

Over het interpreteren van leraar- en leerlinguitspraken in natuurwetenschappelijk onderwijs

P.L.Lijnse en C.W.J.M.Klaassen
Natuurkunde-Didactiek, CD- β
Universiteit Utrecht

Summary

This paper deals with the problem of proper interpretation of discourse between pupils and teachers in classrooms. First, several interpretations of a concrete classroom protocol dealing with the paradigmatic problem of static forces are discussed: the 'ordinary' teacher's analysis, an analysis in terms of misconceptions, and an analysis in terms of alternative conceptions. Though representing common ideas from the literature, it is argued that those analyses all in some way misinterpret the discourse. Drawing on Donald Davidson's principle of charity, and by distinguishing between belief and meaning, another interpretation is given that to our opinion is more adequate. Its consequences for the idea of 'conceptual change' and for teaching are discussed, as well as its foundation in Davidson's philosophy.

1. Inleiding

Veel huidig onderzoek van natuurwetenschappelijk onderwijs richt zich op het opsporen van ideeën van leerlingen over natuurlijke fenomenen en op de relatie daarvan met wetenschappelijke begrippen en theorieën. Het wordt vaak gedaan door het bestuderen van al of niet uitgeschreven tekst, zoals antwoorden op vragenlijsten, interviews en klasediscussies. Veel studies wijzen erop dat leraren en leerboeken in het algemeen te weinig rekening houden met deze leerlingideeën. Op grond daarvan wordt dan beargumenteerd dat dit, op zijn minst gedeeltelijk, kan verklaren waarom de leerresultaten wat inzicht betreft vaak zo tegenvallen. In hun zoeken naar verbetering gaan veel onderzoekers tegenwoordig uit van een constructivistisch standpunt. Dat wil zeggen dat men ervan uitgaat dat kennis persoonlijk en/of sociaal geconstrueerd wordt op grond van reeds aanwezige kennis. Het bestuderen van deze constructieprocessen trekt momenteel dan ook veel aandacht.

In aansluiting daarbij richten wij ons, in ons eigen werk, sterk op het bestuderen van de interactie van leer- en onderwijsprocessen, zoals deze in de klas plaatsvinden. Het blijkt echter vaak moeilijk te zijn om zulke klasediscussies ondubbelzinnig te interpreteren. Uitgaan van een constructivistisch standpunt helpt daarvoor niet echt. Zo'n standpunt maakt immers wel duidelijke

lijk dat er kennis geconstrueerd wordt, maar niet hoe welke kennis ontstaat op grond van welke bestaande kennis.

Naar onze mening behoeft dit interpretatieprobleem daarom meer aandacht. Om dit verder te kunnen bediscussiëren geven we, in §2, eerst een voorbeeld van zo'n klassediscussie. In §3 zullen we dit op verschillende manieren analyseren. In §4 bespreken we dan enkele tekortkomingen van deze analyses, om vervolgens onze eigen analyse te geven en deze met de voorgaande te vergelijken. In §5 bediscussiëren en vergelijken we enkele consequenties die de verschillende analyses hebben voor het onderwijs. In §6 tenslotte rechtvaardigen we onze analyse met behulp van de filosofie van Donald Davidson (1980, 1984).

2. Een voorbeeld van een klassediscussie

Ons voorbeeld komt uit een mechanicales, die plaats vond in een 4-HAVO klas, waarin het PLON-curriculum wordt gebruikt (Eijkelhof et al, 1986). In de voorafgaande les hebben de leerlingen een speciaal ontwikkelde video bekeken, die gaat over de krachten die werken op een rijdende fiets. Het onderstaande protocol begint als de leraar de video wil samenvatten en verder uitwerken met behulp van de bekende luchtkussenbaan¹. Zijn inleidende vraag gaat over de krachten die werken op de ruitser wanneer die stil ligt op de nog niet werkende luchtkussenbaan. Deze vraag is alleen maar bedoeld om de al bekend veronderstelde statische krachtwerking weer in de herinnering van leerlingen terug te roepen. Dan ontspint zich de volgende discussie die ongeveer 20 min. in beslag neemt.

Les over mechanica in 4-havo

- 1 LER: We beginnen eventjes zo: het ging dus in die film over krachten die bij fietsen werken.
(Wijst het ruitertje aan) Nou heb ik hier een soort fiets. Nou wilde ik eerst vragen, wat voor krachten er op dit ding werken. Probeer maar even: welke krachten denk je dat er op dit moment werken? Werken er krachten op?
- 2 ERIC: De zwaartekracht.
- 3 LER: De zwaartekracht, zegt Eric. Eh...als nou alleen de zwaartekracht werkt, wat gebeurt er dan? Even afgezien van deze situatie, alleen de zwaartekracht.
- 4 ERIC: Dan gaat ie naar beneden.
- 5 LER: Dan gaat hij naar beneden. Evert-Jan, wat zouden er nog meer voor krachten werken?
- 6 EVERT-JAN: Emmm.. tja...
- 7 LER: Wat voorkomt dat hij naar beneden valt?
- 8 EVERT-JAN: Die buis.
- 9 LER: Ja, die buis. Dus die buis moet een tegenkracht leveren dat-ie niet naar beneden valt. Even voor de volledigheid: welke richting heeft die zwaartekracht. Eric?

