

## Verstudieboeking: De totstandkoming van feiten beschouwd vanuit een didactische optiek

E. Joling<sup>1</sup> en H.H. ten Voorde

Didactiek der Scheikunde, Universiteit van Amsterdam,

A.H. Verdonk

Vakgroep Chemiedidactiek, Rijksuniversiteit te Utrecht.

### Summary

*Going from (chemical) research to textbooks a tendency toward presenting results of research as indisputable facts is noticeable. Since any trace of construction of facts is lost in textbooks, we think it's harder for learners to internalize the introduced facts. The role of facts is studied in four cases. By two examples it is shown that fact-learning might obstruct progress in research. A third case illustrates changes of language in the process of fact-making, and by a fourth example we try to show how the process of what we call 'textbookification' works.*

### Inleiding

In scheikunde-onderwijs en -onderzoek speelt schriftelijk materiaal een grote rol. Onderzoekers publiceren in tijdschriften en veel van hetgeen onderwezen wordt is afkomstig uit studieboeken<sup>2</sup>. Deze bieden vaak een overzicht van resultaten van onderzoek.

In dit artikel wordt getracht een begrip "verstudieboeking" te creëren. Daarbij willen we zichtbaar maken dat het ons niet gaat om de resultaten van onderzoek, maar om het proces waarin die resultaten tot stand komen. Hiertoe is het volgens ons noodzakelijk uitgebreide tekstfragmenten te presenteren als onderzoeksmateriaal dat het de lezer mogelijk kan maken verstudieboeking als een proces te ervaren en onze interpretaties kritisch te volgen. We gaan daarbij uit van enkele ons bekende problemen in chemie-beoefening. Die problemen interpreteren we als een gevolg van een onderwijsaanbod, waarbij oorspronkelijk door argumentatie verkregen inzichten als feiten worden gepresenteerd (§1). Aan de hand van het Bohrse atoom betogen we dat feiten worden gemaakt en dat daarbij een verandering van woordgebruik optreedt (§2). De verschillende contexten die

daarbij ontstaan worden in een aantal op onderwijs gerichte teksten niet helder onderscheiden (§3). We noemen dit "verstudieboeking", die belemmerend tot zelfs blokkerend kan werken in zowel onderwijs als onderzoek (§4).

### 1. Chemici, chemie en studieboeken

Het afgelopen jaar ontving de Amerikaanse biochemicus Thomas R. Cech de Nobelprijs voor de scheikunde voor zijn in 1982 gedane ontdekking van de biokatalytische activiteit van RNA in het eencellige *Tetrahymena thermophila*. Niet langer kon biokatalytische activiteit louter en alleen aan eiwitten worden toegeschreven. Naar aanleiding hiervan vond Cech dat de leerboeken voor biologie en biochemie herschreven zouden moeten worden.

"De ontwikkelingen in de biochemie gaan zo snel, dat studieboeken van vijf jaar geleden nu absoluut verouderd zijn", aldus Thomas R. Cech (Evenblij, 1988). De succes-story: Cech ontdekt per toeval dat een bepaald proces ('splicing') ook optreedt in afwezigheid van eiwitten, en moet concluderen dat ook RNA biokatalytische activiteit vertoont.

"Zoiets geloof je niet, want de bestaande hypothese *leert*<sup>3</sup> dat *alleen* eiwitten tot zo'n enzymatische activiteit in staat zijn" (Evenblij, 1988). "*Alle* biochemische processen worden versneld door biokatalysatoren of enzymen, en *alle* enzymen, zo wist iedere student, waren eiwitten. (...) We namen dus als vanzelfsprekend aan dat enzymen in de kern de splice-reactie versnelen (...) Dit resultaat was volkomen ongerijmd. Er was totaal geen precedent voor. In dat controle-experiment zat alleen maar het RNA en nog wat kleine moleculen, maar geen eiwit. We konden geen andere hypothese verzinnen dan dat aan het RNA heel stevig een eiwit gebonden was en dat dit eiwit de reactie katalyseerde" (Eijgenraam, 1988). En als deze hypothese onjuist blijkt en de keuze van een nieuwe zienswijze (zoals het toekennen van biokatalytische activiteit aan andere stoffen dan eiwitten, in dit geval aan RNA) uiteindelijk toch onontkoombaar is, dringen de nieuw verkregen inzichten door tot de studieboeken. Cech: "In alle tegenwoordige biochemieleerboeken is de definitie van het begrip 'enzym' gewijzigd - er staat nu dat enzymen *meestal* eiwitten zijn maar *soms* RNA moleculen" (Eijgenraam, 1988).

De vraag kan nu gesteld worden of het voldoende is om na

elke nieuwe ontwikkeling in de chemie de studieboeken te herschrijven.

### 1.1 Feiten en studieboeken

In een bekend biochemieboek (Lehninger, 1977, p. 9) viel te lezen: "Cells can function as chemical engines because they possess *enzymes*<sup>4</sup>, catalysts capable of greatly enhancing the rate of specific chemical reactions. Enzymes are highly specialized protein molecules, made by cells from simple amino acids". En ook (p. 11): "There is another important result of the fact that all chemical reactions in the cell are enzyme-catalyzed (...)". Niet alleen worden enzymen hier gedefinieerd ("are") als eiwitten; er wordt als *feit* vermeld dat *alle* reacties in de cel enzym-gekatalyseerd zijn.

Iets meer openheid valt aan te treffen in een ander leerboek (Stryer, 1981, p. 11): "Nearly all chemical reactions in biological systems are catalyzed by specific macromolecules called enzymes", maar een paar bladzijden (p. 37) verder verdwijnt dat weer: "Proteins play key roles in nearly all biological processes. All enzymes, the catalysts of chemical reactions in biological systems, are proteins", en elders (p. 130): "The catalysts in biological systems are enzymes, which invariably are proteins.". Het is dan ook niet verwonderlijk dat Cech en zijn medewerkers moeite hadden het RNA in *Tetrahymena thermophila* biokatalytische activiteit toe te kennen. De in studieboeken tot feiten verabsoluteerde empirische regels lijken hier tot een belangrijke vertraging in en mogelijk zelfs blokkering van het kunnen kiezen van een nieuwe zienswijze te hebben geleid.

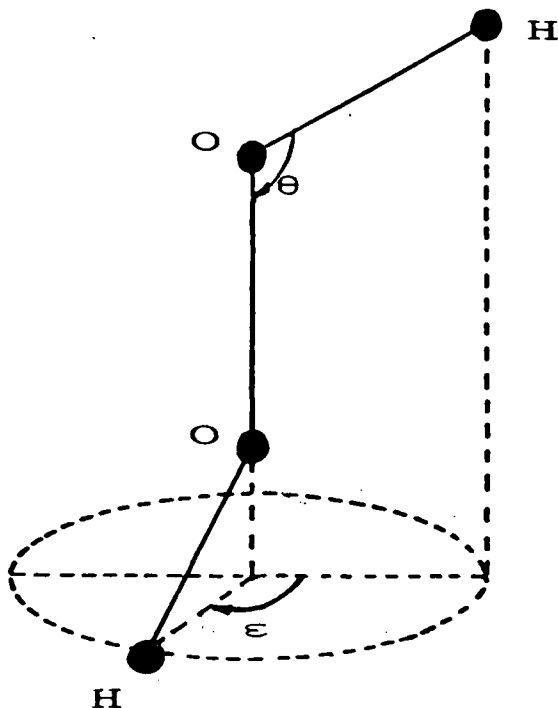
In een recente editie van dit laatste leerboek (Stryer, 1988) is men heel wat voorzichtiger: "Nearly all known enzymes are proteins. The recent discovery of catalytically active RNA molecules, however, indicates that proteins do not have an absolute monopoly on catalysis." De resultaten van Cechs werk worden hier in een aparte paragraaf besproken (p. 725). Onbesproken blijft echter hoe Cech aanvankelijk geblokkeerd werd door zijn kennis: biokatalysatoren zijn eiwitten. Het blijft bij: "Studies of this splicing reaction by Thomas Cech and his coworkers led to some unexpected findings" en "Could it be that an essential protein was not removed from the precursor RNA?", om vervolgens in te gaan op de nieuw "ontdekte" feiten.

