

# Onmiddellijke Diagnose en Feedback in Natuur- en Scheikundelessen<sup>1</sup>

Ed van den Berg  
Junior College, Universiteit Utrecht  
Edberg51@planet.nl

In een typisch leerproces zijn docenten en leerlingen een paar weken met de stof bezig en dan wordt er getoetst. Tijdens dat “bezig zijn” met lesgeven en leren, is er natuurlijk interactie. De docent ontdekt foute antwoorden en reageert. Maar toch is ontdekking van misconcepties en docentenreactie daarop incidenteel en blijven veel “alternatieve” gedachtegangen van leerlingen verborgen. In sommige onderwerpen zijn er echter mogelijkheden om *gedurende* de les heel snel fouten of misconcepties te detecteren van *veel leerlingen en* er *onmiddellijk* op te reageren. Het eerste voorbeeld is saai, maar duidelijk. Stel je voor, een heerlijk ouderwetse, klassikale les met 30 leerlingen (wat ik beschrijf doen wij hier in de Filippijnen met 60 leerlingen per klas en ik heb het ook een keer met 90 gedaan).

## I. Grafieken

Stel je wilt als docent scheikunde, biologie, of natuurkunde even snel zien of je leerlingen voldoende kennis en vaardigheden hebben van grafieken om daar vervolgens gebruik van te maken. We beperken ons even tot rechte lijnen, maar een soortgelijke les kan gedaan worden met trigonometrische, exponentiële, of logaritmische functies.

**Docent:** *Teken een simpel assenstelsel in je schrift en schets de grafiek  $f(x) = x$ . Gebruik gelijke eenheden op beide assen.* De docent kan als voorbeeld een assenstelsel schetsen op het bord om te voorkomen dat leerlingen teveel tijd steken in het assenstelsel en te weinig in de grafiek zelf.

Direct na de instructie loopt de docent de klas rond om te controleren dat iedere leerling bezig is en niet tijd verknoeid aan het mooi maken van een coördinatensysteem en het vermijden van de eigenlijke taak. Vervolgens kijkt de docent of er inderdaad een rechte lijn onder 45 graden met de x-*as* uit komt.

**Docent:** *Schets nu in dezelfde figuur de grafiek van  $f(x) = 2x$  (of  $y = 2x$ ). Een schets is voldoende, het is niet nodig precies te meten.*

Terwijl de leerlingen bezig zijn, loopt de docent weer door de klas en ziet in één oogopslag of een leerling een steilere of minder steile grafiek tekent vergeleken met  $f(x) = x$ . De docent heeft zelfs tijd voor korte individuele interviews met één of twee leerlingen. Die interviews kunnen uiterst nuttige informatie opleveren voor een plenaire reactie op leerlingfouten. Leerlingen die al klaar zijn, kunnen hun antwoorden met die van burens vergelijken en ze doen dat meestal automatisch. De docent kan nu direct plenair ingaan op veel gemaakte fouten en de redeneringen achter die fouten.

De volgende opdracht is natuurlijk  $f(x) = \frac{1}{2}x$  te tekenen, in dezelfde figuur.

Wederom loopt de docent rond en checkt in een paar seconden een stuk of 15 leerlingen en vraagt hier en daar een leerling met een fout antwoord om verheldering. Weer volgt een plenaire reactie op frequente fouten.

De volgende opdracht is om  $f(x) = x - 5$  te tekenen. Etc.

Deze herhaling van lineaire grafieken kan afgesloten worden met  $f(x) = ax + b$  en de

<sup>1</sup> Gepubliceerd in NVOX, 26(8), 407-410 (oktober 2001). Destijds werkte ik nog in de Filippijnen met grote klassen. Dit artikel werd gebruikt tijdens betamiddag JCU november 2004.

betekenis van de richtingscoëfficiënt “a” en de constante “b”.

Het zal duidelijk zijn dat eenzelfde les mogelijk is over  $f(t) = A \sin(2\pi ft + c)$  of  $f(t) = Ae^{kt}$ , of andere functies.