- 10 medeleerling: (bij wijze van grap) Naar boven ...
- 11 ERIC: Eh nee, naar beneden.
(even hilariteit in de klas)
- 12 LER: En Onno, die kracht van die buis is dus naar boven toe. Ja?
- 13 JET: Hoezo dat dan?!
- 14 ONNO: Nou, anders valt-ie naar beneden.
- 15 LER: Anders valt-ie naar beneden, zegt hij. Dus: als dat ding niet op de buis ligt en ik laat hem los, dan werkt alleen de zwaartekracht; valt-ie naar beneden toe. Als dat die buis hem wil tegenhouden dan moet-ie hem naar boven drukken.
- 16 JET: Maar die buis drukt toch niet...?
- 17 LER: Die buis drukt niet...
- 18 JET: Nee...
- 19 ONNO: Tja, die buis hangt daar gewoon.
- 20 JET:...die is daar gewoon.
- 21 (gestommel van enkele medeleerlingen met als gevoels-inhoud: 'Nou ja zeg. Niet zo moeilijk doen. Neem dat nou maar gewoon aan')
- 22 LER: Als je dit ding los laat, valt hij naar beneden, werkt er een kracht op.
- 23 JET: ja-ah, als die buis weg is.
- 24 LER: Ja. Als je hem nu in je vingers houdt - ik kan hem er niet zo makkelijk vanaf halen. Als je zo'n ding in je vingers houdt.
(Pakt een klein gewichtje) Dit ding ook, he. Als je het los laat valt hij naar beneden.
(Zet het gewichtje op de toppen van wijs- en middelvinger) Nou wil ik het tegenhouden. Bij zo'n licht ding voel je niet veel, maar als je hier een zwaar gewicht op zet, voel je het met je vingers.
- 25 JET: Hmm...
- 26 LER: Dat komt omdat je tegendruk moet uitoefenen. Je moet dus wel degelijk, als je hier (vingertoppen) een zwaar gewicht op zet...
- 27 JET: (onderbreekt) Ja-ah, als je dat zelf doet!
- 28 LER: ... ik heb hele dunne vingers en dit is een heel zwaar gewicht. Dan gaan mijn vingers naar beneden. (laat dit zien)
Als ik hem op z'n plaats wil houden, dan moet ik 'm omhoog drukken. Dat doet die buis ook, alleen zie je dat niet. Je ziet niet dat die buis het doet, die buis beweegt verder niet. Maar als ik dit ding met mijn vingers op zijn plaats wil houden dan moet ik hem omhoog drukken.
- 29 CAMIEL: Ja maar, die buis kan toch niet omhoog drukken.
- 30 LER: Nee...maar dat doet die buis dus ook.
- 31 CAMIEL: ja maar, dat kan-ie toch niet.
- 32 LER: jawel, dat kan-ie wel.
- 33 CAMIEL: Jij kan met je vingers omhoog drukken maar die buis niet.
- 34 LER: (probeert een redenering op te zetten, maar daarnaast willen verschillende leerlingen hun zegje doen: verwarring over het probleem)
Ik pak er even wat anders bij.
(En loopt naar het kabinet. Ondertussen blijven een aantal leerlingen door elkaar heen praten.) (Komt met een groot stuk schuimrubber terug.)

Even wat anders. Ik pak even een ander materiaal - buigzamer dan metaal. We zetten het even hiervoor.

(Plaatst het op de demonstratie-tafel.)

Goed, ik probeer jullie dus nu te overtuigen dat die buis een kracht omhoog uitoefent. Tenminste: ik was het met Onno eens, Jet was het er niet mee eens, we gaan kijken of we het eens kunnen worden.

(Legt een gewichtje op het stuk schuimrubber, waardoor deze ongeveer 1 cm. ingedrukt wordt.)

Als ik dat ding hierop leg, dan wordt-ie ingedrukt, hè? - ik moet eigenlijk iets zwaarders hebben...

35 JET: Nou ik geloof je wel, hoor...

36 LER: Ja? Dat geloof je wel... (gegrinnik in de klas) Als je nou ... eh ... Dus: dat schuimrubber wordt ingedrukt, je legt er iets zwaars op. Als je er nou niks zwaars op legt, ik duw hem in en laat hem los (doet dit ook met zijn wijsvinger) Wat gebeurt er dan?

37 JET: Dan komt-ie weer omhoog.

38 LER: Dan komt-ie weer omhoog. Hoe komt dat dan?

39 JET: Jah, omdat je er niks op legt. (in de trant van: '... natuurlijk')

40 LER: Ja-ah, maar wat doet-ie dan - als hij omhoog komt? ... dan drukt hij toch omhoog ...?

41 JET: (verbaasd-verward) Huh?

42 LER: (met iets meer nadruk) Dan drukt hij toch omhoog...?

43 JET: Nee, hij komt gewoon terug in zijn oorspronkelijke staat.

44 KLAS: (Reageert hier (direct) op met de gevoels-inhoud: 'Oh-oh, wat doet ze moeilijk zeg')

45 JET: (niet van haar stuk te krijgen): Nee, ik vind dat er niets mee te maken hebben hoor!

46 LER: Nee? Ik druk hem in, ik leg er iets op (doet dit ook) ... en hij duwt het omhoog, dan is dat een kracht omhoog...?

47 JET: ... Tja, dat vind ik heel raar hoor.

48 LER: ja?

49 JET: Ja! Dat is... (overtuigen beginnen enkele medeleerlingen zich te roeren. Jet, iets minder zeker van zichzelf, maar wel volhardend): Dat is niet...ja nee...dat is niet een kracht. Ik vind het niet echt een kracht.

50 LER: Als jij iets, iets omhoog wilt duwen, dan moet je daarvoor kracht uitoefenen. En nu: (duwt gewichtje in het schuimrubber) hij duwt hem in en hij duwt hem weer omhoog (laat het gewichtje terugveren)

51 JET: Jah...

52 LER: ...en dat vind je geen kracht...?

53 JET: Nee.

54 LER: Dat vind je geen kracht...want dat is toch hetzelfde... Vind je dit dan wel een kracht? Als-ie naar beneden valt.

