

## **Natuurhistorische oriëntatie, een gemeenschappelijk aanbod van scheikunde, biologie en natuurkunde voor 15-16 jarigen**

R.J. Genseberger

Open Schoolgemeenschap Bijlmer (OSB), Amsterdam

### **Summary**

*For eight years the subjects Chemistry, Biology and Physics have been offered in one joint course in the fourth form of HAVO/VWO at the Open Schoolgemeenschap Bijlmer. This course is called Orientation in Natural History. In the process of developing content and method the focus was on what the subjects have to offer to students aged 15-16. Another criterion was that, on their completion of this one year course, the pupils must be familiar with a number of modern scientific concepts that play a part in today's society.*

*The integrated course proved to motivate pupils' independence in exercising formation of theories and development of models. Only then is modern science well understood in its strength and limitations. This is particularly important for those pupils for whom this is their last education in science.<sup>1)</sup>*

### **1. Uit ervaringen met leerlingen groeit een nieuw aanbod**

#### *Inleiding*

"Bestaat een cel ook uit moleculen?" vroeg een leerling mij een aantal jaren geleden eens. Hij had bij natuurkunde iets over moleculen geleerd, bij scheikunde iets over atomen en bij biologie iets over cellen. De vraag liet zien dat hij zich niet zo erg bewust was van de relatie tussen de modellen die hem in de verschillende natuurwetenschappelijke disciplines gescheiden waren aangereikt. Dit soort ervaringen hebben me tot de overtuiging gebracht dat het ontwikkelen van corpusculaire voorstellingen bij leerlingen een gezamenlijke onderneming moet zijn van docenten scheikunde, natuurkunde en biologie.

In dit artikel worden de uitgangspunten en constructie beschreven van een gemeenschappelijke cursus in de natuurwetenschappen die vanaf 1980 op de Open Schoolgemeenschap Bijlmer is ingevoerd voor alle 15-16 jarigen die twee tot drie jaar later

eindexamen HAVO of VWO zullen doen. De behandelde onderwerpen zullen tevens in vogelvlucht aan de orde komen. Bij de uitwerking van de cursus zijn natuurkunde-, scheikunde- en biologiedocenten betrokken.

In een tweede artikel wordt ingegaan op de problematiek van theorie- en modelontwikkeling in het denken van leerlingen. Getoond zal worden hoe de combinatie van onderwerpen uit de drie natuurwetenschappelijke disciplines het mogelijk maakt een nieuwe didactiek voor theorievorming en modelontwikkeling te ontwerpen. Door de hier beschreven opzet blijkt de motivatie voor de natuurwetenschappen sterk gegroeid te zijn bij de leerlingen. Met name meisjes worden aangesproken door onderwerpen en werkwijze.

#### *De basis van de cursus*

Een deel van de leerlingen die deze cursus volgen zal in het vijfde jaar natuurkunde, scheikunde en/of biologie kiezen in het examenpakket. Voor hen is het belangrijk dat het onderwijs in de vierde klas daar een goede voorbereiding op geeft. Voor een ander deel van de leerlingen is de cursus in het vierde jaar eindonderwijs in de natuurwetenschappen en dit zal bij hen voor een groot deel het beeld bepalen dat ze in hun verdere leven van de natuurwetenschappen hebben. Hen willen we een zo goed mogelijke voorstelling geven van een aantal moderne inzichten waar ze in het dagelijks leven mee geconfronteerd kunnen worden. Deze overwegingen hebben er toe geleid de cursus vanuit de volgende uitgangspunten op te zetten.

- Hij moet een grondige en geïntegreerde inleiding zijn in het werken met corpusculaire voorstellingen. Leerlingen moeten na dit jaar een goed beeld hebben van cellen, moleculen, atomen, electronen, enz. Ze moeten dan tevens vertrouwd zijn met namen en begrippen die ze in het dagelijks leven via krant en televisie geregeld tegen kunnen komen zoals kernenergie, kernwapens, straling, erfelijkheid, DNA, enz.
- Ook de wijze waarop corpusculaire voorstellingen ontwikkeld zijn en de kennis verworven is, krijgt een plaats in de cursus. De leerlingen moeten minstens één keer in hun leven ervaren dat wetenschap, ook de meeste geavanceerde, gewoon mensenwerk is, dat de kennis over allerlei ogenschijnlijk geheimzinnige zaken als "atomen", "atoomsplitsing" langzamerhand, al worstelend, door mensen ontdekt is.

Als de leerlingen geleerd hebben dat deze zaken ook door hen zelf begrepen kunnen worden, zullen ze beter hun houding tegenover de natuurwetenschappen in de moderne samenleving kunnen bepalen. Voor de democratie in een samenleving waarin wetenschap een grote rol speelt is het belangrijk dat de burgers beseffen dat over de resultaten en de richting van de wetenschap iedereen bevoegd is te oordelen, dat wetenschappelijk onderzoek een beroep is net als alle andere en in dienst hoort te staan (en kan staan) van de samenleving.

