemisch onderzoek. De worsteling, de mislukkingen, de frustraties en de twijfel moeten buiten beeld blijven, evenals het gevoel van triomf als stukjes op hun plaats vallen en op een moeilijke vraag een eenvoudig antwoord is gevonden. Wanneer in sommige boeken 'de wetenschappelijke methode' wordt besproken, dan is dat niet meer dan een emotioneel recept dat slechts overeenkomst vertoont met gestroomlijnde reconstructies van wetenschappelijke success-stories.

Een wetenschappelijke houding is gebaseerd op kritische nieuwsgierigheid. Een nieuwe vakstructuur zou die niet bij voorbaat bij alle leerlingen en bij alle onderwerpen mogen veronderstellen maar het ontstaan ervan als een doel kunnen kiezen en, waar mogelijk, het bestaan ervan beter uitbuiten. Dat kan leiden tot onderwijssituaties waarin leerlingen niet alleen intellectueel maar ook emotioneel bij een vraag zijn betrokken. Op die manier zou misschien zelfs de doelstelling van de oude vakstructuur beter bereikt kunnen worden dan nu het geval is.

Een ontwerp voor een alternatieve vakstructuur van scheikunde in het

voortgezet onderwijs kunnen we in dit artikel niet bieden. Dat zal mogelijk een resultaat van het onderzoeksproject zijn. Een belangrijk kenmerk ervan is echter in het bovenstaande wel aangegeven: het zal een vakstructuur moeten worden die de leerling benadert als (toekomstig) burger in een samenleving met veel chemie. Wij zijn ons ervan bewust dat dit hoge eisen gaat stellen aan docenten. Immers, ook degenen onder hen die van harte kiezen voor een dergelijke benadering, hebben zelf scheikunde geleerd en onderwezen binnen de bestaande traditie, die een sterke mate van vanzelfsprekendheid heeft gekregen. Ontsnappen aan een traditie wordt gemakkelijker wanneer die traditie haar vanzelfsprekendheid verliest en de eraan ten grondslag liggende keuzes zichtbaar zijn geworden. Daarop zal de nascholing van docenten gericht moeten zijn.

### Noten:

1. Scheikunde als schoolvak lijkt in dat opzicht meer een eenheid dan natuurkunde, dat vooral in de onderbouw een meer archipelachtige indruk maakt: onderwerpen als mechanica, optica en elektriciteitsleer zullen waarschijnlijk een eigen interne structuur bezitten maar ze worden betrekkelijk los van elkaar behandeld.
2. Bij een kritische beschouwing blijken er maar heel weinig stofeigenschappen beschikbaar te zijn voor het identificeren van een stof. Zo zijn grote kristallen kopersulfaat diepblauw van kleur, terwijl dezelfde stof in gepoederde toestand lichtblauw is. IJzer is onder bepaalde omstandigheden brandbaar (pyrofoor ijzer, horlogeveer in zuivere zuurstof), onder andere omstandigheden niet. Kleur en brandbaarheid zijn dus niet in alle gevallen geschikt om een stof eenduidig te beschrijven.
3. Althans wanneer onder 'correcte' waarden de verschillen tussen de  $E^0$ -waarden van BINAS-tabel 48 worden verstaan. In de nascholingscursus Elektrochemie van de vakgroep Chemiedidactiek van de RUU is echter duidelijk gemaakt dat uit de tabelwaarden niet zomaar spanningsverschillen kunnen worden afgeleid.

### Literatuur

- Atkins, P.W. (1988) *Physical Chemistry*. Oxford: Oxford University Press.
- Beach, D.H. (1984) Some Reasons for Teaching Descriptive Chemistry, *J. Chem. Educ.*, 61, 520-521.
- Bent, H.A. & B.E. Bent (1987) Descriptive Chemistry, *J. Chem. Educ.*, 64, 249-251.
- Bokhorst, S.C. (1939) *Leerboek der scheikunde*, deel IA. Groningen, Batavia: Wolters
- Carelsen, F.J., W.K.M. Engbers, F. Gierveld & H.A.W.M. van Harssel (1990) *Scheikunde voor nu en straks 3hv*. Zutphen: Thieme.
- Holman, J. e.a. (1988) *Salters' Advanced Chemistry*. York: University of York.
- Hondebrink, J.G. (1981) Voorzichtig met elementen, *Faraday*, 50, 88-90.

- Hondebrink, J.G. (1988) Hoeveel leerlingen hebben natuurwetenschappelijke vakken echt nodig? *NVON-Maandblad*, 13, 120-121.
- Minssen, M. (1986) *Der sinnliche Stoff*. Stuttgart: Ernst Klett Verlag GmbH.
- Minssen, M. (Ed.), T. Popp & W. de Vos (1990) *Strukturbildende Prozesse bei chemischen Reaktionen und natürlichen Vorgängen*. Kiel: I.P.N.
- Reiding, J. & P.W. Franken (1984) *Chemie Overal 3hv*. Culemborg: Educa-boek.
- Sprang, H.F. van, P.H. van Roon & A.H. Verdonk (1988) Enthalpie in V.W.O.-Chemie? *Tijdschrift voor Didactiek der  $\beta$ -wetenschappen*, 6, 220-230.
- Umans, A.J.H. (1980) De begrippen element en enkelvoudige stof, *Faraday* 49, 202-208.
- Vogelezang, M.J. (1990) *Een onverdeelbare eenheid*. Dissertatie, Rijksuniversiteit Utrecht; Utrecht: CD- $\beta$  Press.
- Vos, W. de (1985) *Corpusculum delicti*. Dissertatie, Rijksuniversiteit Utrecht.
- Vos, W. de (1989) Basisvorming en rode wijn, *NVON-Maandblad*, 14, 208-210.
- Vos, W. de & A.H. Verdonk (1990) Een vakstructuur van het schoolvak scheikunde. *Tijdschrift voor Didactiek der  $\beta$ -wetenschappen*, 8, 19-35.
- Zuckerman, J.J. (1986) The Coming Renaissance of Descriptive Chemistry, *J. Chem. Educ.* 63, 829-833.