

"Als het een geur heeft, dan moeten er toch moleculen zijn, die jij dus waarneemt met de neus"

J. van Driel en W. de Vos
Vakgroep Chemiedidaktiek, R.U. Utrecht

Samenvatting

Dit artikel kan op twee manieren worden gelezen. Enerzijds is het een beschrijving van opvattingen van 14 à 15-jarige leerlingen over de relatie tussen stof en geur. Er wordt ook aangegeven hoe bij de inrichting van onderwijs met die opvattingen rekening kan worden gehouden. Anderzijds is dit artikel een beschrijving van een onderzoeksmethode, waarbij het stof-geur-probleem slechts de functie heeft van een voorbeeld dat mogelijkheden en moeilijkheden van deze methode zichtbaar maakt.

1. Achtergronden

Dit artikel beschrijft een gedeelte van een bijvakonderzoek in de vakgroep chemiedidaktiek van de Rijksuniversiteit Utrecht. Het onderzoek vond plaats binnen het project "Didactiek van de chemische reactie in 3 havo/v.w.o." In het kader van dit project wordt aan een aantal scholen gewerkt met leerlingenteksten waarvan de eerste versies ontwikkeld zijn aan de R.S.G. Ooststellingwerf te Oostervolde (Fr.) (De Vos, 1978). Jaarlijks komt, mede op grond van onderzoek zoals dit, een herziening van de leerlingenteksten tot stand.

In deze leerlingenteksten wordt al in de tweede scheikundeles, direkt na de eerste kennismaking met het begrip chemische reactie, een zeer eenvoudig korpuskulaire model van de materie geïntroduceerd. (Ter vergelijking: de indertijd door de C.M.L.S. (1976) ontwikkelde methode wacht met korpuskulaire modellen tot na de veertigste scheikundeles.) Hoewel het verklarend vermogen van zo'n model in de eerste fase van het scheikunde-onderwijs nog heel beperkt is, worden de leerlingen toch gekonfronteerd met een diskontinuiteitsopvatting van de materie.

In eerste instantie wordt alle materie geacht uit molekulen te bestaan. Molekulen worden in soorten verdeeld, waarbij molekulen van dezelfde soort identiek zijn. Dit maakt een koppeling van de begrippen "(zuivere) stof" en "molekuulsoort" mogelijk. De chemische reactie is dan een proces dat niet kan worden verklaard zonder aan te nemen dat molekulen veranderen in molekulen van een of meer andere soorten.

Pas in een veel later stadium wordt deze voorstelling verfijnd met behulp van het begrip atoom. Bij chemische reacties blijven deze atomen behouden; de bouw van de atomen speelt dan nog geen rol.

De bedoeling van deze introductiewijze is de bekende verwarring van verbinding en mengsel, van ontleden en scheiden en van zuivere stof en onontleedbare stof te vermijden. Onvermijdelijk levert dit echter een nieuw probleem op: de relatie tussen het waarneembare verschijnsel en de representatie daarvan in de modelvoorstelling. Om bijvoorbeeld vast te stellen of een bepaald verschijnsel een chemische reactie is, moet de leerling het waargenomen verschijnsel op molekulaire niveau interpreteren: Is het onmogelijk dat de molekulen nog tot dezelfde soort(en) behoren? Pas dan spreken we van een chemische reactie. Omgekeerd hebben spekulaties over molekulen alleen zin, wanneer waarneembare verschijnselen daarover uitsluitel kunnen geven. Met andere woorden: de leerlingen moeten leren heen-en-weer-denken tussen een verschijnselwereld en een modellenwereld. Dat dit heen-en-weer-denken een groot probleem vormt, hangt volgens de Zwitserse bioloog en psycholoog Jean Piaget samen met de leeftijd van de leerlingen (Piaget & Inhelder, 1973). Hij onderscheidt verschillende niveau's in de ontwikkeling van het denken van kinderen.