Bovenstaande overwegingen komen voornamelijk voort uit de verantwoordelijkheid en het gezichtspunt van de docent, ze zijn gericht op het nut dat de leerling er later (hopelijk) van zal hebben. Veel leerlingen hebben daar echter geen boodschap aan, zeker niet in een tijd van grote jeugdwerkloosheid. Zij zullen slechts actief meedoen als ze het onderwijs op het moment zelf als zinvol ervaren. Als we rekening houden met hun motivatie is dat echter niet alleen een truc om ze beter bij de les te betrekken. We beseffen dat het ook een deel van hun verdere levenshouding bepaalt of ze op school geleerd hebben de dagelijkse bezigheid als zinvol of zinloos te ervaren. De eerste vraag bij het ontwerpen van een programma was daarom: wat op het gebied van de natuurwetenschappen fascineert leerlingen op deze leeftijd, wat prikkelt hun nieuwsgierigheid en onderzoekslust, zodat ze zoveel mogelijk leren van het aanbod?

Een aantal ervaringen met leerlingen in lessituaties heeft de basis gelegd en voor een raamwerk gezorgd, van het programma dat we ontwikkeld hebben en dat qua opzet vanaf de start in 1980 hetzelfde is gebleven. Alleen in onderdelen is het van jaar tot jaar verder uitgewerkt. De twee belangrijkste ervaringen zal ik nu eerst noemen:

- Het was me opgevallen dat het denken in en over "modellen" leerlingen van 15-16 fascineert. Op jongere leeftijd, in de eerste en tweede klas, stuit het verklaren van verschijnselen met moleculen op veel weerstand en kan het eigenlijk alleen maar aangepraat worden. In de derde klas gaat het nog steeds vrij moeizaam (zie ook Vogelesang, 1985) maar in de vierde klas duiken leerlingen die nog niet eerder met die modellen hebben gewerkt daar ineens enthousiast in.<sup>2)</sup> Deze waarneming had er al toe geleid dat we op de OSB het molecuulmodel in de eerste drie jaren nog niet hanteren.<sup>3)</sup>
- De tweede ervaring was dat de context van ontdekkingen in

het verleden ons vaak materiaal kan leveren dat bruikbaar is om bij de leerlingen betrokkenheid en begripsvorming te bevorderen. Daarvoor kan gekeken worden naar de maatschappelijke omstandigheden van de ontdekker (samenleving in die tijd, eigen beroep, godsdienst, enz.) en naar de bewoordingen waarin hij mededeling deed van die ontdekking, bewoordingen die weer sterk samenhangen met de stand van de wetenschap op dat moment. (Zie hiervoor ook Martin Wagenschein (1971), p. 263).

*Praktische randvoorwaarden:*

*a. De inrichting van de school.*

Een aantal aspecten van het aanbod dat hierna beschreven wordt is mogelijk gemaakt door de inrichting van de school. Een aantal andere is docent-afhankelijk, maar er zijn ook onderdelen die meer algemeen geldig zijn. Om de lezer dat te kunnen laten beoordelen beschrijf ik hier een aantal specifiek met het aanbod samenhangende aspecten van de OSB.

De eerste drie jaar zitten alle leerlingen die van de basisschool komen door elkaar in heterogene groepen (lbo- t/m atheneum-adviezen). Ze blijven in dezelfde groep, "zittenblijven" komt niet voor. Beoordelingen worden gegeven in de vorm van directe feed-back op het werk en geschreven woord-rapporten. Leerlingen worden niet onderling gemeten door de docenten: er worden geen cijfer- of letter- beoordelingen gegeven. Na het derde jaar is er een uitsplitsing in twee hoofdrichtingen: MAVO/LBO en HAVO/VWO. Zowel voor HAVO- als voor VWO-leerlingen duurt de studie na het derde jaar nog drie jaar. Officiëel duurt de HAVO dan één jaar langer. (De gemiddelde verblijfsduur is dezelfde als op andere scholen aangezien er geen zittenblijven is en nagenoeg alle leerlingen de eerste keer voor hun examen slagen.) Dit maakt het mogelijk dat ook de HAVO-leerlingen in het vierde jaar nog een algemeen vormend aanbod krijgen en niet direct op het examenspoor hoeven te zitten.

Ook de wijze van beoordelen, met name het afwezig zijn van een competitief element, is zeker voor de gevolgde werkwijze belangrijk. Zoals verderop zal blijken zijn belangstelling voor de onderwerpen en een vrije discussie wezenlijke elementen met behulp waarvan de leerlingen zich de materie eigenmaken.