55 JET: (beslist) Ja-ah, dat is de zwaartekracht.

- 56 LER: Dus: de beweging naar beneden komt wel door een kracht, maar als hij omhoog beweegt (laat gewichtje nog eens omhoog veren door het schuimrubber) is dat niet door een kracht...?
- 57 JET: Nee.
- 58 KLAS: (Nu ronduit gelach (niet negatief) als commentaar)
- 59 LER: (Blijft serieus) Als ik nu ... Ik gooi hem omhoog hè, zo: (doet dit) ... hoop (en vang het gewichtje weer op)
- 60 JET: (Begint om de aandoenlijkheid van de situatie te schateren)
- 61 LER: Is dat een kracht of niet?
- 62 JET: Van je hand wel, ja.
- 63 LER: Van mijn hand wel. En nu laat ik het door het schuimrubber doen (laat gewichtje nog eens omhoog veren door het schuimrubber) en dan is het geen kracht meer...?
- 64 JET: (Moet er nog steeds een beetje om lachen) Nee!
- 65 LER: Wat is nou het verschil?
- 66 JET: (Weer serieus) Nee, die beweging gaat vanzelf. Dat is gewoon zo (er wordt om gelachen). Ja, ik vind dat raar hoor!
- 67 LER: Dus omdat het vanzelf gaat, is het naar jouw gevoel geen kracht...? Als hij vanuit zichzelf nu een mep zou geven, dan zou dat een kracht zijn.
- 68 JET: Ja.
- 69 LER: Ja ja ... Goed. Daar komen we dus niet zo erg goed uit. Volgens mij is er dus wel een kracht, als je hem indrukt en Jet vindt dat nog steeds geen kracht. Ik laat dat even zo. Laat ieder er dan voorlopig maar over denken hoe die wil. Ik zou wel willen weten wat de anderen vinden. Wie is het nou met Jet eens, dat eigenlijk... Gewoon, niet voor de flauwekul... Als ik nou dit indruk en ik laat hem los en ik zeg: daar is nou een kracht werkzaam, wie vindt dat Jet gelijk heeft, ze zegt: eigenlijk vind ik dat nou geen kracht. Eerlijk zeggen, wie vindt dat? (Jet)
- 70 Wie vindt dat ik gelijk heb? Je mag het ook niet-weten of zo. Wie vindt dat ik gelijk heb? (8 à 9 vingers)
Wie weet het niet? (Onno, Camiel en Johan (weifelend), 1 à 2 hebben geen vinger opgestoken).
- 71 Jullie weten het niet, jullie twijfelen wie er gelijk heeft. Oké, nou prima. Dat laten we even zo (naar Jet toe). Misschien dat het me later lukt je toch nog te overtuigen.
Eh...het verschil tussen het schuimrubber en het metaal is dan, volgens mij, dat je dat metaal niet zo goed kunt zien inveren, maar dat dat ook die veerkracht heeft waardoor het terug kan drukken. Dus het metaal is harder en - dat zeg ik dan - het wordt naar beneden gedrukt, maar het veert terug en geeft daardoor een tegenkracht. Goed.
Da's eigenlijk wel leuk dat we het nog niet eens zijn.

Volgens ons is dit protocol *illustratief*² voor een aantal problemen die zich in het natuurwetenschappelijk onderwijs voordoen en die, naar wij verwachten, zeer herkenbaar zullen zijn voor iedereen die daarbij betrokken is, hetzij

als leerling, leraar of onderzoeker. Maar voordat we die problemen in meer detail gaan bespreken, willen wij eerst wijzen op twee punten waarover iedereen het hopelijk eens zal zijn.

Het eerste punt betreft de preciese situaties in de context waarvan de discussie plaats vindt. Daarvan zijn er zeven: de ruiter in rust op de luchtkussenbaan (1)³; een gewicht dat valt (24); een gewicht dat rust op de vingers van de leraar (24); het schuimrubber dat een beetje ingedruwd wordt door een gewicht (34); het schuimrubber dat weer naar boven komt nadat het ingedrukt is geweest (36-38); het gewicht dat naar boven komt nadat het dieper in het schuimrubber was gedrukt (50, 56, 63); het gewicht dat omhoog wordt geworpen door de leraar (59).

Het tweede punt betreft de zeer ervaren leraar. Hij staat open voor zijn leerlingen en neemt ze zeer serieus. Hij probeert adequaat te reageren en improviseert zo goed als hij kan. Desalniettemin slaagt hij er niet in om te bereiken wat hij in gedachten heeft en geeft dat ook eerlijk toe.

Welnu, hoe kunnen we dit protocol begrijpen en wat kunnen we er van leren?

3. Verschillende analyses van het bovenstaande protocol⁴

De analyse van 'de gewone leraar'

Wij denken dat 'de gewone leraar' de beschreven situaties zal herkennen vanuit zijn dagelijkse praktijk en deze min of meer als volgt zal analyseren. De leraar doet zijn uiterste best om zichzelf begrijpelijk te maken voor zijn leerlingen, in het bijzonder doet hij al wat hij kan om Jet's tegenwerpingen weg te nemen (24, 34, 46, 63, 71). Jet blijft echter verwarrende tegenwerpingen maken (18-20, 39, 43, 66), waarschijnlijk omdat zij de wetten van Newton niet begrijpt (15-16, 26-27). Volgens deze analyse zou je zelfs kunnen zeggen dat de leraar Jet teveel aandacht geeft. De andere leerlingen geven immers duidelijk aan dat Jet volgens hen alleen maar vervelend doet (21, 44, 58), waarschijnlijk omdat de meesten van hen de uitleg van de leraar vanaf het begin wél begrepen hebben (70). Misschien heeft Jet gewoon haar huiswerk niet gemaakt of heeft ze niet goed genoeg opgelet toen de video werd vertoond. Hoe dan ook, het lijkt beter dat zij wat extra huiswerk doet, zodat zij de uitleg de volgende keer wel kan begrijpen.

Een bij deze analyse aansluitend onderwijsadvies kan dus zijn om Jet niet zoveel aandacht te geven. En als de leraar Jet, desalniettemin, toch wil overtuigen, zou het het beste zijn als hij haar apart zou nemen en haar nog eens in detail dit probleem zou uitleggen.