Als bij de eerste opdrachten blijkt dat vrijwel alle leerlingen het goed doen, dan staakt de docent de activiteit en gaat hij/zij meteen over op de activiteit waarin de grafieken *gebruikt* gaan worden. Aan de andere kant, als er serieuze problemen zijn, dan is er even wat extra oefening nodig en dan kan dat in de vorm van 1) een nieuwe opgave, 2) zelfwerk met een rondgaande docent, 3) onmiddellijke plenaire reactie. De docent *moet* rondgaan en niet aannemen dat hij of zij alle leerlingfouten al weet. De korte interviews tijdens de rondgang zijn uiterst belangrijk en vormen de ideale voorbereiding op de plenaire uitleg. Bovendien zijn die interviews interessant, het zout in de pap voor een docent.

De kracht van de methode ligt in de snelle diagnose gecombineerd met *onmiddellijke* individuele (interviewtje) en plenaire feedback. De ijverige docent die 's avonds achter een toren schriften zit om iedere leerling individueel commentaar op huiswerk of een toets te geven, is toch nog altijd een paar dagen te laat met de feedback. De leerling kijkt misschien niet eens naar al die rode half leesbare docentfeedback op hun werk. *Onmiddellijke* feedback werkt veel beter.

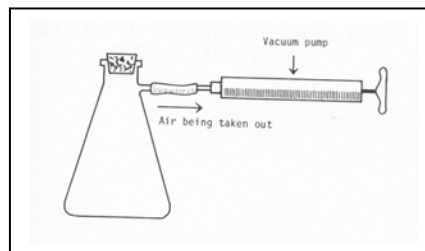
Enkele jaren geleden deden Paul Black<sup>1</sup> en collega's in Engeland een literatuur studie over de effecten van formatieve evaluatie (zeg maar feedback op leerlingwerk zonder cijfers). De effecten van wel of geen feedback op leerlingwerk bleken veel groter te zijn dan andere variabelen in het leerproces zoals lesmethode X of Y. We gaan verder met andere voorbeelden uit de natuur- en scheikunde.

## II. Tekeningen: Lessen over Gassen

De volgende voorbeelden komen uit het werk van Novick en Nussbaum<sup>2</sup> Na een

korte introductie over gassen kan de docent(e) de volgende opdracht geven:

**Docent:** *Stel dat je een fles hebt die gevuld is met lucht (figuur 1). Teken de lucht in de fles. (Men zou ook kunnen vragen Teken de luchtmoleculen in de fles al duwt die instructie de leerlingen al een beetje in de richting van deeltjes).*



Figuur 1: De fles.

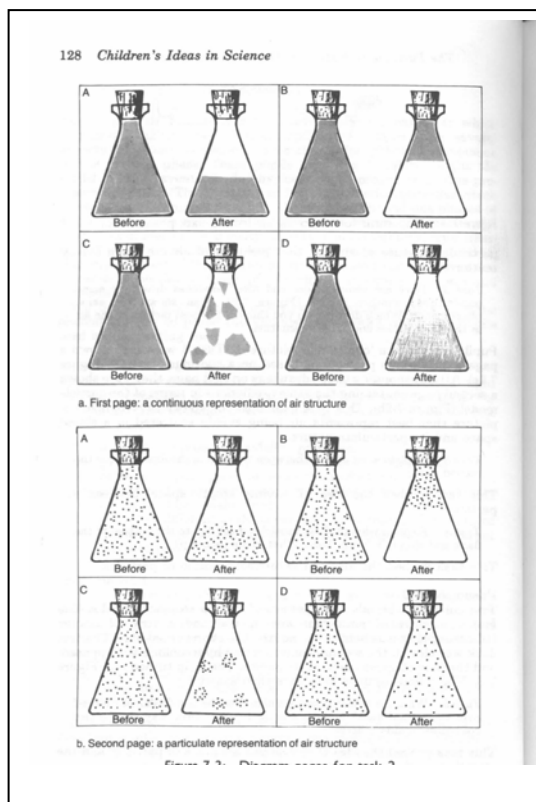
Nadat leerlingen dit gedaan hebben, volgt de tweede taak:

**Docent:** *Nu wordt met een rietje of met een pompje een deel van de lucht uit de fles gezogen en daarna wordt de fles weer gezogen en daarna wordt de fles weer gesloten. Teken de luchtmoleculen nadat er wat lucht uit de fles gezogen is.*

De resultaten uit het onderzoek van Novick en Nussbaum<sup>3</sup> zijn zichtbaar in figuur 2

Gedurende het tekenen loopt de docent door de klas en vraagt leerlingen om verheldering bij hun tekeningen. *De docent leert hoe leerlingen zich gasmoleculen voorstellen.* Leerlingen die klaar zijn leggen intussen hun tekeningen aan elkaar uit. De activiteit wordt plenair voortgezet met tekeningen op het bord en leerlingen die hun voorstelling van lucht moleculen en het effect van wegzuigen van lucht uitleggen. De tekeningen in figuur 2 laten werk zien van onderbouwleerlingen in diverse landen.