We zien hier dat in een studieboek dat gebruikt wordt in de

voorbereiding op biochemie-beoefening, de aandacht slechts op de resultaten van wetenschapsbeoefening gericht wordt, en niet op de totstandkoming. De resultaten, door studieboeken als feit gepresenteerd, staan niet langer ter discussie. Degene die ze wel ter discussie stelt, kan, zoals we hierna zullen zien, grote weerstand ondervinden.

### 1.2 Blokkering in communicatie tussen chemici

Een voorbeeld waarin we zo'n weerstand ten gevolge van het tot feit verheffen van een hypothese, menen te kunnen aanwijzen is de gang van zaken rond de acceptatie van een artikel van Block en Jansen (1985) over een model voor de beschrijving van evenwichtsgeometrie van en rotatiebarrieres in moleculen als  $\text{H}_2\text{O}_2$ .



Op grond van spectroscopische metingen stelde men een halve eeuw geleden dat de O-H bindingen niet vrij roteren om de O-O as. Bovendien nam men aan dat het molecuul niet vlak is. De projecties van de O-H bindingen in een vlak loodrecht op de O-O binding vormen een hoek  $\epsilon$  die noch  $0^\circ$  (cis-configuratie), noch  $180^\circ$  (trans-configuratie) bedraagt. De hoek bedraagt  $100^\circ$ - $120^\circ$ : een "skewed" structuur. Het  $\text{H}_2\text{O}_2$ -molecuul is het eenvoudigste molecuul (d.w.z. met het kleinste aantal atomen die bovendien een zo laag mogelijk atoomgewicht hebben) waarbij gehinderde rotatie (om de O-O as) optreedt.

Het concept van "vrije elektronenparen" nam in de verklaringen van de geometrie een belangrijke plaats in. Het speelt echter in het door Block en Jansen gehanteerde model (een analogon van het "superexchange" mechanisme uit de vaste-stof fysica) geen rol. Zij gaan voor hun berekeningen uit van bolsymmetrische (s) golffuncties, en niet van  $2s^2 2p^2$  configuraties. Voor de eerste referee vormde dit aanleiding om het artikel "utterly unsuitable for publication" te noemen. Immers: "Both the non-linearity and the barriers are determined in essence by lone pairs on the central atoms. These pairs are omitted here." De tweede referee kon het bezwaar van de eerste begrijpen: "Here however, they (Block en Jansen) assault the bastions of small-molecule quantum chemistry, and I am not surprised that the first referee was unhappy", en gaf niet alleen de herkomst van de nadruk op de rol van vrije elektronenparen aan: "(...) the "lone pair" effects lumped into one by careless freshman chemistry instructors (...)", maar ook de hardnekkigheid: "If the authors feel strongly that "there exists in modern literature no reference in which it is explicitly shown that lone pairs are responsible for molecular conformations and barriers of rotation" (...) then they should document their assertion, in their manuscript. However, that may prove rather inflammatory."

De literatuurstudie naar quantumchemische *ab initio* berekeningen leverde zoveel tegenstrijdigheden op ten aanzien van de hanteerbaarheid van het concept van vrije elektronenparen, dat het artikel uiteindelijk geaccepteerd werd.

Een van de auteurs zei tijdens een lezing (Jansen, 1985): "Zoals bekend, speelt het begrip "lone-pair" elektronen, net als dat der "hybridizatie", een buitengewoon belangrijke rol in de stereochemie van anorganische en organische moleculen. Deze begrippen zijn zó vanzelfsprekend duidelijk, en makkelijk han-

teerbaar, dat hun geldigheid in de afgelopen 50 jaren niet of nauwelijks ter discussie werd gesteld."

Integendeel, de in 1934 door Penney en Sutherland bedachte, en door Pauling (1960, p. 134) overgenomen verklaring, wordt nog steeds onderwezen<sup>5</sup>. Zoals Jansen (1985) zegt: "(...) als we constateren dat jongere-jaarsstudenten absoluut geen moeite hebben met een  $\epsilon$  ( $= \phi_0$ ) in de buurt van  $100^\circ$ . Hun wordt bijgebracht dat elk zuurstof-atoom twee 2s- en twee 2p-electronen bezit die niet meedoen aan de chemische binding met het andere O-atoom en met H: de zogenaamde "lone-pair" electronen."

De weerstand van de eerste referee om tijdelijk het gezichtspunt van de vrije electronenparen los te laten, en het artikel te beoordelen vanuit hetzelfde gezichtspunt als Block en Jansen, lijkt hier te verklaren door te stellen dat de lone-pair electronen voor hem een onbetwistbaar feit zijn; een dogma dat door studieboeken en onderwijs gebaseerd op overdracht van feiten, in stand wordt gehouden.

We hebben nu twee problemen in chemie-beoefening geïnterpreteerd als een gevolg van feitenkennis, zoals die in studieboeken gepresenteerd wordt. De feitelijkheid van die feiten lijkt daarmee problematisch geworden te zijn. In de volgende paragraaf willen we daarom ingaan op de aard van dergelijke feiten.

## 2. Feiten maken

In het voorafgaande hebben we enkele studieboeken leren kennen als onderwijsmiddelen die onderzoeksresultaten (benoemingen, regels) als feiten presenteren, en de weg waarlangs die feiten tot stand komen niet zichtbaar maken. Dat kan blokkerend werken bij chemiebeoefening, zoals we aan twee voorbeelden zagen.

In deze paragraaf willen we nagaan hoe feiten tot stand komen in wetenschapsbeoefening (§2.1 en 2.2), om vervolgens een verband te leggen met begripsvorming in onderwijs (§2.3).

### 2.1 Begripsvorming

Kuhn (1970, p. 19) noemde de verzamelde feiten een basis waarop een wetenschapper voort kan bouwen. Studieboeken functioneren volgens Kuhn als introductie in de mores van het vigerende paradigma. Daarbij wordt "kennis" als vaststaand feit

gepresenteerd, waarvan de herkomst in het ongewisse mag of zelfs moet blijven (p. 136).

Latour (1987) spreekt bij dergelijke feiten van een "black box". Zo'n black box blijft gesloten, dat wil zeggen: het feit wordt niet ter discussie gesteld. Sterker: volgens Latour zijn wetenschappers er op gericht black boxen te sluiten, ofwel feiten te creëren. Dat sluiten van black boxen is een sociaal proces. Latour (p. 29) stelt: "(...) the fate of what we say and make is in later users' hands." Hoe meer aanhangers een "feit" krijgt, des te geslotener, des te "zwarter" wordt de black box. Pas bij grote controversen, vergelijk de begrippen "enzym" en "vrije elektronenparen", worden ze weer geopend.