*b. De schoolvisie op natuur- en scheikunde in de onderbouw.*

Natuur- en scheikunde worden in de eerste drie jaren van de

OSB als één vak gegeven. Al in het eerste jaar, omdat we gemerkt hebben dat veel natuurverschijnselen kinderen juist in de eerste klas boeien en hun fantasie stimuleren. Geïntegreerd omdat het ons op het belangstellingsniveau van 12-15-jarigen niet zinvol leek een scheiding aan te brengen tussen een natuurkundige en een scheikundige kijk op de stoffelijke wereld. Als we het over "vuur" hebben, een onderwerp dat zich sterk in de belangstelling van eersteklassers mag verheugen, is het niet alleen interessant om te zien hoe water in een glas kookt, maar ook hoe allerlei dingen verbranden, smelten, ontploffen, verkleuren, in rook opgaan of gaar worden.

Het kennismaken met en benoemen van allerlei verschijnselen staat de eerste jaren centraal in de natuur- en scheikundelessen. De leerlingen spelen daarin voortdurend een actieve rol, ze doen proefjes, kijken naar demonstraties, discussiëren met elkaar, maar beschrijven en tekenen altijd zelf wat ze gezien en gedaan hebben. We gebruiken in die jaren geen boeken, hoogstens om iets op te zoeken, maar stimuleren de leerlingen zelf te kijken, op hun waarnemingen te vertrouwen en we laten hen oefenen in het weergeven daarvan in hun schrift. Daarin ligt dan ook de differentiatie binnen de klas. Hoewel ze iedere les allemaal met hetzelfde onderwerp bezig zijn, is dat wat ieder er van opsteekt en hoe ieder het verwerkt verschillend.

Door de vrije verwerkingsvorm worden allerlei klassieke onderwerpen uit de natuur- en scheikunde ook voor de docent weer fris. Werk nakijken wordt een veeleisende maar boeiende bezigheid, bij ieder kind is het schrift anders, vaak tref je heel originele verwoordingen aan.

De gevolgde werkmethode heeft ook nadelen: leerlingen die een weerstand hebben tegen schrijven en tekenen, komen hierbij minder aan hun trekken. Het overwinnen van die weerstand, het laten ervaren hoe inspirerend het kan zijn zelf je ervaringen te verwoorden, is overigens één van de doelstellingen van de eerste jaren. Leerlingen bij wie de ambitie vooral gericht is op het halen van "goede cijfers", worden hier niet altijd door gestimuleerd. We proberen die ambitie om te buigen naar het werk zelf: het trots kunnen zijn op het geleverde werk, de verworven kennis, het verkregen inzicht.

In de loop der jaren is een aantal onderwerpen en werkwijzen boven komen drijven waarmee doorgaans alle leerlingen enthousiast aan de gang gaan. Per klas verschilt dat natuurlijk,

de "authentieke vragen" (Beltman, 1984) zijn afhankelijk van de leeftijd. Hoog scoren "Vuur" en "Sterren" in de eerste klas, "Fotografie" en "Scheikunde" in de tweede. Sommige onderwerpen lijken generatie-onafhankelijk te zijn, andere zijn wat meer tijdsgebonden. Voorop staat steeds dat de leerlingen op het moment zelf moeten ervaren er iets van te leren, leeractiviteit vooral vanwege het cijfer of "voor later" is dodelijk voor blijvende interesse.

## **2. Drie vakken, drie lijnen, één aanbod: natuurhistorische oriëntatie**

In dit hoofdstuk worden de drie grote lijnen beschreven die vakinhoudelijk als leidraad voor het aanbod natuurhistorische oriëntatie in het vierde jaar hebben gediend. Deze lijnen lopen door het hele jaar heen, maar vormen ook de rijgdraden voor de onderdelen die apart te herkennen zijn als topics uit de natuurkunde, scheikunde en biologie.

### *Van groot naar klein en weer terug*

Aan deze lijn ligt de opmerking van een leerling ten grondslag die betrekking had op de onderlinge verhoudingen tussen cellen en moleculen. (p.138). We beginnen bij dat wat met het ongewapende oog of door middel van de loep bij planten en dieren te zien is (o.a. met betrekking tot voortplanting), gaan dan in op de rol die de cel als bouwsteen speelt, maken een uitstapje naar eencellige organismen in water en eindigen voorlopig de lessen over de levende natuur bij gisten en bacteriën.

Dan gaan we naar moleculen en komen, via atomen en elektronen, bij de atoomkern en de bouw daarvan. Daarna behandelen we erfelijkheid, ook op moleculair niveau (we bekijken de rol van DNA en aanverwante structuren) om uiteindelijk weer uit te komen bij de "gehele wezens".

De leerlingen zijn dan in staat om voortplanting op een heel ander niveau te begrijpen dan aan het begin. Zij hebben een beeld gekregen van een aantal biologische, natuurkundige en scheikundige onderwerpen. Daarnaast begrijpen ze meer van onderwerpen die maatschappelijk in de belangstelling staan zoals atoomenergie, kernwapens, manipulatie met erfelijkheid, gevolgen van straling voor het leven en bestrijding van ziekten.