Een analyse in termen van misconcepties

Een enigszins andere analyse gaat uit van de veronderstelling dat Jet *misconcepties* heeft, d.w.z., ideeën die conflicteren met correcte natuur-

kundige ideeën. Terwijl zij enerzijds uitgaat van, of op z'n minst niet protesteert tegen, het correcte idee dat de zwaartekracht naar beneden werkt op de ruiter in rust (1-2, 9-10), heeft zij anderzijds tegelijkertijd het verkeerde idee dat de baan geen tegendruk naar boven uitoefent (16). Aan de andere kant stemt zij ermee in dat wanneer je een zwaar gewicht op je vingers zet, jijzelf wél een tegendruk dient uit te oefenen (24-27). En terwijl ze, terecht, van mening is dat wanneer het gewicht naar beneden valt deze neerwaartse beweging veroorzaakt wordt door de zwaartekracht (54-55), heeft zij tegelijkertijd de misconceptie dat, wanneer het gewicht vanwege het schuimrubber naar boven toe beweegt, deze beweging niet door een kracht wordt veroorzaakt (56-57). Desalniettemin zegt zij weer terecht dat wanneer je het gewicht naar boven werpt, deze opwaartse beweging veroorzaakt wordt door de kracht van je hand (59-62).

Men zou dus het volgende kunnen concluderen: Jet kent het bestaan van de zwaartekracht en weet dat deze op alles naar beneden gericht werkt. In sommige duidelijke gevallen, zoals een gewicht op je vingers, weet zij dat er een tegenkracht nodig is; maar in minder duidelijke gevallen, zoals 'de ruiter op de luchtkussenbaan' en 'het gewicht op het schuimrubber' heeft zij de misconceptie dat er geen tegenkracht nodig is.

Zo'n analyse in termen van leerlingen die misconcepties hebben is (was?) niet ongewoon. Er zijn vele publicaties geweest, in het bijzonder tijdens de eerste fase van het vigerende 'conceptual change' onderzoeksparadigma, waarin allerlei soorten misconcepties zijn opgespoord, hoofdzakelijk met behulp van vragenlijsten. In aansluiting hierbij zou men het bovenstaande protocol ook kunnen opvatten als een soort vragenlijst. Een vragenlijst die dan uit 7 items bestaat, waarvan ieder correspondeert met één van de 7 situaties die in het protocol aan de orde komen. Elk item vraagt dan, als het ware, of de zwaartekracht werkzaam is en of er ook nog andere krachten worden uitgeoefend.

Uit Jet's antwoorden op deze 'vragenlijst' zouden we dan kunnen concluderen, zoals vaak in dit soort onderzoeken wordt gedaan, dat we hier te maken hebben met één van die voorbeelden van een leerling die inconsistent redeneert, en uitgaat van verkeerde 'epistemological commitments'. Immers, zij schijnt zich ook niet bewust te zijn van het feit dat de belangrijkste wetten van de natuurkunde verondersteld worden algemeen geldig te zijn.

Eén manier waarop het verschil tussen de eerste en deze analyse duidelijk kan worden gemaakt, hangt samen met de wijze van inschatting van leerlingen als Jet. Terwijl we in de eerste analyse Jet vooral beschouwden als een leerling die niet goed genoeg heeft opgelet, alleen maar vervelend is, of voor wie natuurkunde eenvoudigweg te moeilijk lijkt, zouden we op grond van de

tweede analyse Jet juist moeten beschouwen als een leerling met een voorbeeldige houding. Omdat de andere leerlingen gewoon accepteren wat de leraar zegt, is het in feite veeleer hun houding die als problematisch beschouwd moet worden voor inzichtsvol leren. Het is juist deze houding die leidt tot het blijven voortbestaan van misconcepties. We mogen immers, op grond van de ervaring met onderzoek naar misconcepties, rustig aannemen dat veel van de andere leerlingen, bij doorvragen, precies dezelfde misconcepties zullen blijken te hebben als Jet.

Volgens deze analyse in termen van misconcepties zou het daarom een gepast onderwijsadvies zijn om niet alleen Jet, maar ook de andere leerlingen uit te dagen hun misconcepties naar voren te brengen. Immers, werkelijk inzicht kan, vanuit dit perspectief, alleen resulteren uit een gecombineerd proces van het *aanleren* van correcte ideeën, tesamen met het *afleren* van misconcepties. De leraar zal er daarom het beste aan doen om deze misconcepties gericht aan te pakken, bijvoorbeeld, door leerlingen zowel te vertellen wat zij wel, als wat zij niet moeten denken, onderwijl tevens benadrukkend en demonstrerend dat de natuurwetten universeel toepasbaar zijn.

Een analyse in termen van alternatieve concepties

Een derde analyse gaat ervan uit dat Jet weliswaar ideeën heeft die conflicteren met de geaccepteerde natuurkundige ideeën, maar voegt daar onmiddellijk aan toe dat dit volstrekt niet verrassend is. "In some cases, prior knowledge acquired by informal learning or through cultural transmission of 'folk knowledge' is inconsistent with the formal knowledge to be acquired during schooling. This is particularly likely in the natural sciences, where prior experiences, though categorized as naive from a scientific perspective, provide reasonable explanations to guide daily behaviour (Anderson, 1992)". Onderzoekers die van dit standpunt uitgaan, geven er daarom ook de voorkeur aan om de ideeën van leerlingen *preconceptions* of *alternatieve concepties* te noemen, in plaats van misconcepties. In plaats van te benadrukken dat leerlingen, vanuit wetenschappelijk gezichtspunt gezien, incorrecte ideeën hebben, proberen zij deze alternatieve concepties, die leerlingen in hun dagelijks leven lijken te gebruiken, juist zo goed mogelijk te beschrijven. Voorzover het bijvoorbeeld de ideeën van leerlingen over kracht en beweging betreft, hebben o.a. Gunstone en Watts (1985) een aantal 'intuïtieve regels' geformuleerd, zoals: krachten hebben met levende dingen te maken; als een voorwerp niet beweegt, werkt er geen kracht op; als een voorwerp beweegt, werkt er een kracht op in de richting van die beweging, etc. Aansluitend bij het probleem in ons protocol formuleert Clement (1993) de volgende, wat hij

noemt, "deep seated" alternatieve conceptie: "static objects as barriers that cannot exert forces".