Beschouwen we, als didactici, het ontstaan van zulke feiten als begripsvorming, dan kunnen we door te letten op taalgebruik zicht krijgen op de vraag hoe deze feiten tot stand komen. Als voorbeeld daarvan willen we kijken naar het woordgebruik tijdens de gesprekken zoals vastgelegd in congresverslagen en memoires, die Rutherford en Bohr voerden met tijdgenoten, kort na het verschijnen van Bohrs artikel (1913) over wat wel "het eerste Bohrse atoommodel" wordt genoemd. Wat deden zij om begrepen te worden, hoe kwamen zij anderen tegemoet? Gaan we er met Latour van uit dat het sluiten van black-boxen niet zonder anderen kan, dan moet samen overeenstemming bereikt worden over de te kiezen gezichtspunten. Begripsvorming wordt door ons dus opgevat als een proces waarin men samen tot een nieuw taalgebruik komt. Analyse van dit proces geeft dan een beeld van gezichtspunten die gekozen werden om tot het feit atoom (volgens Rutherford of Bohr) te komen.

## 2.2 *Contextverschillen*

Dat ook chemici belangstelling voor de fysische denkbeelden over atomen hadden mag blijken uit het feit dat in 1914 de structuur van atomen en moleculen in een gemeenschappelijke vergadering van de fysica- en chemiesectie van de British Association bediscussieerd werd (1914, p. 293). Bohrs werk "On the constitution of atoms and molecules" (1913) was toen een jaar oud en strekte zich ook uit tot systemen met meer dan één kern.

Opmerkelijk is dat Rutherford een "chemical atom" onderscheidt, dat voor hem een entiteit geworden was: "In recent times there has been an accumulation of convincing evidence of

the independent existence of the chemical atom. The atomic theory is no longer merely an hypothesis introduced to explain the laws of chemical combination; we are able to detect and count individual atoms".

Uit de woorden van de chemicus Armstrong, reagerend op Rutherford, blijkt dat zo'n zelfstandig bestaand, waarneembaar en telbaar atoom voor chemici heel nieuw was<sup>6</sup>: "(...) the views that are now advocated by physicists are entirely different from any conceptions that chemists have ever entertained and cannot easily be assimilated by them." Hij stelde vanuit de chemie eisen aan het te ontwerpen atoom: "Any theory of atomic structure to be satisfactory to chemists must take fully in account the peculiar valency relationships that are manifest among the elements, as the system of 'structural' formulae now in vogue is based solely upon these." (British Association, 1914, p. 294). Armstrong benadrukt een niet-corpusculaire visie op atomen en formules: "It should be pointed out, however, that so-called structural formulae are to be regarded as condensed symbolic expressions indicative of the general behaviour of the compounds represented in terms of certain well-understood conventions, rather than as actual representations of structure."

Structuurformules zijn voor Armstrong geen afbeelding van een ruimtelijke ligging van atomen, maar een weergave van de reactiemogelijkheden van de door de formule gerepresenteerde stof.

Voor Rutherford en Armstrong heeft "atoom" een verschillende betekenis, een betekenisverschil dat wij willen aanduiden als verschil in context waarin het woord "atoom" wordt gebruikt.

Zo'n contextverschil treedt niet alleen op in gesprekken tussen beoefenaren van verschillende disciplines, maar kan ook aangewezen worden in gesprekken, waarin vakgenoten trachten nieuw verkregen inzichten onder woorden te brengen. Een voorbeeld daarvan kan gevonden worden in de verslagen van de Birmingham meeting van de British Association in 1913 (Ewald, 1913; Nature, 1913; Times, 1913). Problematisch zijn daarbij de mechanische voorstelling van atomen en de begrippen resonator, ether, materie en quantum:

"The second speaker was Prof. Lorentz. He accepted the quantum theory, and sought a method of accounting for it. Some kind of discontinuity in the transfer of energy is experimentally proved, but the individual existence of quanta in the aether is



impossible. He considered the scheme of transference of energy from matter to resonators and to the aether. The transfer from a resonator to the aether can be easily conceived, but it is difficult to understand how the quantum can be transferred back to the resonator, for once in the aether it becomes distributed indefinitely. Prof. Lorentz suggested that the quanta are necessary in some transference, and that perhaps the solution was to be found in assuming them operative in transferences from matter to the resonator and *vice versa*, and not in the interchange between resonators and the aether. The difficulty in this view is to distinguish clearly the two classes, matter and resonator."(Nature, 1913)

Lorentz maakt hier een onderscheid tussen materie en resonator; een onderscheid dat voor Bohr niet langer relevant is. In zijn werk (1913) spelen beide begrippen geen rol. "Dr. Bohr, of Copenhagen, was the next speaker. (...) His scheme for the hydrogen atom assumes several stationary states for the atom, and the passage from one state to another involves the yielding of one quantum. Dr. Bohr also emphasised the difficulty of Lorentz's scheme for distinguishing between matter and resonator. Planck's resonator has all the properties of matter, and it is difficult to keep up the distinction. Prof. Lorentz intervened to ask how the Bohr atom was mechanically accounted for. Dr. Bohr acknowledged that this part of his theory was not complete, but the quantum theory being accepted, some sort of a scheme of the kind suggested was necessary" (Nature, 1913). Hier wordt bedoeld op het door Bohr voorgestelde schema van stationaire toestanden, en niet op het schema: materie/resonator/ether van Lorentz (Rosenfeld & Rüdinger, 1967, p. 59). Mogelijk is hier sprake van een verstaanbaarheidsprobleem tussen Bohr en Lorentz; het lijkt of de laatste om een mechanische verklaring vraagt, terwijl Bohr hem die niet kan geven. In een ander verslag (Times, 1913) lezen we: "Questioned by Professor Lorentz as to the mechanism of his atom, he acknowledged that it was left indefinite, the necessary assumptions being made on the basis of the quanta theory." Het Bohrse atoom betekende een breuk met de klassiek-mechanische visie. Een breuk die samenhang met de keuze van een nieuw gezichtspunt en ertoe leidde dat zij die die gezichtspuntskeuze nog niet gemaakt hadden degenen die dat wel gedaan hadden niet meer verstonden. Bohr formuleerde het in zijn Noble-lecture (1922,

p. 7) als volgt: "(...) introducing concepts borrowed from the so-called quantum theory, which marks a complete departure from the ideas that have hitherto been used for the explanation of natural phenomena." Een mechanische verklaring kan dan ook niet door Bohr gegeven worden. Lorentz had die stap (nog) niet gemaakt, realiseerde zich weliswaar dat een quantum geen voorwerp is, maar had nog geen taal om het anders te benoemen: "Professor Lorentz admitted that some kind of discontinuity in the transfer of energy had become unavoidable, but it was very improbable that quanta had an individual existence. They would have, for instance, to be several yards wide in order to fill the apertures of the largest telescopes, and yet sufficiently small to enter the pupil of the eye. But as an auxiliary conception they were useful and fruitful, as shown by Nernst's results with regard to specific heat." (Times, 1913).

Met de introductie van het Planckse werkingsquantum en het in toenemende mate verlaten van de klassiek-mechanische wereld creëerde Bohr een nieuwe vakcontext. Daarbij is hij als het ware een nieuwe taal gaan spreken die Lorentz nog niet verstaat. Er kan hier gesproken worden van een niet-verstaan, dat zelfs bij vakgenoten die uit zijn op het elkaar verstaan<sup>7</sup>, optreedt.

Bohr is wel bereid Lorentz tegemoet te komen: "Vielleicht ließe sich mit diesem Modell folgende genauere Erklärung der Ausdrücke Materie und Resonator geben: während ein Elektron sich auf seiner stationären Kreisbahn um den positiven Kern befindet und nicht strahlt, gehört das Atom der "Materie" an. Ein "Resonator" ist das Atom während der Übergangszeit von einer Kreisbahn zur andern, d.h. während der Zeit, in der es strahlt" (Ewald, 1913). Hij plaatst daarmee Lorentz' begrippen in zijn context, om te proberen samen verder te komen.