Figuur 2: Hoe leerlingen luchtmoleculen tekenen voor- en nadat er wat lucht uit de fles gezogen is.

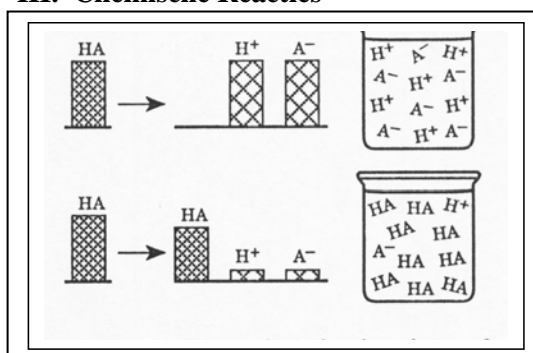


Leerlingideeën hebben o.a. te maken met de volgende vragen: a) is materie continu of bestaat het uit deeltjes?, b) wat is er tussen de deeltjes?, c) zijn de deeltjes in een gas geordend of in chaos? d) hoe stel je je random beweging van gasdeeltjes voor?, e) hoe komt dat deeltjes zich *onmiddellijk* verspreiden over lege ruimte? De bovenste 8 tekeningen zijn getekend door leerlingen die materie als continue lijken te zien, terwijl de onderste 8 tekeningen een duidelijk deeltjeskarakter laten zien.

Uiteraard moet de docent niet alleen weten hoe je snel feedback verzamelt via deze tekeningen. De docent moet ook verschillende manieren paraat hebben om gasdeeltjes “aanschouwbaar” te maken. Daarvoor zijn diverse analogieën beschikbaar. Bijvoorbeeld, wat zijn de overeenkomsten *en verschillen* tussen gasdeeltjes in een fles en mensen in een grote disco? Bij dat soort vragen is het

handig om de vraag even in kleine groepjes te laten bespreken en te luisteren naar leerlingideeën en vervolgens de opgedane kennis van leerlingdenken te gebruiken om plenair te reageren. **De snelle feedback werkt naar twee kanten. De docent kan zeer snel reageren op leerlingideeën: de leerling krijgt snel feedback van de docent. De docent kan ook heel snel uitvinden hoe zijn of haar les overkomt: de docent krijgt snel feedback van de leerlingen op zijn of haar les!**

### III. Chemische Reacties



Figuur 3: Een sterk zuur en een zwak zuur in oplossing<sup>4</sup>.

In de scheikunde gebruiken leerlingen onbewust hun eigen modellen over hoe deeltjes zich gedragen. Die eigen modellen kunnen sterk afwijken van de wetenschappelijke modellen. Wederom is het handig leerlingen te laten tekenen. Soms is het nodig om samen wat af te spreken over te gebruiken symbolen om de manier van tekenen wat te stroomlijnen en de zaken voor de docent en medeleerlingen interpreteerbaar te houden.

De mogelijkheden voor het tekenen van chemische voorstellingen zijn legio. Bijvoorbeeld, teken deeltjes in oplossing van keukenzout in water. Teken een azijnzuuroplossing en een zoutzuuroplossing in water. Je zou zelfs leerlingen kunnen vragen de verschillen tussen zoutzuur en azijn in de tekening duidelijk te laten uitkomen, opdat ze nadenken over dit verschil. Een docent wil hier zien of leerlingen doorhebben dat azijnzuur slechts

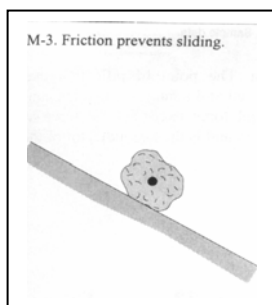
gedeeltelijk gedissocieerd is terwijl zoutzuur volledig in ionen is opgesplitst (Figuur 3).