Twee niveau's zijn in dit geval van belang: het concreet-operationele en het formeel-operationele denkniveau. Op dit laatste niveau redeneren kinderen veel gemakkelijker vanuit een onbewezen hypothese dan op het concreet-operationele niveau. Een korpusculaire materievoorstelling berust niet op rechtstreekse waarneming en is dus voor de leerlingen zo'n onbewezen hypothese. Vele onderzoekers hebben al vastgesteld dat op ongeveer 15-jarige leeftijd, wanneer in ons land het chemie-onderwijs begint, het formeel-operationele denkniveau voor slechts een deel van de leerlingen al bereikbaar is. Voor veel van de moeilijkheden die leerlingen bij het redeneren met modellen ontmoeten, kan dan ook in de theorie van Piaget een verklaring worden gevonden. Een van de redenen waarom in het project voor groepswork als werkvorm is gekozen is, dat in de groepsworksituatie leerlingen meer mogelijkheden hebben actief met de problemen van het heen-en-weer-denken bezig te zijn. Het onderlinge gesprek zou wel eens stimulerend kunnen werken bij het bereiken van het formeel-operationele niveau.

Ook vanuit onderzoeksoogpunt is groepswork een geschikte werkvorm. Het onderlinge gesprek van de leerlingen biedt de onderzoeker een mogelijkheid om getuige te zijn van spontane uitingen van leerlingen over chemische zaken.

2. Doelen en werkwijze

De leerlingentekst bestaat grotendeels uit vragen en opdrachten, waaraan door groepjes van drie of vier leerlingen wordt gewerkt. Aangezien een klas zes tot tien groepjes telt, kan een docent slechts een beperkt deel van de lestijd aan ieder groepje besteden. De leerlingen zijn dus sterk aangewezen op de tekst en het blijkt dat onduidelijkheden en te moeilijke vragen al heel snel tot een inefficiënte tijdsbesteding kunnen leiden. De leerlingentekst moet dus in deze opzichten aan zeer hoge eisen voldoen.

Een belangrijk en concreet doel van het onderzoek is door het verzamelen en analyseren van uitingen van leerlingen aanwijzingen te vinden die verbeteringen in de tekst mogelijk maken. Daarnaast wordt ernaar gestreefd op basis van dit verzamelde materiaal meer algemeen geldige conclusies omtrent het leerproces van de leerlingen te formuleren.

Bij groepswork zijn de leerlingen een groot deel van de tijd zelf aan het woord. Naast de ingeleverde schriftelijke antwoorden op de gestelde vragen en opdrachten kunnen de groeps gesprekken een belangrijk deel van het onderzoeksmateriaal vormen. Daartoe worden - met toestemming van de betrokken leerlingen - de gesprekken in een aantal groepjes op cassette opgenomen en later uitgeschreven tot een protocol.

De zich ontwikkelde eigen opvattingen van leerlingen over de moleculaire structuur van de materie nemen in het onderzoek een belangrijke plaats in. Sommige vragen zijn zo geformuleerd dat ze de leerlingen uitnodigen deze opvattingen expliciet te verwoorden. Bij andere vragen blijkt dat leerlingen ook spontaan moleculaire voorstellingen in hun beantwoording betrekken.

In dit artikel wordt een deel van het onderzoek beschreven dat in maart en april 1982 en in dezelfde periode in 1983 werd uitgevoerd in het achtste van de in totaal twaalf hoofdstukken. Dit hoofdstuk heeft als kern de hypothese van Avogadro en de mogelijkheid om met behulp hiervan chemische formules van gassen op te stellen. Voorafgaand hieraan blijkt het nodig te zijn dat de leerlingen een "gasbegrip" ontwikkelen, d.w.z. dat ze een gas als een stof leren beschouwen.

Voor de leerlingen is het stofkarakter van een gas niet vanzelfsprekend (Verhagen, Van Berkel en Arnold, 1977). Onze taal moedigt ook het gasloze denken aan: een fles

met lucht noemen we een lege fles. Dit hangt natuurlijk samen met het feit dat een hoeveelheid gas geen eigen grenzen en geen stevigheid bezit. Bovendien zijn veel gassen kleur-, reuk- en smaakloos. De aanwezigheid van een gas wordt dan ook meestal indirect waargenomen, d.w.z. we nemen iets anders waar en leiden daaruit af dat er een gas moet zijn. Dat afleiden moet geleerd worden en daarop mikt het begin van het achtste hoofdstuk. Een van de leerlingenproeven in 1982 bestond uit het twee maal wegen van een schaalpje met een stukje vochtig filtreerpapier. De gewichtsvermindering na enkele minuten kan worden verklaard door vorming van waterdamp aan te nemen.

Deze proef werd herhaald met een stukje kamfer. Nadat de leerlingen bij vraag 2b de gewichtsvermindering hebben genoteerd, wordt hen de volgende vraag gesteld:

- 2c. Zou het feit dat kamfer een geur heeft te maken hebben met het resultaat van vraag 2b? Leg uit.