### 2.3 Feiten leren

In §2.2 wezen we op de verandering van de taal zodra wetenschappers feiten creëren. We zagen daar dat bij zo'n begrips-genese woorden andere betekenissen kunnen krijgen en dat sommige woorden, in de nieuwe context, hun betekenis zelfs kunnen verliezen. "How the Bohr atom was *mechanically* accounted for" en "*mechanism* of his atom" verliezen voor Bohr in zekere zin hun betekenis. Een woord als "ether" is thans alleen nog in zwang in radio- en televisiekringen.

In §1 zagen we hoe kennis als black-box wordt gehanteerd.

Voor degenen die zich met de voorbereiding op chemiebeoefening bezighouden, ontstaat nu een probleem. Enerzijds dienen lerenden<sup>8</sup> zich de feiten eigen te maken om te kunnen functioneren als chemicus, anderzijds moeten ze de betrekkelijkheid van die feiten inzien om niet geblokkeerd te raken. Daarnaast rijst de vraag of alle black boxes door lerenden zonder meer geaccepteerd kunnen worden, omdat ze immers het resultaat zijn van interpretaties, redenties en gezichtspuntskeuzes in een groep van wetenschappers, een proces dat gepaard gaat met een verandering van de gehanteerde taal. Moeten lerenden niet zelf gezichtspunten kiezen, en de verandering van taal zelf tot stand brengen, opdat door wetenschappers gecreëerde feiten ook hun eigen feiten worden? Voorbereiding op chemiebeoefening (chemie-onderwijs) kan dan niet uitsluitend gericht zijn op het aanleren van feiten, maar zal zich vooral moeten richten op het leren kennen van een wijze waarop deze in een gemeenschap geconstrueerd worden. Feiten-maken komt dan in de plaats van feiten-leren.

Dit heeft consequenties voor het onderwijzen, dat dan niet langer gezien kan worden als het overdragen van kennis.

### **3. Bohrs atoom in het onderwijs: analyse van enkele studieboekfragmenten**

Aan de hand van een (Nederlands) voorbeeld willen we, lettende op het woordgebruik, aanwijzen hoe in enkele studieboeken door Bohr gecreëerde feiten van hun karakter als construct ontdaan worden. We willen daarbij nagaan in hoeverre deze teksten het de lezer mogelijk maken een context-wisseling mee te maken. Daartoe hebben we gekozen voor fragmenten uit werk van H.A. Kramers en A.E. van Arkel. Kramers, een leerling van Bohr en later hoogleraar in Utrecht en Leiden, schreef in 1922 samen met H. Holst een boekje over Bohrs atoom, dat in 1927 omgewerkt in een Nederlandse vertaling uitkwam.

A.E. van Arkel, destijds eveneens hoogleraar in Leiden, verwijst in enkele van de door hem geschreven studieboeken (Van Arkel & De Boer, 1930; Van Arkel, 1941) voor Bohrs atoom uitsluitend naar dit boekje van Kramers. Dat is enigszins opmerkelijk, omdat het boekje volgens het voorwoord bedoeld was om "het Deense publiek een inzicht te geven in het wetenschappelijke werk van zijn grooten landgenoot Niels Bohr (...)" (p. iii) en dus niet om als (universitair) leerboek te dienen. Mogelijk

zullen actualiteit en verkrijgbaarheid een grote rol hebben gespeeld, maar bovenal valt aan te nemen dat Van Arkel het boekje van voldoende gehalte achtte. Het werk van Van Arkel is overigens van niet geringe invloed op het Nederlandse chemieonderwijs geweest. De Miranda (1955, p. 136) stelt dat in Van Arkels voetspoor velen tot de overtuiging kwamen dat een "verklarende M.O. scheikunde" mogelijk zou zijn. Het *Leerboek der Scheikunde, gegrond op atoommodel en periodiek systeem* van Van Arkel en Snijder uit 1936 kan als eerste schoolboek aangewezen worden dat niet alleen Bohrs atoom expliciet behandelt (hoewel niet met name genoemd) maar het ook gebruikt als verklarend principe (zie §3.3). Andere schoolboeken in de periode 1930-1940 noemen Bohrs atoom hooguit in de slothoofdstukken, en dan niet zelden in een kleiner lettertype.

### 3.1 Bohrs atoom als model of model van Bohrs atoom?

Om in het bestek van dit artikel tot een analyse van enkele studieboeken te komen, moeten we ons beperken. Dazartoe zullen we ons op een enkel thema toespitsen en zullen we een criterium voor onze analyse kiezen.

In 1913 schreef Bohr in "On the constitution of atoms and molecules" (p. 1): "*In order to explain the results of experiments on scattering of  $\alpha$  rays by matter Prof. Rutherford has given a theory of the structure of atoms. According to this theory, the atoms consist of a positively charged nucleus surrounded by a system of electrons kept together by attractive forces from the nucleus; the total negative charge of the electrons is equal to the positive charge of the nucleus. Further, the nucleus is assumed to be the seat of the essential part of the mass of the atom, and to have linear dimensions exceedingly small compared with the linear dimensions of the whole atom. The number of electrons in an atom is deduced to be approximately equal to half the atomic weight. Great interest is to be attributed to this atom-model; for, as Rutherford has shown, the assumption of the existence of nuclei, as those in question, seems to be necessary in order to account for the results of the experiments on large angle scattering of the  $\alpha$  rays.*"

Opmerkelijk is dat Bohr hier heel zorgvuldig is in zijn woordkeuze. De formuleringen blijven heel open; het Rutherfordse atoom blijft een keuzemogelijkheid om de resultaten van de verstrooiingsproeven te verklaren. Het Rutherfordse atoom is dan

nog geen "black box", zoals in zijn Noble Lecture, negen jaar later (1922, p. 7). De eerst veronderstelde kern heet dan ontdekt te zijn, dat wil zeggen, altijd al aanwezig te zijn geweest:

"The present state of atomic theory is characterized by the fact that we not only believe the existence of atoms to be proved beyond doubt, but also we even believe that we have an intimate knowledge of the constituents of the individual atoms. (...) The present state of our knowledge of the elements of atomic structure was reached, however, by the *discovery* of the atomic nucleus, which we owe to Rutherford, (...)."

Ook bij Kramers en Holst ontstaat er een black box; de kern wordt een feit genoemd: "Zoo kwam Rutherford tot zijn hypothese, dat haast de gehele massa van een atoom in een positieve "kern" verzameld is, die zeer klein is in verhouding tot den heelen omvang van het atoom. (...) De verschillende botsingsproeven, waar Rutherfords theorie op gebaseerd is, zijn zoo beslissend in hun uitkomsten, dat men eigenlijk niet meer van een hypothese kan spreken, maar eerder van een door de waarneming bewezen feit, dat het atoom op de aangegeven wijze is samengesteld."(p. 73).