De docent gaat opnieuw rond en ziet de diverse tekeningen en stelt vragen om achter de leerlingmodellen te komen. Vervolgens volgt een plenaire discussie waarin leerlingmodellen gecontrasteerd worden met het wetenschappelijk model. De korte interviews met leerlingen gedurende de rondgang helpen om de plenaire discussie dichterbij de leerlingen te brengen.

#### IV. Een Natuurkundevoorbeeld: Krachtendiagrammen

Begrip van krachten is onontbeerlijk in succesvolle toepassing van Newton's wetten. Mijn collega's en ik doen al jaren aparte oefeningen met de zogenaamde "free-body force diagrams" waarbij we de krachten op een object tekenen.

*Plenair:* Van de vector diagrammen weten leerlingen nog dat je een kracht door een pijl kunt voorstellen die een bepaalde lengte (evenredig met grootte) en richting heeft. Ze weten ook dat je vectoren op kunt tellen tot een resultante vector. We benadrukken dat een resultante kracht anders moet worden voorgesteld, bv. door een dubbele pijl. Een voorbeeld van krachten tekenen wordt even plenair gedaan.



Figuur 4: Steen op hellend vlak, in rust.  
a. Het probleem

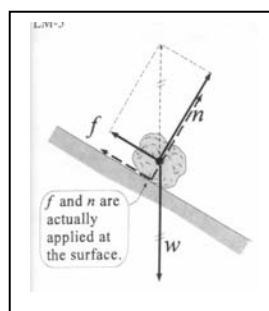
*Individueel:* Vervolgens krijgen leerlingen een werkblad met tekeningen van situaties en moeten ze de krachten op het voorwerp tekenen. Figuur 4 laat een steen zien op een hellend vlak. Wrijving voorkomt naar

beneden glijden. De tekeningen komen van de bekende plaatjes van Jim Court<sup>5,6,7</sup>. De 1993 versie heeft ooit in NVOX gestaan<sup>8</sup>.

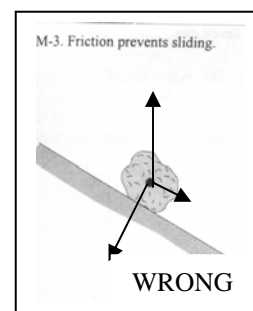
De docent gaat rond en ziet prachtige fouten die allemaal uiterst verklaarbaar zijn en netjes gecategoriseerd kunnen worden in misconceptie categorieën. Toch is het ook hier belangrijk enkele leerlingen te ondervragen over hun tekening. Dat interview is de beste oefening voor de latere plenaire bespreking.

*Plenair:* Diverse krachtendiagrammen worden besproken waarna de leerlingen weer individueel doorgaan met de oefeningen. Eerst statische situaties, dan dynamische met constante snelheid, dan dynamische met versnelling, en dan een mengsel van situaties.

4b. De oplossing



4c. De fouten



Meer nuttige details over krachten tekenen en enkele vuistregels kunt u vinden in een eerder artikel<sup>9</sup>. Mijn collega's en ik doen de krachtendiagrammen in mechanica, maar we komen er later tijdens andere onderwerpen regelmatig op terug. Twee jaar na de introductie van de diagrammen, doen studenten het nog steeds goed. De krachtendiagrammen zijn één van de meest succesvolle onderdelen van ons natuurkunde programma en leiden tot een beter begrip van de wetten van Newton.

#### VII. Moleculaire Structuur, Chemische Formules, Lewis Structuren.

In lessen over organische moleculen kun je leerlingen eenvoudige molecuulstructuren laten tekenen. Bijvoorbeeld, teken een alkaan met 4 C atomen, of teken 2-methylbutaan, of buteen, of benzeen. De docent

loopt snel rond om te zien wat leerlingen er van bakken. Wederom is directe individuele en plenaire feedback mogelijk. Men kan leerlingen ook Lewis-structuren

Onlangs lieten we onze leraaropleiding studenten wat stralendiagrammen maken met vlakke spiegels. Ze hadden dat een jaar eerder uitgebreid gehad. Terwijl mijn collega en ik rondliepen, zagen we dat een derde van de studenten het beeld op de spiegel tekenden i.p.v. erachter. Dat hadden we niet meer verwacht. Korte interviews gaven aan dat studenten verschillende argumenten hadden voor hun foute tekening. Gedurende de plenaire bespreking kwam de eerste vrijwilliger meteen met het juiste stralendiagram en de juiste beeldlocatie. Als we niet de klas waren rondgegaan, hadden we niet geweten dat 1/3 van de studenten de fout in gingen. Nu we dat wel wisten, konden we op de problemen ingaan. Kijk naar leerling-werk, maar doe dat vooral tijdens de les.