Hieronder wordt besproken op welke manieren leerlingen deze vraag beantwoordden. Het betreft leerlingen van het Gooisch Lyceum in Bussum en van de K.S.G. Laar en Berg in Laren (N.H.). De onderzoekers A. Hamaker en J. van Driel zaten tijdens de geluidsopname zelf bij het betreffende groepje. Zij maakten aantekeningen van het lesverloop en stelden soms informatieve vragen ("Kun je dat uitleggen?"; "Wat bedoel je daarmee?"). Hoewel verdere beïnvloeding zoveel mogelijk werd vermeden, is natuurlijk de aanwezigheid van mikrofoons en een onderzoeker onvermijdelijk een faktor die in het gesprek doorwerkt. Andere mogelijkheden (afgezien van het naar onze mening niet aanvaardbare werken met verborgen mikrofoons) zijn dat de onderzoeker na het instellen van de apparatuur het lokaal verlaat, het groepje op enige afstand blijft gadeslaan of zich volstrekt zwijgend bij het groepje voegt. De gekozen werkwijze werd echter als sociaal het meest aanvaardbaar en daardoor waarschijnlijk het minst storend boven de andere mogelijkheden verkozen. Bovendien kon de onderzoeker zo aantekeningen maken ter aanvulling van de geluidsopname, de stemmen van de leerlingen leren onderscheiden en op geschikte momenten dōorvragen om meer informatie te krijgen.

Van de "kamfervraag" (2c) werden opnames gemaakt in twaalf groepjes. Deze opnamen werden alle uitgeschreven. Negen van de zo ontstane protokollen werden in een aantal bijeenkomsten geanalyseerd door O. de Jong (P.D.I.), A. Hamaker en de auteurs van dit artikel. J. van Driel vergeleek daarna de verkregen resultaten met de inhoud van de drie niet onderzochte protokollen en met 69 door groepjes leerlingen ingeleverde schriftelijke antwoorden op de gestelde vraag.

3: Resultaten

De meeste leerlingen leggen wel verband tussen de geur en het lichter worden van het brokje kamfer. De formulering van de vraag lijkt dat ook enigszins te suggereren.

Er zijn enkele leerlingen die meteen generaliseren:

"Een steen blijft wel van hetzelfde gewicht, maar ja, die ruikt ook nergens naar".

"Dus alles wat je ruikt, dat verdamppt. Dat is het eigenlijk, hè?"

De gevraagde toelichting levert nogal wat problemen op. Een van de moeilijkheden is kennelijk het voor leerlingen nogal ongewone verdampen vanuit de vaste fase. Eén leerling meent de optredende gewichtsvermindering te herkennen. Hij noemt als onderwerp van de proef "die verdamping zonder dat het kookpunt bereikt is". Verder zijn er nauwelijks aanwijzingen dat leerlingen de gewichtsvermindering associëren met eerder genoten onderwijs of andere ervaringen.

In negen van de ingeleverde schriftelijke antwoorden, schrijven leerlingen dat kamfer verdamppt, ontsnapt of vervliegt, dat kamfermolekulen verspreid worden of rondvliegen of andere formuleringen die op verdampen van de stof kamfer wijzen. Op de vraag van de onderzoeker: "Wat ruik je?", antwoordt één leerling "het verdamppte kamfer".

Een groter aantal leerlingen negeert de mogelijkheid dat de vaste stof kamfer spontaan zou kunnen verdampen. Wanneer er dan toch een gewichtsvermindering wordt gekonstateerd, zoeken deze leerlingen een verklaring in het verdampen van een vluchtig bestanddeel van het kamfer. (De tekst vermeldt niet dat kamfer als een zuivere stof kan worden opgevat.) Uitspraken van deze leerlingen zijn o.a.:

"Het gas uit het kamfer verdamppt, waardoor het gewicht minder wordt".

"Van het kamfer stijgt een gas op dat de geur veroorzaakt en door het opstijgen van het gas verliest de kamfer gewicht".

Als dan de onderzoeker vraagt wat dat voor een gas kan zijn, luiden de antwoorden:

"Geurgas".

"Een gas die ook nog 'n geur heb".

" Een gas, wat ... dat de geur van kamfer heeft".

Een konsekwentie van deze zienswijze is dat na verloop van tijd de reukloze bestanddelen van het stukje kamfer moeten achterblijven. Inderdaad vraagt een leerling, met het stukje kamfer nog voor zich op tafel, zich af:

"Zit er nog steeds geur aan?"

en merkt even later op:

" 't Is gewoon droger geworden".