Het is duidelijk dat in de bovengeciteerde rede van Bohr en in het boekje van Kramers/Holst het bestaan van atomen niet ter discussie staat. Atomen gelden voor hen als fysische realiteit. Voor onze analyse zullen we dat bestaan (een fysische c.q. chemische vraagstelling) of de totstandkoming van het feit "atoom" in de tekst (een didactische vraagstelling) evenmin ter discussie stellen. We willen ons beperken tot de vraag in hoeverre Bohrs atoom als model<sup>9</sup> van dat reëel bestaande atoom naar voren komt, dan wel als construct dat de eigenschappen van het als reëel bestaand veronderstelde atoom kan verklaren. Op grond van uitspraken die Bohr in 1922 deed, zoals Heisenberg (1969, p. 62) ze zich later herinnert, blijkt dat Bohr af wilde zien van enige "aanschouwelijke" voorstelling: "Wegen der Stabilität der Materie kann die Newtonsche Physik im Inneren des Atoms nicht richtig sein, sie kann bestenfalls gelegentlich einen Anhaltspunkt geben. Und daher wird es auch keine anschauliche Beschreibung der Struktur des Atoms geben können, da eine solche - eben weil sie anschaulich sein sollte - sich der Begriffe der klassischen Physik bedienen müßte, die aber das Geschehen nicht mehr ergreifen. Sie verstehen, daß man mit einer solchen Theorie eigentlich etwas ganz Unmögliches versucht. Denn wir

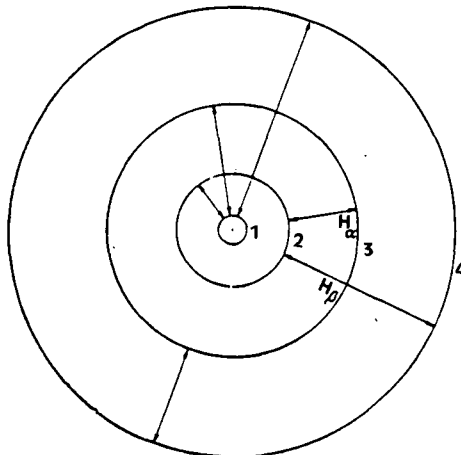
sollen etwas über die Struktur des Atoms aussagen, aber wir besitzen keine Sprache, mit der wir uns verständlich machen könnten."<sup>10</sup>

Aan deze uitspraak ontleen we een criterium om teksten over Bohrs atoom te beoordelen: in hoeverre roepen ze een aanschouwelijk beeld van een atoom op?

### 3.2 Van artikel tot studieboek

Onderstaande figuur wordt zowel door Bohr in zijn Nobel lecture (p. 17) als door Kramers en Holst (p. 101) gebruikt.

Bohr zegt bij deze figuur: "Following our picture of atomic structure, a hydrogen atom consists of a positive nucleus and an electron which - so far as ordinary mechanical conceptions are applicable - will with great approximation describe a periodic elliptical orbit with the nucleus at one focus. The major axis of the orbit is inversely proportional to the work necessary completely to remove the electron from the nucleus, and, in accordance with the above, this work in the stationary states is just equal to  $hK/n^2$ . We thus arrive at a manifold of stationary states for which the major axis of the electron orbit takes on a series of discrete values proportional to the squares of the whole numbers. The accompanying fig. 2 shows these relations diagrammatically. For the sake of simplicity the electron orbits in the stationary states are represented by circles, although in reality the theory places no restriction on the eccentricity of the orbit, but only determines the length of the major axis. The arrows represent the transition processes that correspond to the red and green hydrogen lines (...)"



De figuur kan dus verstaan worden als een schema waarin de verschillende stationaire toestanden van het waterstofatoom, en de overgangen daartussen, als electronenbanen afgebeeld worden.

Kramers en Holst geven als onderschrift: "Bohrs model van het waterstofatoom in vereenvoudigden vorm (met cirkels inplaats van ellipsen).", en in de hoofdtekst: "Voor het waterstofatoom komen we op grond der hypothese der mechanische banen tot het volgende beeld der stationaire toestanden: onder den invloed van de aantrekking der kern, die omgekeerd evenredig is met het kwadraat van den afstand, beschrijft het electron een ellips met de kern in een der brandpunten, zooals wij vroeger beschreven hebben, maar in tegenstelling met de wetten der electrodynerica zendt het hierbij geen straling uit. De verschillende mogelijke stationaire toestanden kunnen wij zoodanig nummeren, dat met klimmend rangnummer de bijbehorende baan grooter en grooter wordt. In figuur 27 zijn eenige van deze banen aangegeven; ze zijn eenvoudigheidshalve als cirkels voorgesteld, en genummerd 1, 2, 3 en 4. Wanneer een electron van een buitenbaan naar een binnenbaan overgaat, b.v. van No. 4 naar No. 2 of van no. 2 naar no. 1, zal de electriche kracht, die het naar de kern trekt, een zekere arbeid verrichten, evenals de zwaartekracht doet wanneer een steen naar de aarde valt (...) Wanneer het electron op de binnenste baan no. 1 is gekomen, dan kan het de kern niet verder naderen en dus van nu af geen straling meer uitzenden, tenzij het weer door van buiten toegevoerde energie in een grootere baan wordt gebracht, vanwaaruit het opnieuw in een binnenbaan kan overgaan. De binnenste baan betekent dus de "rust"toestand of de normale toestand van het atoom."

Het verschil is subtiel. Beide teksten gebruiken de figuur als schema waarin de verschillende stationaire toestanden waarin een waterstofatoom zich kan bevinden in hun samenhang worden afgebeeld, overeenkomstig de hypothese der mechanische banen ("so far as ordinary mechanical concepts are applicable"). Echter, de woorden van Kramers en Holst kunnen de suggestie wekken van een waterstofatoom waarin zich de verschillende stationaire toestanden reeds in de vorm van banen bevinden. Deze stap is in het bovenstaande citaat cursief gezet. Later in de tekst (p. 121) spreken ze bijvoorbeeld van "(...) den sprong van den 3en naar den 2en stationairen toestand *in* het waterstofatoom (...)", waar ze eerder (p. 119) spraken van: "de stationaire toestanden van

een atoom". Ondanks het voorbehoud van de hypothese der mechanische banen, kan het woordgebruik (buitenbaan, binnenbaan, de vergelijking met de zwaartekracht) een beeld oproepen van een atoom met daarin de al dan niet lege banen, waartussen het electron kan overspringen.

Hoe is het nu mogelijk dat Kramers en Holst, wier begrip van Bohrs atoom ons inziens boven elke twijfel verheven is, desondanks door hun woordkeuze ruimte laten voor het oproepen van een mechanisch beeld, dat als model van een reëel bestand atoom kan worden opgevat?

Van zowel Bohr, tijdens z'n Nobelrede, als Kramers en Holst, in hun voor het Deense volk bedoelde boek, nemen wij aan dat ze probeerden zo verstaanbaar mogelijk te zijn. Echter, zij waren niet gericht op het samen met toehoorder of lezer creeëren van een nieuwe taal. Integendeel, bij Kramers en Holst zien we hoe teruggesprepen wordt op een woordgebruik dat gepaard gaat met een aanschouwelijk beeld, en daarmee dat zij zich verwijderen van die taal die nodig is om atomen te beschrijven. Ongewild, en mogelijk onbewust, overschatten zij hier hun mogelijkheid om zo tot een verstaanbare, correcte beschrijving van atomen te komen<sup>11</sup>. Immers, in hoeverre is de gebruikte taal aan de zaak die men wil benoemen gebonden, en tevens in staat om ook bij anderen die zaak op te roepen? Degene die gaat uitleggen blijft gevangen in de beperkingen van zijn eigen taal, die, zoals Bohr zei: "nur ähnlich gebraucht werden kann wie in der Dichtung, in der es ja auch nicht darum geht, Sachverhalte präzies darzustellen, sondern darum, Bilder im Bewußtsein des Hörers zu erzeugen und gedankliche Verbindungen herzustellen" (Heisenberg, 1969, p. 63).

### 3.3 *Van model naar "atoombeeld"*

Was er bij Kramers en Holst nog sprake van een mogelijkheid tot het oproepen van een mechanisch beeld, in het "Leerboek der Scheikunde" van Van Arkel en Snijder treffen we eerder een onmogelijkheid tot het oproepen van een niet-mechanisch beeld aan.