### *Het ontwikkelen van een modelbegrip*

Doordat de leerlingen gedurende het jaar steeds weer een veel-

heid aan verschijnselen ordenen met behulp van ook door henzelf ontworpen modellen, ontwikkelen ze tenslotte een voorstelling van de rol die een model speelt in de natuurwetenschap: een gedacht, abstract beeld dat kan dienen om verbanden tussen verschijnselen te zien en om eventueel gebeurtenissen te voorstellen. Door zo met modellen bezig te zijn ervaren ze hoe bijvoorbeeld het atoommodel door mensen bedacht is, maar tevens hoe betrekkelijk en hoe beperkt het is. Dit helpt hen de kracht en de beperkingen van wetenschap in te gaan zien en het kan een positieve uitwerking hebben als ze later kennis maken met modellen uit andere wetenschappen (economie, psychologie, enz.).

### *De historische lijn*

Kennis van de tijd en de omstandigheden waaronder een ontdekking is gedaan kan de leraar bewust maken van problemen die een rol spelen bij het verwerven van inzicht door zijn leerlingen (al zijn de problemen nu en vroeger nooit letterlijk hetzelfde). Ook al wordt een probleem in de klas helemaal niet in zijn historische context behandeld dan is kennis daarvan toch zinvol voor de docent. Soms kan de geschiedenis van een ontdekking ook belangrijk zijn voor een leerling: er kan inzicht uit ontstaan dat de kennis die we nu hebben langzamerhand en moeizaam verworven is, dat wetenschappelijke ontwikkeling samenhangt met maatschappelijke omstandigheden, dat veelal juist de mensen die tegendraads durfden te denken de ontwikkeling gestimuleerd hebben. We willen de leerlingen laten zien dat het, ondanks de bijzondere omstandigheden, toch gewone mensen waren die datgene ontdekt hebben waar we nu op voortbouwen en dat we zeker geen eindpunt bereikt hebben, maar in een ontwikkeling zitten waar alle mensen die nu leven hun aandeel in en dus ook hun verantwoordelijkheid voor hebben.

Het zal de lezer nu waarschijnlijk niet verbazen dat dit aanbod, waarvan hierboven de grote lijnen geschetst zijn, de naam "natuurhistorische oriëntatie" heeft meegekregen.

### **3. Het jaarprogramma van natuurhistorische oriëntatie in vogelvlucht**

#### *De werkwijze*

De randvoorwaarden waarbinnen gewerkt moest worden waren:  
- drie lessen van 80 minuten per week

- een groepsgrootte van 24 tot 30 leerlingen, ongeveer evenveel jongens als meisjes.

In de cursus is een zeer gevariëerd scala aan werkvormen toegepast: practicum in tweetallen en in viertallen, klassikale uitleg en discussies met de hele klas, discussies in kleinere groepen, lezen van teksten, vragen beantwoorden, werkstukken maken, demonstratieproeven, leerlingenproeven, huiswerk, film, museumbezoek, kortom ongeveer alles wat er te bedenken valt aan onderwijsvormen is aan bod gekomen. We probeerden steeds de vorm te kiezen die het beste paste bij het behandelde onderwerp of de situatie in de klas. Een afwisseling van werkvormen heeft bovendien het voordeel dat de leerlingen meer betrokken blijven bij de lessen en dat verschillende leerlingen met verschillende capaciteiten beter aan hun trekken komen.

Ondanks de diverse werkwijzen waren er een paar gemeenschappelijke factoren die het hele jaar door gehandhaafd bleven. We begonnen iedere les gezamenlijk in een kring om het thema van die les te bespreken. Dat kon korter of langer duren, afhankelijk van onderwerp en werkvorm in die les. Verder hield iedere leerling een eigen schrift bij, waarin alles uitgewerkt moest worden. Aan de verzorging en inhoudelijke kwaliteit van tekst en tekeningen werden hoge eisen gesteld. Het moest als het ware een eigen boek worden, ook leesbaar voor een leerling die er eens een keer niet was geweest of voor iemand thuis. Zo bereikten we dat de leerlingen op hun eigen niveau oefenden in uitleggen van wat ze geleerd of gedaan hadden en dat de kwaliteit van die verwoording door het jaar heen vooruit ging. Van de docent vereist dat regelmatig nakijken van de schriften en aan de hand van het gelezene de klas of een individuele leerling duidelijk maken hoe vooruitgang geboekt kan worden.

Tot slot nam de discussie een belangrijke plaats in tijdens de lessen. Geregeld kwamen er problemen voor (met name op het punt van model-ontwerpen) waar geen eensluidende oplossing voor bestond of waar meningsverschillen over waren. Zowel in de discussie met de hele klas als in kleine groepjes probeerden we te bereiken dat men nadacht over wat men gezien had, van daaruit verder redeneerde en niet in de eerste plaats op de autoriteit van leraar of boek afging. In het begin moest dit bewust verzorgd en bewaakt worden, langzamerhand leerden de leerlingen steeds meer te vertrouwen op hun eigen oordeel.