laten tekenen. Laat ze diverse moleculen tekenen en de gemiddelde plaats/rol van valentie elektronen aangeven. Laat ze zowel ionische als covalente moleculen tekenen. Na een minuut of twintig zullen resultaten merkbaar beter worden. Je zou ook kunnen vragen wat de beste representatie is voor HF:  $H:F$  of

$H:F$  of  $H:F$ , of  $H\cdot F$  *en waarom*. In een onderzoek aan een Amerikaanse universiteit bleek dat 25% van de practicumassistenten (meestal aio's werkend aan een promotie in scheikunde) hun keuze niet juist kon toelichten. Ook in deze activiteit is het mogelijk voor de docent om in iets meer dan een seconde 10 leerlingen te checken. Er is zelfs tijd om kleine interviewtjes er tussendoor te doen om leerlingantwoorden beter te begrijpen en alvast te oefenen in uitleg voor de plenaire bespreken van antwoorden.

### VIII. Gebruik van meerkeuzevragen als lesmethode

Een andere snelle feedback methode is het gebruik van meerkeuze vragen. Leg een

typische misconceptie vraag op de OHP. Leerlingen kiezen een antwoord en beargumenteren dat in hun schrift. Dan volgt discussie van paren of kleine groepjes. Als er veel variatie is in antwoordkeuzes, dan zal er heftige discussie zijn. Dan krijg je ook "peer teaching", leerlingen die aan elkaar uitleggen en elkaar helpen bij het begrijpen van natuur- of scheikunde. De docent gaat rond, luistert, heeft interactie met groepjes, en de docent kan eventueel de discussie plenair maken. Mazur<sup>10</sup>, een natuurkunde professor van Harvard, en een vrij grote groep andere docenten in hoger onderwijs in de VS gebruiken deze methode bij klassen met zelfs 200 – 300 studenten.

### IX. Predict-Observe-Explain

#### Demonstraties

Er zijn veel demonstraties met uitkomsten die anders zijn dan leerlingen verwachten, de zogenaamde "discrepant event" demonstraties. Bijvoorbeeld, het gelijktijdig laten vallen van een grote en een kleine steen. *Welke steen komt het eerst op de grond?* Leerlingen kunnen hun *individuele* voorspellingen opschrijven en schriftelijk uitleggen. Die uitleg is belangrijk om gokken te voorkomen. Vaak kan een voorspelling en de uitleg zeer kort worden opgeschreven, soms zelfs in de vorm van twee meerkeuze vragen, één voor de voorspelling en één voor de uitleg. Wederom gaat de docent de klas rond. Dan volgt het experiment en het wordt herhaald totdat alle aanwezigen overtuigd zijn van de uitkomst. Vervolgens moeten leerlingen weer individueel die uitkomst verklaren, op papier en de docent gaat rond. Het boek van Liem<sup>13</sup> is een bron voor 400 van dit soort experimenten. De POE methode wordt prachtig beschreven in White & Gunstone<sup>14</sup>. Veel typische misconceptievragen in de natuurkunde lenen zich voor POE experimenten.

#### Samenvattend

Docent feedback op leerling ideeën (zonder cijfers te geven) is een van de meest krachtige invloeden op leren. Hoe sneller de feedback, hoe beter. Dit artikel illustreerde

een aantal manieren om zeer snel ideeën van veel leerlingen te diagnosticeren en erop te reageren. Voordelen zijn snelle feedback aan leerlingen op hun gedachtespinsels, snelle feedback aan de docent of, en hoe de

les overkomt, en tenslotte, de gebruikte methode om snelle feedback te verzamelen stimuleert ook vergelijking van antwoorden tussen leerlingen waarbij leerlingen elkaar antwoorden uitleggen (peer teaching).