Zo wordt ondermeer gesteld dat: "1. Alle stoffen zijn uit atomen opgebouwd. (...) 2. Elementen zijn stoffen, die slechts één soort atomen bevatten" (p. 29), en: "Men stelt zich nu het atoom als volgt voor. Er is een kleine pos. kern. Deze trekt de electronen aan, maar de electronen stoten niet op de kern,



omdat zij in snelle beweging zijn en in banen om de kern rondlopen, zoals de planeten om de zon. De banen kunnen gelijkvormig zijn met de planetenbanen, omdat zowel de aantrekking van de zon op de planeten, als die van de kern op de electronen afneemt met de tweede macht van de afstand. De middelpuntvliedende kracht verhindert de planeten zich op de zon te storten, en belet eveneens, dat de electronen zich met de kern verenigen." (p. 117).

Bohr zei over die vergelijking met planetenbanen (Heisenberg, 1969, p. 60): "Der Ausgangspunkt war ja *nicht* der Gedanke, daß das Atom ein Planeten system in Kleinen sei und daß man hier Gesetze der Astronomie anwenden könnte. So wörtlich habe ich das alles nie genommen."

Bohrs atoom wordt zonder bij naam te noemen behandeld: "De electronen in een atoom zijn niet alle gelijkwaardig. (...) Het blijkt nu, dat in ieder atoom twee electronen voorkomen, die zeer vast gebonden zijn: wij kunnen wel vermoeden, dat deze beide electronen zich vlak bij de kern bevinden, zodat een zeer grote energie voor hun verwijdering nodig is. (...) Dan hebben wij steeds een groep van acht electronen, die minder vast gebonden zijn dan de electronen der K-groep. Deze acht electronen vormen de L-groep of L-schaal (...)." (p. 149).

Eigenschappen worden vervolgens verklaard op grond van de electronenconfiguraties: "Dat A en Ne zoveel op elkaar lijken, komt doordat zij beide precies dezelfde electronen configuratie der buitenste schaal hebben, nl. 8 electronen." (p. 150).

In het voorwoord zeggen de auteurs te hopen "de mogelijkheid te kunnen aantonen om tot een algemene scheikunde te komen." Daarvoor maken zij gebruik "van een uiterst primitief schema van het atoommodel, met behulp waarvan men de reactie mogelijkheden tussen de elementen kan afleiden en de eigenschappen van de gevormde verbindingen kan begrijpen." (p. IV). De als resultaat van redematies, gezichtspuntskeuzes en verandering van taal tot stand gekomen feiten (vaak aangeduid als "theorie") worden hier als uitgangspunt voor het scheikunde-onderwijs gekozen, hetgeen volgens Van Arkel en Snijder ertoe leidt dat "men b.v. niet meer behoeft te leren, welke verbindingen gasvormig, welke zuren sterk en welke oxyden oxydatiemiddelen zijn, doch deze eigenschappen uit het molecuulmodel heeft leren afleiden." (p. V).

### 3.4 Contextverschillen genegeerd

In §2 namen we met Latour aan dat wetenschappers gericht zijn op het creëren van feiten, het construeren en sluiten van "black boxen". We zagen dat dat proces gepaard gaat met een verandering van taal, waarbij verschillende contexten ontstaan. Vervolgens vroegen we ons af of lerenden dergelijke geconstrueerde feiten zonder meer kunnen aanvaarden, of dat ze zelf deel moeten nemen aan een proces van feiten-maken. Aan de hand van een voorbeeld lieten we in §3 zien dat een contextonderscheid dat we als criterium kozen, in een reeks studieboeken vervaagt. Een resultaat van feiten-maken door wetenschappers werd in een studieboek zelfs gekozen als uitgangspunt voor onderwijs.

Met *verstudieboeking* benoemen wij nu het proces waarbij in schriftelijk materiaal (in een reeks als: wetenschappelijk gesprek - artikel - review - studieboek) de aandacht meer en meer op het resultaat en minder op het proces van feiten-maken gericht wordt. Daarbij wordt de lezer niet in staat gesteld zelf deel te nemen aan zo'n proces van feiten-maken. Het begin van die verstudieboeking wordt al gemaakt, zodra wetenschappers zich tot lerenden richten en aan hen hun feiten duidelijk willen maken zonder aandacht te hebben voor de verandering van taal die daarvoor nodig is.

### 4. Verstudieboeking: een onderwijsprobleem

Verschillende onderwijsproblemen zijn volgens ons te begrijpen als gevolg van verstudieboeking.

In recente schoolboeken, zoals het door de Stichting voor de Leerplanontwikkeling ontwikkelde Chemie mavo (Beenhakker-Wagenaar et al, 1981; Davids et al, 1982) wordt het Bohrse atoom niet meer behandeld. Dat tekent het einde van een periode in het Nederlandse scheikunde-onderwijs waarin het Bohrse atoom als uitgangspunt werd gekozen.

Bij de ontwikkeling betrokkenen en leraren noemen het een *moeilijk* onderwerp, bestemd voor de betere leerlingen<sup>12</sup>: "Onze kritiek op het Rijksleerplan was dat het atoommodel van Bohr de leerlingen niets zegt, de zelfde kritiek als de schrijvers van het boek hebben."

Behandeling van het Bohrse atoom werkte voorheen soms zelfs als selectiemiddel bij de pakketkeuze:

"t Is af en toe een klacht van de vierdeklassers dat ze niet he-

lemaal beseft hebben hoe moeilijk het kan worden. In de oude methode haakten ze af bij de schillen. Nu heb je leerlingen in de klas die niet zo exact zijn ingesteld."

Wij menen nu dat het afhaken bij dit als moeilijk gekenmerkte onderwerp begrepen kan worden als resultaat van de verstudieboeking, het negeren van de verandering van taal bij de contextwisseling.

Zo wees Kaper (1989) aan hoe de introductie van ionen in Chemie 4-mavo (Davids et al, 1982) een verandering van context impliceert. De woorden "stof" en "molecuul" veranderen daarbij van betekenis zonder dat daar rekening mee wordt gehouden. Dit leidde tot verstaanbaarheidsproblemen tussen leraar en leerlingen. Kaper spreekt in zulke gevallen van een "sluipende invoering". Zo'n sluipende invoering wordt versterkt zolang de leraar de verstudieboeking niet kent, en het onderwijsaanbod van het studieboek niet geproblematiseerd wordt.

Ten Voorde (1983a en b) wees er op dat bij zo'n sluipende invoering, in dit geval bij de ontwikkeling van het elementbegrip, de auteur tot tegenstrijdige uitspraken komt (zoals: "element als onontleedbare stof" en "element *in* een verbinding", waardoor een verbinding een mengsel wordt) en deze niet aan de orde stelt. Deze tegenstrijdigheid verdwijnt echter zodra de uitdrukking "stof" in een andere context wordt begrepen dan de uitdrukking "element". Gebruikmakend van de Van Hiele-niveaus noemde hij deze contexten behorend tot een "beschrijvend", respectievelijk "theoretisch niveau".

Reeds eerder analyseerde Ten Voorde (1977) de genese van chemische begrippen in chemie-onderwijs met behulp van de Van Hiele-niveaus. Bij het negeren van de verandering van context zoals die optreedt bij niveauverhoging tijdens deze begripsgenese, komt de docent in een situatie waarin zijn uitleg voor de leerlingen geen betekenis heeft. Aan zijn argumentatie ligt dan een voor hem vanzelfsprekend gezichtspunt ten grondslag, dat echter (nog) niet dat van de leerlingen hoeft te zijn. Zijn argumenten worden daardoor voor de leerlingen zinloos, zijn uitleg onverstaanbaar. Een dergelijk uitleggen leidt gemakkelijk tot uit het hoofd leren en napraten<sup>13</sup>.