Op grond van deze nieuwe analyse kunnen we zeggen dat uit het protocol blijkt dat het redeneren van Jet bepaald wordt door zulke intuïtieve regels. Ook deze interpretatie leidt tot de aanvullende conclusie dat leerlingen in verschillende contexten inconsistent redeneren. Zo zal, bijvoorbeeld, de bovenstaande regel die kracht associeert met de bewegingsrichting, door Jet zeker in verschillende situaties gebruikt worden, maar niet in haar redenering over de opwaartse beweging van het gewicht door het schuimrubber. Dikwijls probeert men deze aanvullende conclusie plausibel te maken door er op te wijzen dat er, vanuit alledaags perspectief, geen behoefte zou bestaan aan coherentie of algemene toepasbaarheid van ideeën in een groot aantal situaties. Soms wordt dit zelfs voor vanzelfsprekend aangenomen. Grandy en Hamilton (1992), bijvoorbeeld, schrijven over de theorieën van leerlingen als volgt: "Of course, these theories are often incomplete, incoherent and misguided."

Tot nu toe hebben we ons in deze analyse slechts gericht op één kant van de medaille, namelijk op de concepties van leerlingen. In het onderwijs gaat het echter, zoals het protocol laat zien, om de interactie tussen leraar en leerlingen. Als we daarom nu, vanuit het perspectief van alternatieve concepties, op deze interactie focuseren, dan kan het protocol in zekere zin opgevat worden als een botsing tussen twee werelden, enigszins vergelijkbaar met de botsing van incommensurabele wereldbeelden waarover Kuhn (1970a) heeft geschreven. Aan de ene kant redeneert Jet vanuit haar inconsistente referentiekader; de leraar, aan de andere kant, redeneert met het Newtonse krachtbegrip en doet dit op een consistente manier. Zijn kennis en epistemologische commitments zijn immers zodanig dat hij weet dat begrippen en wetten van de natuurkunde algemeen toepasbaar zijn. Men zou daarom kunnen zeggen dat de leraar en Jet min of meer in verschillende werelden leven. Zij 'zien' dan ook niet dezelfde objecten en gebeurtenissen omdat de waarneming theorie-geladen is. In ieders wereld worden verschillende concepten gebruikt, deel uitmakend van verschillende soorten kennis met verschillende karakteristieken en probleemoplossingsprocedures (Reif en Larkin, 1991).

Volgens deze analyse is het volstrekt begrijpelijk dat Jet en de leraar elkaar niet begrijpen en dat het onderwijsproces faalt. Anderson (1992) schrijft b.v.: "These well-entrenched alternative conceptions (or misconceptions from the viewpoint of the scientist) can have profound effects on the students' capacity to accept and internalize scientific explanations that may be contradictory to prior experience."

Gunstone en Watts (1985) wijzen in dit verband op het belang van taal: "The issue of language is difficult and complex. Students use language which

is meaningful to students; teachers use language which is meaningful to teachers. There are a range of important teaching implications to be derived from an understanding of language and its role in learning."

Leerlingen moeten daarom, zegt men, een proces van 'conceptual change' doormaken, een verandering in wereldbeeld dat enigszins vergelijkbaar is met een Kuhniaanse wetenschappelijke revolutie.

Een globaal onderwijsadvies, waarover alle alternatieve-conceptie onderzoekers het eens zijn, is dat men daarom uit moet gaan van en gevoelig moet zijn voor de manier waarop leerlingen de wereld zien. In §5 zullen we de belangrijkste strategieën, die vanuit deze opvatting worden voorgesteld "to overcome the dominance of an alternative conception" (Clement, 1993), verder bespreken.

4. Onze eigen analyse

Enkele tekortkomingen in de voorgaande analyses

Zowel de analyse van de 'gewone' leraar, als de analyse in termen van misconcepties beginnen en eindigen met de correcte natuurkunde als enige norm en standpunt van waaruit over onderwijs gesproken wordt. In beide analyses is de hoofdconclusie, immers, dat Jet *verkeerde* ideeën heeft. Deze conclusie is, naar ons idee, echter toch wat prematuur. Natuurlijk zijn we het ermee eens dat Jet de wetten van Newton nog niet kent en dat zij dingen zegt die een natuurkundige niet zou zeggen, of in ieder geval niet in die woorden. Echter, van een ideeënconflict zou alleen sprake zijn als we veronderstellen dat Jet haar uitdrukkingen waarin het woord 'kracht' voorkomt, ook op dezelfde manier gebruikt en begrijpt als een natuurkundige. Maar, is het terecht om haar uitspraken op die manier te interpreteren?

Een soortgelijke opmerking kan gemaakt worden over de analyse in termen van alternatieve concepties. Jet wordt geacht te redeneren vanuit een alledaags perspectief, waarin geen noodzaak zou zijn voor coherentie of algemene toepasbaarheid in een veelheid van situaties. Echter, op grond van de manier waarop Jet argumenteert, lijkt het duidelijk dat zijzelf totaal geen incoherentie ervaart. Zelfs niet wanneer het haar duidelijk is dat de leraar haar expliciet op haar incoherentie lijkt te wijzen (56-65). Haar probleem lijkt eerder te zijn dat zij niet kan begrijpen dat de leraar de voor haar toch zo vanzelfsprekende punten niet begrijpt (20, 43, 66). Is het daarom wel juist om te concluderen dat Jet incoherent redeneert?