Om dat te bereiken is er een sfeer in de klas nodig waarin



de leerlingen zich niet beoordeeld weten op fouten die ze maken, maar vrijuit durven te spreken en te associëren, gebruik makend van argumenten en waarnemingen. Waar de leraar dan nog voor moet zorgen is dat niet onnodig de autoriteit van "de geleerde" gaat meespreken. In het begin van de cursus was het verlangen naar zo een autoriteit doorgaans nog sterk in de leerlingen aanwezig. Langzamerhand leerden ze, door zelf modellen te ontwerpen, door te zien dat die weer door henzelf (of klasgenoten) verworpen konden worden of verbeterd en door de historische parallellen daarvan te zien, steeds meer te vertrouwen op hun eigen oordeelsvermogen.

*De inhoud, ingedeeld in drie thema's*

*a. De microscoop en de ontwikkeling van de ideeën over voortplanting en ziekte*

Bij het ontwerpen van modellen is de wisselwerking tussen eigen waarneming en theorievorming essentieel. Daarom oefenen we deze wisselwerking direct bij het eerste onderwerp. Tevens maken we hierbij duidelijk hoe theorievorming samen kan hangen met ideeën over leven en samenleving. We beginnen met het ophalen van enige basiskennis over voortplanting door bouw en functie van een aantal bloemen te bestuderen. Dit gebeurt met het blote oog en de stereo-loep, er wordt geoefend in het waarnemen en het schematisch tekenen. De zelfgemaakte tekeningen vormen de illustraties bij een artikel dat iedere leerling schrijft over geslachtelijke en ongeslachtelijke voortplanting. Overige informatie daarvoor wordt op verschillende manieren aangereikt: verhalen over (merkwaardige) vormen van voortplanting bij dieren (zeeduizendpoot, bij, slak, zeester), mondelinge en schriftelijke uitleg van voortplanting bij varens, schimmels en mossen, met waar mogelijk eigen waarneming. Het zelf kweken van schimmels en de kennismaking met zeldzame vormen van voortplanting fascineert de leerlingen.

Als afwisseling met het praktische werk maken de leerlingen (door middel van verhalen en teksten met vragen) kennis met de ideeën van Hippocrates en Aristoteles over de rol van man en vrouw bij de voortplanting van de mens, opvattingen die de veranderende maatschappelijke verhoudingen in hun tijd weer spiegelen. Het is in deze lessen voor de leerlingen de eerste kennismaking met de wisselwerking tussen waarneming en theorie, ze zien hoe waarnemingen gekleurd kunnen worden door de

manier waarop men er naar kijkt en hoe dit dan weer tot verschillende theorieën kan leiden.

Vervolgens gaan we naar microscopisch kleine levensvormen in slootwater kijken waarbij onder andere geoeftend wordt in het gebruiken van steeds sterkere vergrotingen en het maken van tekeningen van microscopische preparaten. Aan de hand van door de leerlingen zelf gemaakte preparaten (ui, aardappel, waterpest, rozebottel) maken ze kennis met de cel als bouwsteen van plantaardig en dierlijk leven.

De historische lijn pakken we weer op door te gaan kijken naar de tijd waarin de microscoop is uitgevonden, de Gouden Eeuw. We zien hoe de ontdekkingen van Van Leeuwenhoek en Swammerdam de theorieën over voortplanting ingrijpend beïnvloedden, hoe ook daar geen eenduidige opvattingen uit voortkwamen en hoe de discussies beïnvloed werden door maatschappelijke en religieuze opvattingen. Eenzelfde soort discussie komen we dan twee eeuwen later weer tegen als Pasteur probeert aan te tonen dat rotting en gisting ook levensvormen zijn en geen werk van de duivel.

Voordat we bij Pasteur uitkomen, een onderwerp dat hoort bij het hoofdstuk bacteriën en virussen, hebben de leerlingen kennis gemaakt met de ingrijpende gevolgen die ziekte en met name epidemieën hadden in het Europa van vorige eeuwen. De komst van de pest is daarvan het meest markante voorbeeld. We proberen ons in die tijd in te leven door de verhalen en de maatregelen te begrijpen die de mensen tegen de pest namen. Van het gebruiken van kruiden tot flagellantenprocessies en jodenvervolgingen, al deze zaken blijken bij nader onderzoek ook in onze tijd parallellen te hebben als mensen bang zijn voor onbekende of onbeheersbare zaken. Aids was nog niet geconstateerd toen we dit programma begonnen te ontwikkelen. Het past hier natuurlijk naadloos in.

Het belang van de ontdekkingen van Pasteur voor de voedselconservering en de bestrijding van besmettelijke ziekten wordt de leerlingen door de inleving in vroegere tijden pas goed duidelijk. Tegelijkertijd begrijpen ze de weerstanden vanuit de gevestigde wetenschap die zijn ontdekkingen opriepen. In hetzelfde kader staan de ontdekkingen van Jenner (entstof tegen pokken) en Fleming (penicilline). Het praktische werk dat de waarnemingen ondersteunt bestaat bij dit onderwerp uit het kweken van bacteriën.