In hoeverre de contextverschillen die wij in §2.2 aanwezen in de gesprekken tussen Rutherford en Armstrong, en die tussen Bohr en Lorentz te begrijpen zijn als verschil in Van Hiele-niveau, is voor ons een punt van nader onderzoek.

Het als feiten presenteren van onderzoeksresultaten past volgens ons in een visie waarin (natuur)wetenschap beschouwd wordt als beschrijving van iets op zichzelf bestaands: "de natuur" kan ontdekt worden, het is aan de mens haar haar geheimen te ontfutselen. In die visie wordt er ons inziens geen aandacht besteed aan het proces dat leidt tot de onderzoeksresultaten en van daar uit tot de feiten. Omdat ontkend wordt dat er telkens sprake is van een gezichtspuntskeuze, en lerenden niet de vrijheid krijgen die zelf te maken, wordt begrijpelijk dat zij als gevolg daarvan telkens het voorafgaande moeten afleren<sup>14</sup>: een veelgehoorde klacht van leerlingen die niet verder zijn gegaan in met name de scheikunde. Het "nieuw geleerde" kan, doordat geen rekening wordt gehouden met de discontinuïteit in de begripvorming en de daaraan gepaarde verandering van taal, in navolging van Pines en West (1986, p. 591), formeel-symbolisch worden genoemd. Onderwijs dat gebaseerd is op verstudieboekte kennis heeft voortdurend te kampen met "veroudering" van die kennis en zal voortdurend, bij elke nieuwe ontwikkeling in de chemie (vergelijk § 1, Cechs werk ten aanzien van de biokatalytische activiteit van RNA), "gemoderniseerd" moeten worden.

Kerber (1988) stelt: "A textbook *should*<sup>15</sup> present important new material in a dynamic science", maar ook: "The problem seems to be that it is much harder to delete no-longer-so-important older material than to add exciting new material", hetgeen leidt tot een onhandelbare omvang ("elephantiasis") van met name organisch chemische leerboeken.

In een artikel over College Introductory Biology Textbooks, waarin Blystone (1987) stelt dat "The textbook is the most significant tool an instructor has in teaching biology", noemt hij in navolging van Doty en Zinberg (1972) de wens bijdetijds te zijn een belangrijk probleem van leerboeken: "(...) being current (is) the greatest overall threat to science education by overloading a student with an endless array of facts. Often in developing a new edition, the author mentions certain scientific terms without really developing the terms."

Een dergelijk onderwijs kan dan niet als een effectieve voorbereiding op het beoefenen van wetenschap beschouwd worden. De vraag die we in §1 stelden, of het voldoende is om na elke nieuwe ontwikkeling in de chemie de studieboeken te herschrijven, menen we ontkennend te moeten beantwoorden indien herschrijven niet meer betekent dan het mededelen van de

laatste inzichten. Wij achten het zelf ervaren van feiten-maken van meer belang. Een interessante stap in die richting van onderwijsvernieuwing is het idee van Fikes (1989) om niet langer met een leerboek, maar op basis van artikelen een college organische scheikunde op te zetten.

Uit onderzoek van onderwijs gericht op het realiseren van overgangen tussen Van Hiele-niveaus (Ten Voorde, 1977; Vogelesang, 1990) bleek het mogelijk dat leerlingen zelf ervaring opdoen met feiten-maken.

Zonder andere mogelijkheden die rekening houden met contextverschillen uit te willen sluiten, richt ons onderzoek zich op de vraag in hoeverre Van Hiele-niveaus bruikbaar zijn bij het ontwerpen van onderwijs dat verstudieboeking tegengaat.

## 5. Slot

Aan het slot van dit artikel willen we even stilstaan bij de vraag in hoeverre de uitdrukking "verstudieboeking" iets toevoegt aan wat al bekend is over contextverschillen en begripsvorming. Zo bespreekt Koningsveld (1984) de "creatieve sprong" die niet af te dwingen is en waarop problemen bij onderwijs aan groepen leerlingen zijn terug te voeren (p. 138). Ook wijst hij er op dat feiten pas tot stand komen tijdens de begripsvorming, en dus niet het uitgangspunt kunnen vormen (p. 139). Waar wij echter in ons artikel op wijzen, is de verstudieboeking die het de lerenden bemoeilijkt om die creatieve sprong te maken en zelf die feiten tot stand te brengen. Mocht verstudieboeking structureel zijn, dan is ook die hindering structureel, en niet alleen een kwestie van tijdgebrek (p. 138). We menen daarom dat het aanvaarden van verstudieboeking in de zin van "zo gebeurt het nu eenmaal" plaats moet maken voor het problematisch stellen ervan<sup>16</sup>.

## Noten:

1. Zonder de referee-rapporten en de bijbehorende correspondentie die R. Block ter beschikking stelde, had dit artikel niet in deze vorm kunnen verschijnen. Naast hem willen wij op deze plaats H.F. van Sprang bedanken voor zijn kanttekeningen bij het concept van dit artikel.
2. Het woord studieboek, "boek dat bij een studie wordt gebruikt" (Geerts & Heestermans, 1984, p. 2810), gebruiken we als overkoepelende term voor school- en leerboek. Met leerboek, "boek waarin men de een of andere

- wetenschap kan leren" (Geerts & Heestermans, 1984, p. 1541) duiden we studieboeken voor hoger onderwijs aan.
3. Cursivering in citaten zijn, tenzij anders vermeld, door de auteurs van dit artikel aangebracht.
  4. Cursief en onderstreping van Lehninger.
  5. J.J. Zuckerman (1986) zegt over dit boek: "The most powerful text of the 20th Century thus far (only 14 years left to go!) has been Linus Pauling's (1901- ) "Nature of the Chemical Bond" (...)".
  6. "Chemical atom" kan volgens ons gelezen worden als relatie tussen equivalentgewicht en valentie. Daarmee hoeft het "chemical atom" niet als corpusculum opgevat te worden. Armstrong lijkt deze visie hier te benadrukken.
  7. Dát Lorentz en Bohr uit zijn op het elkaar verstaan mag blijken uit: Rosenfeld en Rüdinger (1967, p. 59): "That he (Bohr) did not leave it at that, but continued to explain his ideas to Lorentz after the meeting appears from a letter which Lorentz some years later wrote to Bohr, and in which he alluded to '... the theories of which you gave me a first exposition in Sir Oliver Lodge's garden...'".
  8. Wij gebruiken hier de term "lerende" in plaats van "leerling" om aan te geven dat het hier om de activiteit leren gaat die niet louter voorbehouden is aan leerlingen of studenten. Ook leraren en onderzoekers kunnen in bepaalde situaties de rol van lerende hebben.
  9. "Model" wordt hier gebruikt in de zin zoals je ook spreekt van modelspoorbaan.
  10. Niettemin zijn er in het werk van Bohr uit 1913 passages aan te wijzen die inderdaad gemakkelijk zo'n aanschouwelijk beeld oproepen (p 9):  
 "According to the equation (3) the diameter of the orbit of the electron in the different stationary states is proportional to  $\tau^2$ . For  $\tau=12$  the diameter is equal to  $1.6 \cdot 10^{-6}$  cm., or equal to the main distance between the molecules in a gas at a pressure of about 7 mm. mercury;..."  
 Vergelijking (3) luidt:
 
$$2a = \frac{\tau^2 h^2}{2\pi^2 m e E}$$
  11. We danken deze uitdrukking aan E.F. Keller (1979, p. 720): "The difficulties arise however in the attempt to overestimate our capacity to describe (...)".
  12. Citaten afkomstig uit ongepubliceerde interviews ten behoeve van: E. Joling et al. (1988).
  13. Zie bijvoorbeeld ook: Pines en West (1986, p. 583).