Zowel de analyse in termen van misconcepties, als de analyse in termen van alternatieve concepties wijzen erop dat de ideeën van leerlingen op enigerlei wijze dienen te worden aangepakt. Om de noodzakelijk geachte 'conceptual change' te bewerkstelligen, is een aantal meer specifieke strategieën voorgesteld. Zo zouden leerlingen ruime gelegenheid moeten

krijgen om hun eigen ideeën te uiten en te bediscussiëren, waarna de status van hun alternatieve ideeën zou moeten worden verlaagd, bijvoorbeeld met behulp van conflict-, overbruggings- of analogie-situaties. Wij willen er echter op wijzen dat dit nu precies datgene is wat de leraar in het protocol probeert te doen. Hij geeft Jet alle vrijheid om zich te uiten (48, 52, 61), hij gebruikt overbruggingssituaties en analogieën (24, 28, 50-54, 71), hij probeert Jet's ideeën direct te bespreken en een conflict op te roepen (50, 54, 65). En toch slaagt hij niet. Waarom?

De globale structuur van de discussie tussen Jet en haar leraar

Laten we daarom het protocol nog eens opnieuw bekijken. Een eerste punt van belang is dan dat de leraar zijn gesprek met Jet opvat alsof zij een *verschil van mening* hebben over de vraag: 'Oefent de luchtkussenbaan werkelijk een kracht uit?' (34, 69). In overeenstemming daarmee ziet hij het als zijn taak om Jet ervan te overtuigen dat zijn opinie de juiste is (34, 71). Hij doet dit niet door te argumenteren in termen van de wetten van Newton, omdat hij er waarschijnlijk terecht van uitgaat dat dat geen succes zal hebben, maar door min of meer ostentatief en vergelijkend te wijzen op toch steeds duidelijker zichtbare gevallen van 'krachten die werken'.

Tenslotte beschouwt de leraar zijn poging als mislukt: "Ik denk dat er een kracht is als je dit indrukt en Jet denkt nog steeds dat er dan geen kracht is" (69). Gegeven dat dit de manier is waarop hij de situatie evalueert en dat hij geen andere manier meer kan bedenken om Jet alsnog te overtuigen, is het uitstekend dat hij expliciet zegt dat hij de zaak even zal laten rusten (69). Hij benadrukt zelfs het eigenlijk wel grappig te vinden dat zij het nog steeds niet met elkaar eens zijn (71).

Verschillen de leraar en Jet werkelijk van mening?

Maar, is het wel terecht dat de leraar zijn gesprek met Jet interpreteert alsof zij een verschil van mening hebben? Wij denken van niet. Natuurlijk is Jet het ermee eens dat een ruiter die ondersteund wordt door een luchtkussenbaan, in zeker opzicht veel lijkt op een gewicht dat ondersteund wordt door de vingertoppen van de leraar. In beide gevallen wordt immers voorkomen dat er een object naar beneden valt. En natuurlijk is Jet het ermee eens dat het omhoog gooien van een gewicht en het omhoog komen van het gewicht door het schuimrubber overeenkomstige zaken zijn, in die zin dat het gewicht in beide gevallen naar boven toe wordt bewogen. Ook zal de leraar het er zeker mee eens zijn dat het stuk schuimrubber en de metalen baan niet *uit zichzelf* iets naar boven kunnen duwen, of een mep kunnen geven, op de manier zoals wij dat kunnen (16, 29, 33, 67-68). Of dat het schuimrubber helemaal uit zichzelf terug zou kunnen veren, zonder dat wij eerst iets hoeven

te doen (66). En zonder twijfel zou Jet het ook met de leraar eens kunnen gaan worden (misschien op een manier zoals gesuggereerd door Minstrell, 1982) dat de metalen baan veel lijkt op het stuk schuimrubber, in die zin dat die baan ook een beetje veerkrachtig is, ook al is dat niet zo goed zichtbaar (28, 71).

De leraar en Jet lijken het daarom eens te zijn over alle overeenkomsten en verschillen tussen de diverse situaties. Aan het eind van hun discussie lijkt de leraar zelfs min of meer in staat om te voorspellen wanneer Jet zal gaan zeggen dat er wel een kracht werkt en wanneer niet (56, 63, 67). Desalniettemin hebben zij een voortdurend en onopgelost geschil. Als hen de vraag zou worden gesteld: 'Oefent de baan een kracht uit?', of: 'Oefent het schuimrubber een kracht uit?', dan zou de leraar 'ja' antwoorden en Jet 'nee' (34, 71).

Wat is dan wel de kern van het probleem tussen Jet en haar leraar?

Hoe kan het dan dat, als er geen echt verschil van mening is tussen Jet en haar leraar, hun gesprek toch uitloopt op een ja-nee patstelling? Om deze vraag te beantwoorden vinden we het nuttig om, net als Gunstone en Watts, het aspect van de taal naar voren te brengen (althoewel op een wat andere manier als zij). Wij doen dit door te veronderstellen dat de leraar en Jet enigszins verschillende 'talen' spreken. In het bijzonder veronderstellen we dat de uitdrukking 'een kracht uitoefenen' voor de leraar en Jet niet dezelfde betekenis heeft. Ofwel, dat zij deze (of verwante) uitdrukking(en) niet op dezelfde manier gebruiken en begrijpen⁵. Dit lijkt een redelijke veronderstelling, gegeven dat de leraar de uitdrukking in Newtoniaanse zin gebruikt, terwijl Jet zeer waarschijnlijk deze Newtoniaanse taal nog niet kent.