Het belang van een goede hygiëne is nu begrijpelijk geworden, ook waarom die vroeger vaak ontbrak en wat daarvan de gevolgen waren. Allerlei ziektes die klasgenoten of familie hebben gehad komen ter sprake en als afsluiting van dit onderwerp wordt er geleerd hoe wij ons nu door middel van vaccinatie en inenting tegen vele ziekten weten te beschermen.

*b. Moleculen, atomen en kernenergie*

In tegenstelling tot de verwachting van veel leerlingen laten we ook bij dit onderwerp de eigen waarneming een centrale rol spelen.

Door middel van allerlei proefjes met verdamping, uitzetting, kristallen maken, enz. wordt in klessediscussies een model ontwikkeld van de bouw van niet-levende materie. Daarbij zijn in principe alle in de discussie aangedragen modellen goed, mits ze consistent zijn met het waargenomene en het eerder beredeneerde. Veelal worden er meerdere "goede" modellen aangedragen, we beslissen dan met het "scheermesprincipe van Ockham" welk model we verder voorlopig als geldig accepteren. Dit principe, dat inhoudt dat bij meerdere mogelijkheden het eenvoudigste model gekozen wordt, is voor de leerlingen heel acceptabel en geeft ze bij herhaaldelijk hanteren een goed beeld van hoe een model tot stand komt en benaderd moet worden.

Een model dat voor natuurwetenschappelijk opgeleide docenten zijn waarde verloren heeft, zoals het vuur-aarde-waterlucht-model uit de Griekse Oudheid, blijkt veel zeggingskracht te hebben voor leerlingen die nog niet van het atoommodel doordrongen zijn. Het geeft een inleiding in het model-denken over "dode" materie en geeft tevens een verbinding met de eerder besproken theorieën uit de Oudheid over voortplanting.

Stellen we dit dan tegenover het atoommodel van Demokritus, dan blijkt het laatste niet zonder meer favoriet te zijn in de ogen van de leerlingen.<sup>4)</sup> Een nieuw aspect bij het maken van een keus voor een model treedt op in de tijd vanaf Galilei, als het meten een plaats krijgt in de natuurwetenschappen.

Nu komt de kinetische gastheorie in het vizier, waarmee door middel van snelle en volkomen veerkrachtig botsende deeltjes uitzettings- en verdampingsverschijnselen verklaard kunnen worden. Het zelf bepalen van het absolute nulpunt, ervaren de leerlingen als een magistrale bevestiging van het model.

De verdere ontwikkeling van het modelbegrip heeft een meer

scheikundig karakter. In de voorgaande lessen hebben de leerlingen moleculen leren kennen als verantwoordelijk voor het behoud van de eigenschappen van een bepaalde stof. We zijn daarbij tot de hypothese gekomen dat een en dezelfde stof uit dezelfde moleculen bestaat en dat iedere stof andere moleculen heeft. We ontwikkelen nu de begrippen "stof" en "chemische reactie" gelijktijdig en met behulp van de verdere ontwikkeling van de begrippen "atoom" en "element".<sup>5)</sup>

Door middel van thermolyse, electrolyse, reacties tussen stoffen, massabehoud bij reacties en een kopercyclus, komen we bij het atoom als molecuul van een element. (In dit stadium is het nog niet belangrijk er stil bij te staan dat moleculen van elementen uit meerdere atomen kunnen bestaan). Historische gebeurtenissen die bij dit onderwerp passen en die de leerlingen boeien zijn de proeven van alchemisten, de experimenten van Priestley en Lavoisier met lucht en de ontdekking van zuurstof. Ook de invoering door Dalton van de symbolen voor elementen blijkt veel leerlingen aan te spreken.

Hier wil ik er nog eens op wijzen dat we ook bij deze onderwerpen zorgvuldig bewaken dat er geen definitieve uitspraken van de kant van de leraar komen, de leerlingen krijgen zodoende een beeld van hoe een model van onzichtbare dingen zich kan ontwikkelen. Dit is een belangrijke vaardigheid, zowel voor het begrijpen van de volgende onderwerpen als om inzicht te krijgen in de manier waarop wetenschappers ook nu nog werken.

Het volgende onderwerp is electriciteit.<sup>6)</sup> We starten met een electrostatica practicum, waarbij een theorie ontwikkeld wordt over positieve en negatieve lading. Bestudering van stromende electriciteit en van het verband met electrostatica levert een model op voor een klein geladen deeltje, dat dwars door een verzameling moleculen heen wordt doorgegeven. We komen dan terug op de electrolyse: proeven waarbij het molecuul-model en het atoommodel aangevuld worden met het ion-model.