14. Zie bijvoorbeeld in E. Joling et al (1988, p. 137 en p. 147).
15. Cursivering van Kerber.
16. Nadat we verstudieboeking (we spraken toen nog van "verschoolboeking") tijdens een bespreking in het kader van het onderzoeksprogramma "Begripsontwikkeling en curriculumonderzoek in de wiskunde en natuurwetenschappen" op 23 maart 1989 aan de orde stelden, bleek het voor verschillende onderzoekers een bruikbaar gezichtspunt.

### Literatuur

- Arkel, A.E. van & J.H. de Boer (1930) *Chemische binding als electrostatisch verschijnsel*, Amsterdam: D.B. Centen's Uitgeversmij.
- Arkel, A.E. van & H.G. Snijder (1936) *Leerboek der scheikunde, gegrond op atoommodel en periodiek systeem*, Groningen: P. Noordhoff.
- Arkel, A.E. van (1941) *Moleculen en kristallen*, 's-Gravenhage: W.P. van Stockum & Zn.
- Beenhakker-Wagenaar, C.F. et.al. (1981) *Chemie 3-mavo*, Groningen: Wolters Noordhoff.
- Block, R. & L. Jansen (1985) Theoretical analysis of equilibrium geometries and barriers of rotation in molecules  $H_2X_2$ , with  $X=O,S,Se$ , and  $Te$ , *Journal of Chemical Physics*, 82, 3322-3328.
- Blystone, R.V. (1987) College Introductory Biology Textbooks, an important communicative tool, *American Biology Teacher*, 49, 418-425.
- Bohr, N. (1913) On the Structure of Atoms and Molecules, *Philosophical Magazine*, 26, 1-25, 476-502 en 857-875, in facsimile. In: L. Rosenfeld & U. Hoyer (Red.), *Niels Bohr, Collected Works, Volume 2*, North Holland.
- Bohr, N. (1922) The structure of the atom, Nobel lecture gehouden op 11 december 1922. In: Noble Lectures, *Physics 1922-1941*, Elsevier.
- British Association (1914) *84th report, Australia*, London: British Association for the Advancement of Science.
- Davids, W. et al (1982) *Chemie 4-mavo*, Groningen: Wolters Noordhoff.
- Doty, P. & D. Zinberg (1972) Undergraduate science education: An overview, *American Scientist*, 60, 686-695.
- Eijgenraam, F. (1988) Een oer-gen dat zichzelf knipt en plakt, *NRC Handelsblad van 7 juni 1988, bijvoegsel Wetenschap en Onderwijs*, 1.

- Evenblij, M. (1988) Verrassend nieuw licht op ontstaan van het leven, *De Volkskrant*, 4 juni 1988, 33.
- Ewald, P.P. (1913) Bericht über die Tagung der British Association in Birmingham, *Physikalische Zeitschrift*, XIV, 1297-1307.
- Fikes, L.E. (1989) Advanced Organic Chemistry: Learning from the Primary Literature, *Journal of Chemical Education*, 66, 920-921.
- Geerts, G. & H. Heestermans (1984) *Van Dale groot woordenboek der Nederlandse taal*, Utrecht/Antwerpen: Van Dale Lexicografie, elfde, herziene druk.
- Heisenberg, W. (1969) *Der Teil und das Ganze*, München: R. Piper & Co.
- Jansen, L. (1985) H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>: een diabolisch molekuul. Lezing gehouden op 8 mei 1985 te Geleen en 22 mei 1986 te Amsterdam.
- Joling, E. et al (1988) *Chemie mavo: onderzoek naar het functioneren van een leergang scheikunde*, Amsterdam: Stichting Centrum voor Onderwijsonderzoek van de Universiteit van Amsterdam.
- Kaper, W.H. (1989) 'Gebruiksvorm' van een lestekst en 'begripsontwikkeling', Amsterdam: Didaktiek der Scheikunde, Universiteit van Amsterdam, afstudeerverslag. (Een publicatie in dit tijdschrift is in voorbereiding.)
- Keller, E.F. (1979) Cognitive repression in contemporary physics, *American Journal of Physics*, 47, 718-721.
- Kerber, R.C. (1988) Elephantiasis of the Textbook, *Journal of Chemical Education*, 65, 719-720.
- Koningsveld, H. (1984) *Het verschijnsel wetenschap: een inleiding tot de wetenschapsfilosofie*, Meppel, Amsterdam: Boom.
- Kramers, H.A. & Helge Holst (1927) *De bouw der atomen*, Amsterdam: D.B. Centen's uitgevers mij. Oorspronkelijk in 1922 in het Deens onder de titel *Bohr's Atomteori*, in 1923 in Engelse en in 1925 in Duitse vertaling.
- Kuhn, T.S. (1970) *The Structure of Scientific Revolutions*, Chicago and London: The University of Chicago Press.
- Latour, B. (1987) *Science in Action*, Milton Keynes: Open University Press.
- Lehninger, A.L. (1977) *Biochemistry*, New York: Worth Publishers, second edition, third printing.
- Miranda, J. de (1955) *Verkenning van de 'Terra Incognita' tussen praktijk en theorie in Middelbaar (Scheikunde-) Onderwijs*, Utrecht, dissertatie.



- Nature (1913) Physics at the British Association, *Nature*, 92 (1913) 304-309.
- Noble lectures (1965) *Physics 1922-1947*, Amsterdam: Elsevier.
- Pauling, L. (1960) *The Nature of the Chemical Bond*, Ithaca, New York: Cornell University Press, third edition.
- Penney, W.G. & G.B.B.M. Sutherland (1934) The Theory of the Structure of Hydrogen Peroxide and Hydrazine, *Journal of Chemical Physics*, 2, 492-498.
- Pines, A.L. & L.H.T. West (1986) Conceptual Understanding and Science Learning: An Interpretation of Research within a Sources-of-knowledge Framework, *Science Education*, 70, 583-604.
- Rosenfeld, L. & E. Rüdinger (1967) The decisive years. In: S. Rosental (Ed.). *Niels Bohr, His live and Work as seen by friends and colleagues*, North Holland Publ. Co.
- Rosenfeld, L & U. Hoyer (Red.)(1981) *Niels Bohr, Collected Works, Volume 2*, Amsterdam: North Holland.
- Rosental, S. (Ed.)(1967) *Niels Bohr, His live and Work as seen by friends and colleagues*, Amsterdam: North Holland Publ.Co.
- Stryer, L. (1981) *Biochemistry*, New York: W.H. Freeman and company, second edition.
- Stryer, L. (1988) *Biochemistry*, New York: W.H. Freeman and company, third edition.
- Times (from our special correspondent) (1913) British Association, Problems of Radiation, *The Times van 13 september 1913*, 10.
- Vogelezang, M.J. (1990) *Een onverdeelbare eenheid*, Utrecht: CDB pers, dissertatie.
- Voorde, H.H. ten (1983a) Das Entstehen des Chemiekontexts im Chemieunterricht, *Chimica Didactica*, 9, 129-137.
- Voorde, H.H. ten (1983b) 1. Die Kluft des Nicht-verstehen-könnens: Ein problem des Unterrichtens, *Chimica Didactica*, 9, 138-175.
- Voorde, H.H. ten (1977) *Verwoorden en verstaan*, 's-Gravenhage: Staatsuitgeverij, dissertatie.
- Zuckerman, J.J. (1986) The Coming Renaissance of Descriptive Chemistry, *Journal of Chemical Education*, 63, 829-833.