Laten we om te beginnen eerst duidelijk maken dat, gegeven voorgaande veronderstelling, hun ja-nee patstelling niet impliceert dat ze tegenovergestelde dingen geloven, d.w.z. dat zij conflicterende 'beliefs' over de wereld hebben. Het feit dat de leraar 'ja' en Jet 'nee' antwoordt op de vraag 'Oefent het schuimrubber een kracht uit?' geeft niet noodzakelijkerwijs aan dat zij tegenovergestelde claims maken t.a.v. het optreden van een specifiek soort gebeurtenis. Om na te gaan wat het dan wel aangeeft zullen we verdere aannames moeten maken over de (verschillende) betekenissen die Jet en de leraar toekennen aan de uitdrukking 'een kracht uitoefenen'. We zullen laten zien dat dit op zo'n manier gedaan kan worden dat de leraar, door het uiten van de (zijn) zin 'Het schuimrubber oefent een kracht uit', gegeven de betekenis die hij aan deze uitdrukking toekent, terecht beweert dat er een bepaald soort gebeurtenis plaatsvindt, terwijl Jet, door het uiten van de (haar) zin 'Het schuimrubber oefent geen kracht uit', gegeven de betekenis die zij

toekent aan deze uitdrukking, terecht het plaatsvinden van een (ander) soort gebeurtenis ontkent. Voor wat de leraar betreft is er hier geen probleem: met het uiten van zijn zin 'Het schuimrubber oefent een kracht uit', gegeven dat hij deze uitdrukking op Newtoniaanse wijze gebruikt, beweert hij terecht dat er een gebeurtenis plaatsvindt die niet zou zijn voorgekomen als het schuimrubber daar niet was geweest (nl. de opwaartse beweging van het gewicht). Maar hoe zit het met Jet? Kunnen we ook een veronderstelling maken t.a.v. haar gebruik van de uitdrukking, zodanig dat ook zij gelijk heeft als zij zegt 'Het schuimrubber oefent geen kracht uit?'.

Om een plausibele aanname te kunnen maken t.a.v. Jet's woordgebruik, stellen we eenvoudigweg voor om aan haar uitdrukking 'een kracht uitoefenen' een zodanige betekenis toe te kennen dat, telkens als zij 'ja' (of 'nee') zou antwoorden op de vraag 'Oefent dit een kracht uit?', zij daarin volgens ons ook gewoon gelijk heeft. Onder de situaties in het protocol zijn er twee waarin Jet 'ja' antwoordt, nl., als de leraar het gewicht naar boven gooit, en wanneer hij het gewicht ondersteunt. In de andere situaties antwoordt zij 'nee' op de vraag 'Oefent dit (het schuimrubber, de luchtkussenbaan) een kracht uit?' Wij veronderstellen dat zij ook 'ja' zou antwoorden als, in plaats van de leraar, een ander levend wezen iets ondersteunt of omhoog werpt, of als een levend wezen nog iets anders dan dat zou doen (b.v. een ander voorwerp in beweging brengen, een zet geven, of vervormen). Zij geeft zelfs aan dat zij ook 'ja' zou antwoorden voor het geval dat een niet-levend voorwerp, uit zichzelf, gebeurtenissen als de zojuist genoemde zou veroorzaken (67-68). Daarom stellen wij voor om de volgende aanname te maken: voor Jet is de uitdrukking '...oefent een kracht uit' van toepassing op een object, wanneer er een gebeurtenis plaatsvindt die dat object, uit zichzelf, heeft veroorzaakt; of als het een object is dat, uit zichzelf, iets zou kunnen laten gebeuren met een ander object, maar het in plaats daarvan alleen maar ondersteunt⁶.

Als wij Jet op deze manier interpreteren, zijn wij het met haar eens dat, als de ruiter rust op de luchtkussenbaan, haar zin: 'De luchtkussenbaan oefent een kracht uit' niet waar is, eenvoudigweg omdat de baan, uit zichzelf, niet iets kan laten gebeuren met de ruiter (b.v. omhoog werpen). Met haar zin: 'Het schuimrubber oefent geen kracht uit', ontkent ze dus, gegeven bovenstaande interpretatie, dat het schuimrubber, uit zichzelf, iets zou hebben veroorzaakt. Met die uitspraak ontkent ze echter niet dat het gewicht naar boven toe beweegt, noch dat het schuimrubber daar een rol in speelt, maar alleen (en terecht) dat het schuimrubber dat uit zichzelf zou hebben veroorzaakt. Het is veeleer de leraar die, door het gewicht diep in het schuimrubber te drukken en het vervolgens terug te laten komen in zijn oorspronkelijke toestand (43), in feite de opwaartse beweging van het gewicht

heeft veroorzaakt. Wij beweren dus dat Jet 'ja' zou hebben geantwoord als haar gevraagd was 'Oefent de leraar een kracht uit'. Of beter, haar positieve antwoord zou onze interpretatie hebben ondersteund.

Volgens deze analyse is het conflict dat de leraar en Jet denken te hebben (34, 69) slechts schijnbaar. Als de leraar zou hebben geweten hoe Jet 'haar' uitdrukking gebruikt en begrijpt, zou hij het eens zijn geweest met haar uitspraak dat de luchtkussenbaan geen kracht uitoefent. Dat hun discussie uitloopt op een ja-nee patstelling komt dus niet doordat zij een werkelijk meningsverschil hebben, maar omdat beiden er ten onrechte van uit gaan dat de uitdrukking voor hen een identieke betekenis heeft.

Vergelijking van onze analyse met die in termen van alternatieve concepties. Volgens onze analyse redeneert Jet helemaal niet incoherent. Of beter gezegd, we hebben haar zodanig geïnterpreteerd dat zij, volgens ons, haar uitdrukking 'een kracht uitoefenen' terecht en consistent gebruikt in de verschillende situaties uit het protocol. Niet alleen redeneert zij dus niet inconsistent, wij zijn het feitelijk ook nog helemaal met haar eens.

Wij interpreteren het gesprek dan ook niet als een botsing tussen twee conflicterende wereldbeelden, maar als een voorbeeld van falende communicatie. De bron van de miscommunicatie is dat de leraar en Jet denken dat zij dezelfde taal spreken, terwijl het in feite gaat om verschillende (alhoewel gelijklopende) talen. Omdat zij zich hier niet van bewust zijn, kunnen de leraar en Jet, als het ware, ertoe komen om van elkaar te denken dat zij in verschillende werelden leven. Beiden kunnen het gevoel hebben gekregen dat er een kloof tussen hen was; Ten Voorde (1990) noemt dit een kloof van onverstaanbaarheid, die zij niet konden overbruggen. De leraar kan het gevoel hebben gekregen dat hij niet in staat was om (ondanks al zijn inspanningen) Jet te overtuigen. Jet kan het gevoel hebben gekregen dat de leraar haar met alle kracht wou overtuigen van iets dat zij gewoonweg niet kan geloven: "Tja, dat vind ik echt raar hoor" (47, 66).