Een ander voorspelt:

"Op het end, dan is inderdaad alle geur eraf".

Het is goed mogelijk dat de voorafgaande proef met het vochtige filtreerpapierkje deze opvattingen stimuleert. In één groepje wordt gezegd dat de geur van het stukje kamfer afneemt, net zoals "bij zweetsocken de geur er op den duur ook wel een beetje uitgaat".

Bij andere delen van de leerlingentekst is gebleken dat sommige leerlingen ook andere eigenschappen van stoffen, zoals kleur en giftigheid elk op een afzonderlijk bestanddeel van de betreffende stof terugvoeren. Dergelijke opvattingen worden ondersteund door informatie op de verpakking van sommige voedingsmiddelen waar door de vermelding van conserveermiddelen, kleur- en smaakstoffen de indruk wordt gewekt dat er per eigenschap een of meer bestanddelen als dragers van die eigenschap aanwezig zijn. Zo komen leerlingen ertoe om naast jodium-die-niet-bijt ook zwavel-die-niet-geel-is als een mogelijkheid te aanvaarden: de gele kleurstof is er uitgehaald.

Een variant op deze opvatting komt voor in een protocol waarin een leerlinge het kamfer laat ontleden: "..... in een damp en nog iets of zo".

Weer andere leerlingen zoeken de verklaring ook in een chemische reactie, maar dan in een bindingsreactie van kamfer met lucht of een bestanddeel van lucht. Allereerst wordt dit geopperd door groepjes die, als gevolg van een weegfout, een gewichtsvermeerdering konstateren. Maar ook een groepje dat wel een gewichtsvermindering heeft gevonden, meldt:

"Het reageert met de lucht en wordt een gas en dat ruik je".

Tussen gas en geur wordt nogal eens een causaal verband gelegd:

"Er komt een gas vanaf en dat gas veroorzaakt de geur of zo".

"Het gas wat verdampt, veroorzaakt de geur".

In andere gevallen wordt geen onderscheid gemaakt tussen geur en gas:

"Nou, die geur dat is gewoon een gas, dat kan niet anders, dat is gewoon een gas".

"De geur is het kleurloze gas wat verdampt".

"De geur die eraf komt, dat heeft ook gewicht".

Bij doorvragen bleek echter meestal dat deze leerlingen de geur niet werkelijk als het gas zelf zagen, maar als een eigenschap van het gas. Toch wekken ze wel de indruk dat hun gasbegrip nauwelijks meer omvat dan de aanwezigheid van een geur.

Slechts enkele groepen grijpen in dit verband spontaan naar voorstellingen op het moleculaire niveau:

"Er laten molekulen los en die verspreiden de geur".

"De verdampte molekulen veroorzaken de geur".

"Als het een geur heeft, dan moeten er toch molekulen zijn die jij dus waarneemt met de neus".

Tenslotte lijken er leerlingen te zijn die de geur niet als een eigenschap van een gas maar van een vaste stof beschouwen. Meestal wordt deze visie tijdens het gesprek herzien, maar één leerling blijft op de vraag naar het verband tussen geur en gewichtsvermindering volhouden:

"Volgens mij heeft het er niks mee te maken".

Hij aanvaardt de gewichtsvermindering en ook de mening van zijn groepsgenoten dat de geur na enkele dagen zwakker zal zijn geworden. Hij blijft echter van mening dat "die geur toch niet verdampt".

Misschien beschouwt deze leerling de geur van het brokje kamfer als een soort straling of als een veld zoals een magneet bezit. Door de voortschrijdende verdamping blijft er een steeds kleiner brokje kamfer over, dat dus ook een zwakkere geur "uitzendt". Bij een eerdere versie van de tekst werd een soortgelijke opvatting verwoord door een leerlinge die wel kon aanvaarden dat zij *langskomende* molekulen kon ruiken, maar huiverde bij de gedachte dat kamfermolekulen werkelijk *in* haar neus moesten doordringen om waarneming van een geur mogelijk te maken.

4. Voorlopige konklusies

We beperken ons voornamelijk tot resultaten die konsekventies hadden voor de volgende versie (1982-'83) van de leerlingentekst.