Vervolgens wordt een aantal experimenten met de kathodestraalbus gedaan en worden de toepassingen die daaruit voortgekomen zijn besproken: onder andere de T.L.-lamp, de Röntgenbus, de televisie. De ontwikkelde theorie over electriciteit en de atoom- en molecuul-theorie proberen we in de klassediscussie met elkaar te combineren: wat kunnen we nu afsluitend concluderen over de bouw van de materie?

Wij zijn dan aangekomen bij het einde van de vorige eeuw. Door hun kennis van electrostatica en de kathodestraalbuis kunnen de leerlingen, via de ontdekkingen van Becquerel, het werk van de Curies en Rutherford, kennismaken met verschijnselen op het gebied van de radio-activiteit zoals die eind vorige eeuw werden waargenomen en doordacht. Uiteraard worden er ook weer vergelijkbare experimenten in de klas gedaan.

We zijn met de klas nu zover gekomen dat we allerlei toepassingen van de kennis van de atoombouw kunnen begrijpen: kernenergie, kernwapens, radio-activiteit in de techniek, enz. Naar gelang de situatie in de klas of de voorkeur van de docent vinden hier allerlei verschillende werkwijzen plaats: bestudering van een populair-wetenschappelijk boek over een of meer van deze onderwerpen, het maken van een werkstuk over een onderwerp naar eigen keuze met presentatie aan de rest van de klas, een klassikale behandeling van een of meer van deze topics, kortom er zijn mogelijkheden genoeg doordat de leerlingen een zeer duidelijk beeld hadden van een aantal basisbegrippen.

### *c. Erfelijkheid en experimenten met het leven*

Na de afsluiting van het vorige onderwerp keren we terug naar de levende natuur. De leerlingen maken kennis met de experimenten van Mendel. Doordat ze veel geoeftend hebben met modellen is het hun snel duidelijk hoe uit deze experimenten een model opgesteld kan worden van vooralsnog onzichtbare genen als dragers van erfelijke eigenschappen. Hiermee kunnen ook allerlei andere fok- en kweekresultaten uit dieren- en plantenwereld begrepen worden. Bloemen, paarden of honden, veel mogelijkheden afhankelijk van de belangstelling van de leerlingen.

Via de ontdekkingen uit de vorige eeuw van Schleiden, Schwann en later Strasburger raken de leerlingen vertrouwd met de centrale rol die de cel en daarin vooral de celkern speelt bij de groei en erfelijkheid. Er wordt een model voor de celkern ontworpen, waarin de eerder veronderstelde genen een plaats hebben.

Sterke vergrotingen van de celkern uit onze tijd leren hoe het proces van celdeling verloopt en welke onderdelen van de kern daarbij een rol spelen. Dit brengen we in verband met het eerder ontworpen model. Doordat de leerlingen een beeld hebben van de cel en van moleculen is duidelijk te maken wat de theo-

rieën over de bouw van de chromosomen zijn en wat de rol daarvan is bij de groei en voortplanting.

Kennis van de radio-aktiviteit maakt begrijpelijk hoe erfelijke eigenschappen kunnen veranderen door straling en hoe diep die straling ingrijpt in de fundamente van het leven zelf. De mogelijkheden die er tegenwoordig zijn om door kennis van de erfelijkheid levensprocessen te kennen en te beïnvloeden grijpen leerlingen erg aan. Alleen al de mogelijkheid om te bepalen of ouders een jongetje of een meisje zullen krijgen brengt hevige discussies teweeg in de klas: is een dergelijk gebruik van kennis aanvaardbaar? Het commercieel gebruik van de erfelijkheidskennis bij de manipulatie met DNA brengt de verbinding tussen wetenschap en industrie weer terug, een verbinding die we in de loop van de cursus vele keren zijn tegengekomen.

In het kader van deze afsluiting passen ook evolutie-theorieën. De leerlingen hebben daar eveneens veel belangstelling voor maar we zijn daar door tijdgebrek niet ieder jaar aan toe gekomen. De leerlingen hadden voor zo veel onderwerpen interesse dat het een grotere kunst is om te beperken dan om goede onderwerpen te vinden.

#### **4. Knelpunten**

Aan het slot van het tweede artikel zal ik ingaan op de belangrijkste problemen die we gesignaleerd hebben bij het realiseren van het hiervoor geschetste aanbod. Die hebben te maken met de behandelde stof en met de werkwijze die uitgebreider in deel 2 besproken wordt. Hier slechts een opmerking over waar docenten die deze cursus geven tegen aan kunnen lopen.

Ze moeten niet alleen bereid zijn onderwerpen uit andere vakken te bestuderen, maar zich ook verdiepen in de mentaliteit van waaruit in de verschillende vakken les wordt gegeven. Zo kan voor een natuurkundige de problematiek rondom vaccinatie en erfelijkheid lastig zijn. Voor een bioloog is bijvoorbeeld het ontwikkelen van een molecuul- en atoommodel een niet vertrouwd bezigheid. Voor beiden kan gelden dat de bepleite openheid en terughoudendheid in de klassediscussies niet vanzelfsprekend is, docenten willen nu eenmaal graag onderwijzen.