Onderwerpen met mogelijkheden voor snelle feedback via tekeningen

### **Scheikunde**

1. Teken en van molecuulstructuren.
2. Aangeven van lading op moleculen (polaire versus niet-polaire, bv water).
3. Teken en van elektronenconfiguraties (Lewis structuur).
4. Moleculen in oplossing.
5. Schrijven van molecuulformules bij gegeven naam en omgekeerd.
6. Reactiesnelheden en invloed van diverse factoren zoals fase, temperatuur, concentratie.
7. Tijdsverloop van concentratie vs tijd bij evenwichtsreacties en verschuivingen van chemisch evenwicht, bv. door verandering van temperatuur.
8. Grafieken van bindingsenergie vs atomaire afstanden voor diverse soorten moleculen en complexen.

### **Natuurkunde**

1. Kinematische grafieken ( $x$  vs  $t$ ,  $v$  vs  $t$ ,  $a$  vs  $t$ ).
2. Krachtendiagrammen.
3. Vloeistofniveaus in vloeistof problemen (bv. twee maatcilinders met elk  $40 \text{ cm}^3$  water. We voegen aan de één  $5 \text{ cm}^3$  lood toe en aan de ander  $5 \text{ cm}^3$  aluminium. Teken de vloeistofspiegel na toevoeging.)
4. Gassen.....tekenen gasdeeltjes in verschillende situaties.
5. Gassen.....grafieken voor ideale gassen bij toename en afname van de hoeveelheid gas of van andere variabelen.
6. Energie conversie diagrammen en energie input-inhoud-output diagrammen<sup>11</sup>, deze kunnen uiterst nuttig zijn in het probleem oplossen.
7. Geometrische optica, stralengang bij spiegels en lenzen.
8. Golfoptica en andere golven: golffronten bij terugkaatsing, breking, diffractie en andere vormen van interferentie.
9. Elektrostatica: tekenen van ladingen en ladingsverdeling op objecten zoals bollen, condensatoren, en elektroscopen.
10. Elektrostatica en magnetisme: tekenen van veldlijnen.
11. Elektrische schakelingen: Converteren van een foto van een echte schakeling in een schematisch diagram en omgekeerd. Teken en van diagrammen van schakelingen met bepaalde functies, of geef een diagram en "hoe kun je de schakeling aanpassen zodat lampje 2 feller gaat branden en lampje 3 minder fel?" Weer krijgen we plaatjes als oplossingen die we in een oogwenk kunnen beoordelen.
12. Papier schakelingen<sup>12</sup>. Dit is een tussenvorm bij het converteren van een schakelingsschema naar een echte schakeling. Zie het artikel.

### **Literatuur**

1. Black, P. (1998a). Formative Assessment: A review of Evidence and Theory. Paper presented at the Annual Conference of the National Association of Research in Science Teaching, San Diego, April 1998.
2. Black, P., D. William (1998b). Assessment and Classroom Learning. *Assessment in Education*, 5(1).
3. Novick, S., & J. Nussbaum. (1982). Brainstorming in the classroom to invent a model: a case study. *School Science Review*, 62, 771-778.
4. Driver, R., E. Guesne, A. Tiberghien (1985). Children's ideas in science. Open University Press.
5. Orna, M.V. et al. (1994). ChemSource. American Chemical Society, Washington.
6. Court, J.E. (1993). Free-Body Diagrams. *The Physics Teacher*, 31, 104-108.

7. Court, J.E. (1999a). Free-Body Diagrams Revisited – I, *The Physics Teacher*, 37(7), 427-433.
8. Court, J.E. (1999b). Free-Body Diagrams Revisited – II, *The Physics Teacher*, 37(8), 495.
9. Verhagen, P. (1995). Krachten tekenen. *NVOX*, 20(2), 79-82.
10. Berg, E. van den, C. van Huis (1998). Het tekenen van krachten. *NVOX*, 23(1), 18-19.
11. Mazur, E. (1997). *Peer Teaching*. New York, Wiley.
12. Huis, C. van, Berg, E. van den (1993). Teaching energy: A systems approach. *Physics Education*, 28(3), 146-153.
13. Berg, E. van den (1999). Paper circuits to short-circuit practice in electric circuit making. *School Science Review*, 81(295), December 1999, 126-127.
14. Liem, T. (1987). *Invitations to Science Inquiry*. Inquiry Enterprises. Chino Hills, California.
15. White, R.T., & R. Gunstone. (1992). *Probing Understanding*. London: Falmer Press.