Doel van de oorspronkelijke vraag 2c was niet dat de leerlingen het Enig Juiste Antwoord zouden geven. Wel werd beoogd de leerlingen uit te nodigen tot een onderlinge discussie die verschillende antwoorden mocht opleveren. Hoofdzaak is dat leerlingen hun opvattingen uitspreken, met elkaar vergelijken en aan de verschijnselen toetsen.

Uit de bandopnamen blijkt dat er inderdaad intensief en met zeer uiteenlopende resultaten is gediskussieerd.

Hoewel de vraag niet in deze richting dwingt, zijn er toch leerlingen die, zoals uit een aantal citaten blijkt, voorstellingen op het moleculaire niveau in de discussie brengen. Blijkbaar hopen zij via het ontwikkelde korpusculaire model gemakkelijker een oplossing te bereiken. In hoeverre dit model werkelijk als een hulpmiddel heeft gefunctioneerd, kunnen we in dit geval moeilijk vaststellen. Bij het wijzigen van de tekst is er onder meer naar gestreefd de moleculaire component van het gasbegrip meer aandacht te laten krijgen.

De meest opvallende wijziging in de tekst is ongetwijfeld dat de leerlingen de weegproeven niet langer uitvoeren met een vochtig filtreerpapiertje en met een brokje kamfer, maar uitsluitend met een porseleinen schaalpje dat enkele milliliters alcohol bevat. Bij het aanbrengen van deze wijziging hebben verschillende overwegingen een rol gespeeld.

De vervanging van twee proeven door één is vooral bepaald door klachten van sommige deelnemende docenten over de omvang van het programma als geheel. Het terugbrengen van het aantal wegingen van vier tot twee betekent, vooral als er per klas slechts één balans beschikbaar is, een flinke tijdsbesparing. De gewichtsvermindering van het vochtige papiertje was voor de leerlingen geen verrassing en leidde niet tot

veel produktieve gesprekken.

Het brokje kamfer bleek een aantal nadelen te bezitten. De gewichtsvermindering bedraagt in tien minuten slechts enkele milligrammen, zodat nogal wat groepen slachtoffer van weegfouten werden. Voorts suggereert het inhomogene uiterlijk van een uit samengeperste kristallen bestaand brokje kamfer vermoedelijk de aanwezigheid van harde korrels en een vluchtiger tussenkomponent. Ook compliceert de rechtstreekse overgang van de vaste stof naar de gasfase vaak de discussie.

De nieuwe tekst vermeldt vooraf o.a. dat alcohol een zeer brandbare stof is. De tweede weging, die een gewichtsvermindering van meer dan honderd milligram laat zien, volgt nu vijf à tien minuten na de eerste. Tussen de twee wegingen in moeten de leerlingen o.a. de alcoholgeur beschrijven (vraag 3a).

Na de tweede weging (3b) wordt gevraagd wat er met het aantal alcoholmolekules in het schaalpje is gebeurd (3c) en waardoor vuur zelfs op enige afstand van het schaalpje al gevaarlijk kan zijn (3d). Tenslotte wordt in vraag 3e gevraagd of de antwoorden op 3a (de geur) en 3c (het aantal molekules in het schaalpje) met elkaar te maken hebben. Deze laatste vraag komt dus overeen met de vroegere vraag 2c.

Zoals eerder vermeld, bleek "kamfordamp" voor veel leerlingen nauwelijks meer te betekenen dan de aanwezigheid van een geur. De vragen naar de brandbaarheid-opafstand en naar het aantal molekules in het schaalpje zijn erop gericht een verbreding van het gasbegrip te bereiken.

5. Nieuwe resultaten

In maart en april 1983 hebben aan een tiental scholen leerlingen zich met de nieuwe versie van de tekst beziggehouden. A. Hamaker en J. van Driel hebben opnieuw een aantal groepsdiskussies bijgewoond en op de band opgenomen.

Er werden 6 opnames gemaakt van de beantwoording van de "alcohol-vragen".

De meeste leerlingen lijken de spontane verdamping van alcohol probleemloos te accepteren. (In twee gevallen werd de gewichtsafname al voor de tweede weging voorspeld.) Vraag 3c benadrukt dit verschijnsel en introduceert bovendien de term molekules in dit verband: er wordt vlot geantwoord dat het aantal alcoholmolekules in het schaalpje afneemt.

Vraag 3d leverde onderling vergelijkbare antwoorden op, welke kunnen worden weergegeven als: alcohol verdamp; daardoor bevinden zich alcoholmolekules in de lucht. Eén groepje vermeldde niet expliciet dat het om *alcohol*damp en -molekules gaat en een ander groepje beperkte zich tot de vaststelling dat rondom 't schaalpje "alcohol

in gasvorm aanwezig" is.