Onze ervaring is dat deze problemen meestal goed ondervangen kunnen worden, wanneer twee (of meer) docenten uit verschillende disciplines tegelijkertijd de cursus geven en samen de lessen voorbereiden en evalueren.

Belangrijk voor het vertrouwen van de leerlingen in wat ze leren is dat de leraar niet onzeker wordt wanneer hij het antwoord op een vraag niet weet. Als een leraar durft te zeggen: "Dat weet ik niet, ik zal het eens opzoeken of bij mijn collega navragen", bevordert dat het inzicht bij leerlingen dat ook wetenschappers niet alles weten.

## Noten

1. Deze artikelen zijn een bewerking van eerdere publicaties in *Chimica Didactica*, door Rupert Genseberger (1986, 1987) Hoe theorie-vorming en modelontwikkeling geoefend worden is het onderwerp van het tweede artikel.
2. De leerlingen bereiken hier een leeftijd waarop velen zich gaan interesseren voor "grottere vragen" dan die op hun directe omgeving betrekking hebben. In de lessen natuurwetenschappen zijn dan vragen interessant als:
  - waar komt het leven vandaan
  - hoe groot is het heelal, is er een eind aan, was er een begin
  - waaruit bestaat allesDeze vragen blijken leerlingen bezig te houden, stimuleren hen tot actief denken. Het zijn ook vragen geweest die onderzoekers in het verleden gestimuleerd hebben om na te denken over en te zoeken naar wetten die aan de natuur ten grondslag zouden liggen. Zie ook Beltman (1984), die pleit voor het meer aan bod laten komen van "authentieke vragen" in het natuurkunde-onderwijs.
3. Een aantal van deze opvattingen zijn zeer verwant aan die van Martin Wagenschein. Het kennismaken met zijn werk heeft me gesterkt in mijn uitgangspunten en me geïnspireerd op de ingeslagen weg voort te gaan. Zie voor dit onderdeel "Die Rechtzeitigkeit der physikalischen Begriffsbildung", Wagenschein (1971), p. 178 e.v.
4. De ervaringen die ik hiermee opgedaan heb, laten me ook zien dat de leerlingen moeilijker hun eigen gedachtengangen kunnen ontwikkelen wanneer het atomisme van Demokritus zonder meer geponoerd wordt. Meestal gebeurt dat dan in een karikaturale vorm, zie daarvoor ook "Demokrit auf dem Zeugenstand", Martin Wagenschein en Peter Buck (1985). Zie tevens Schlopke (1987).
5. Ongeveer tegelijkertijd met de ontwikkeling van deze cursus, heeft De Vos (1985) een scheikundemethode ontworpen waarin hij een gelijksoortige begripsontwikkeling bepleit.
6. De volgende onderwerpen vertonen overeenkomst met de inhoud van "Rondom 1900" van de PLON. Er zit echter een groot verschil in de wijze van aanbieden. In "Rondom 1900" wordt veel verteld (op een mijns inziens te moeilijk niveau) over wat mensen in die tijd gedaan hebben. In de hier beschre-

ven cursus worden veel activiteiten door docent en leerlingen zelf ondernomen, naar aanleiding daarvan wordt dan verwezen naar ontdekkingen die rondom 1900 gedaan zijn.

### Literatuurlijst

- Beltman, J.M. (1984) Authentieke drijfveren in de ontwikkelingsgeschiedenis van de natuurkunde, *Tijdschrift voor didactiek der  $\beta$ -wetenschappen*, 2, 87-101.
- Genseberger, R. (1982) Leren van leerlingen, *Faraday*, 51, 1-3.
- Genseberger, R. (1986) Ein historisch orientierter integriert naturwissenschaftliche Kurs für 15-16 jährige, *Chimica didactica*, 12, 197-210.
- Genseberger, R. (1987) Entwicklung eines Modellbegriffs bei 15-16 jährigen Schülern, *Chimica didactica*, 13, 5-20.
- PLON, *Rondom 1900*, Utrecht.
- Schlopke, W.I. (1987) Die Philosophischen Postulate der Atomtheorie und ihre Bedeutung bei der Behandlung der Atomhypothese im Chemieunterricht, *Chimica didactica*, 13, 89.
- Vogelezang, M.J. (1985) Ervaring tot theorie, *Tijdschrift voor didactiek der  $\beta$ -wetenschappen*, 3, 108-123.
- Vos, W. de, (1985) *Corpusculum delicti*, Utrecht, Universiteit Utrecht
- Wagenschein, M. (1971) *Die pädagogische Dimension der Physik* Braunschweig, Westermann Verlag.
- Wagenschein, M. & Buck, P. (1984) Demokrit auf dem Zeugenstand, *Chimica didactica*, 10, 3-20.