Vraag 3e leidt nu meestal tot duidelijke uitspraken over de herkomst van de geur, waarbij de uitleg steeds in termen van moleculen wordt gegeven.

In drie groepen wordt de geur aan de damp toegekend:

"Het aantal molekulen waarmee 't verminderd was, die rook je bij 3a".

"De molekulen in de lucht ruik je, de molekulen in het schaalteje niet".

"De geur kan je niet ruiken, als de molekulen zich niet in de lucht verspreiden".

"Je ruikt pas alcohol, als je die molekulen in je neus krijgt".

Eén groepje begeeft zich aarzelend in deze richting, door te veronderstellen dat "je 't misschien eerst een tijdje open moet laten staan, zodat er wat kan verdampen, en dan pas ruiken".

In een ander groepje lijkt de geur echter aan de vloeistof toegekend te worden. Als de leerlingen aanvankelijk geen verband tussen geur en aantal molekulen zien, vraagt de onderzoeker wat er gebeurt als er steeds meer verdampst. Hierop wordt geantwoord met: "Wordt de geur minder gaat minder sterk ruiken. De geur wordt minder sterk als de molekulen minder worden".

Tenslotte gelooft een groepje hardnekkig in een reactie tussen alcohol en zuurstof waarbij de gewichtsafname wordt verklaard door aan te nemen dat alcohol eerst verdampst en vervolgens reageert. Hierbij werd verondersteld dat het reactieprodukt een andere geur dan alcohol zou hebben.

6. Slotopmerkingen

De in dit artikel beschreven werkwijze is kenmerkend voor het onderzoeksproject als geheel. De onderzoekers verzamelen uitingen van leerlingen om de eigen opvattingen van die leerlingen over chemische en fysische verschijnselen te leren kennen. Uitgangspunt daarbij is dat een tekstschrijven achter zijn bureau onmogelijk deze opvattingen zelf kan bedenken, terwijl de leraar in de klas te zwaar belast is met zijn onderwijstaak om meer dan incidenteel onderzoekswerk te kunnen doen. Er wordt niet gestreefd naar een kwantitatieve inventarisatie van de opvattingen van leerlingen. Wel wordt aangegeven of een bepaald idee vaak, af en toe of in een enkel ge-

val voorkomt. In principe geldt iedere opvatting die onafhankelijk meer dan eens voorkomt, als relevant. Of die opvatting bij twintig, dertig of vijftig procent van de leerlingen voorkomt, wordt niet van wezenlijk belang geacht. Ook wordt er in dit stadium geen aandacht besteed aan mogelijke korrelatie tussen bepaalde opvattingen en persoonsgebonden kenmerken van de leerling, zoals geslacht, sociaal milieu, godsdienst of leeftijd. Dergelijke korrelaties, hoe interessant op zich ook, zouden geen gevolgen voor de leerlingentekst kunnen hebben, omdat die voor alle leerlingen gelijk is.

De gekozen werkwijze heeft onder meer de konklusie opgeleverd dat de relatie tussen geur en stof voor veel leerlingen een heel reëel probleemveld is. Een ruimere aandacht hiervoor, door middel van discussievragen, proeven en verwijzingen naar het dagelijkse leven, zou zinvol onderwijs kunnen opleveren.

Voorzover wij konden nagaan wordt er echter noch in de leerplannen voor scheikunde, noch in die voor natuurkunde of biologie aandacht aan besteed. De ontwikkeling van natuuronderwijs voor 12-16 jarigen biedt misschien een mogelijkheid dit wel te doen. Dit artikel heeft één onderzoeksrunde aan één vraag beschreven. Gezien de ontoereikendheid van één ronde en gelet op de titel van de leerlingentekst "Chemie in Duizend Vragen" moge duidelijk zijn dat het onderzoeksprojekt voorlopig nog niet als afgerond kan worden beschouwd ...

Literatuur

C.M.L.S. *Chemie 3 v.w.o./havo*. Groningen 1976.

PIAGET, J. en INHELDER, B. *De psychologie van het kind*. Rotterdam 1973.

VERHAGEN, J., BERKEL, T.van en ARNOLD, F.J.C.M. Gas is niks. *Faraday* 46(7), 1977.

VOS, W.de. Oosterwoldiger berichten I, *Faraday* 47(6), 1978.