Ramberg (1989) beargumenteert dat Kuhn's bewering dat wetenschappers die werkzaam zijn binnen incommensurabele paradigma's hun vak zouden beoefenen in verschillende werelden, op een vergelijkbare manier begrepen kan worden. Ramberg analyseert daartoe het problematische begrip van incommensurabiliteit, waarover Kuhn (1970b) zelf schrijft: "In the transition from one theory to the next words change their meanings or conditions of applicability in subtle ways. Though most of the same signs are used before and after a revolution - e.g. force, mass, element, compound, cell- the way in which some of them attach to nature has somehow changed. Successive theories are thus, we say, incommensurable." Ramberg (1989, p. 132) suggereert om incommensurabiliteit niet te interpreteren als een relatie tussen

theorieën, wereldbeelden, sociale praktijken, of paradigma's, maar als "a characteristic of the discourse that results when we proceed *as if* we are using the same vocabulary, and so interpret others by applying linguistic conventions to which they are not party." In plaats van te concluderen dat de leraar en Jet incommensurabele wereldbeelden hebben, geven wij er daarom de voorkeur aan om te zeggen dat hun communicatie incommensurabel is. Van Kuhn e.a. kunnen we leren dat ook de communicatie tussen wetenschappers dikwijls incommensurabel is, of geweest is. De betekenisveranderingen die besloten liggen in de overgang van de ene theorie naar de andere kunnen inderdaad gemakkelijk aanleiding geven tot situaties waarin twee wetenschappers, net als de leraar en Jet, zich niet bewust zijn van het feit dat zij sommige woorden op verschillende manier gebruiken. En dientengevolge kunnen zij, net als de leraar en Jet, in hun pogingen om elkaar te verstaan haast onoverbrugbare problemen ervaren, zelfs zodanig dat zij het gewoon opgeven. Maar, waar zij dientengevolge tot de conclusie zouden kunnen komen dat zij, als het ware, in verschillende werelden leven, zijn zij in feite, net als de leraar en Jet, slechts 'door woorden van elkaar gescheiden'.

Wij sluiten deze paragraaf af met te wijzen op het verschil tussen de manier waarop wij het moeilijke en complexe probleem van taal naar voren hebben gebracht, en de manier waarop dit is gedaan door Gunstone en Watts (1985). Deze schrijven: "Language which is meaningful to teachers may, because of students' views of the world, have a quite different (even conflicting) meaning for students. If we are not sensitive to this, we can unwittingly reinforce the very views we want to change".

Wij zijn het er uiteraard mee eens dat taal die betekenisvol is voor de leraar, inderdaad een andere betekenis kan hebben voor de leerling. Dit is, volgens ons, precies het probleem voor Jet en haar leraar. Echter, dit komt *niet* doordat leerlingen alternatieve 'beliefs over de wereld' zouden hebben, d.w.z. 'beliefs' die veranderd zouden moeten worden (hierbij interpreteren dus wij wat Gunstone en Watts 'views of the world' noemen als 'beliefs about the world'). Volgens ons is er eenvoudigweg geen 'identity of meaning' met betrekking tot sommige termen, omdat wetenschappers ertoe gekomen zijn om daaraan een nogal specifieke betekenis toe te kennen. Daarom zouden we liever zeggen dat als men daar niet gevoelig voor is, men schijnbare conflicten creëert en langs elkaar heen praat (incommensurabele communicatie).

In onze eigen analyse zijn wij er niet van uitgegaan dat Jet alternatieve 'beliefs' heeft. Integendeel, wij hebben verondersteld dat Jet's 'beliefs' prima in orde zijn en, daarvan uitgaande, hebben wij betekenis toegekend aan haar uitdrukking 'een kracht uitoefenen'. Men zou dus kunnen zeggen dat wij, in plaats van uit te gaan van 'identity of meaning', zijn uitgegaan van 'identity

of *belief*'. Op deze manier, d.w.z. door te zoeken naar zoveel mogelijk gemeenschappelijks met Jet, hebben wij haar niet geïnterpreteerd als een ander wereldbeeld of andere *'beliefs'* te hebben, maar als een andere, gelijkkluidende, taal te spreken. Gegeven dat wij het dan volledig met haar eens zijn, en dat er dus niets verkeerd is aan haar *'beliefs'*, hoeven wij die dus ook niet te veranderen⁷. Maar natuurlijk zien wij wel de noodzaak om haar veel te doen toevoegen aan wat zij al weet.

Laten we het bedoelde verschil nog eens op een andere manier proberen duidelijk te maken. Alhoewel wij denken dat Gunstone, Watts en Clement zich bewust zijn van het feit dat leerlingen het woord *'kracht'*, of uitdrukkingen die dit bevatten, niet gebruiken op een manier zoals een fysicus dit doet, gebruiken zij desalniettemin het woord *'kracht'* in hun formuleringen van de intuïtieve regels of alternatieve concepties van leerlingen, bijvoorbeeld als volgt: leerlingen geloven dat *'static objects are barriers that cannot exert forces'*. Daarmee laten zij dus onbeantwoord welke betekenis leerlingen toekennen aan uitdrukkingen die het woord *'kracht'* bevatten.

In feite laten zij dus ook de vraag onbeantwoord welke *'beliefs'* schuil gaan achter de intuïtieve regels en concepties die zij formuleren. Wij, echter, hebben in het voorgaande juist wel geprobeerd deze vraag te beantwoorden, door aan te geven welke betekenis Jet toekent aan de uitdrukking *'een kracht uitoefenen'*. Het feit dat zij háár zin: *"statische objecten vormen barrières die geen krachten kunnen uitoefenen"* voor waar houdt, geeft dienovereenkomstig haar correcte *'belief'* weer dat: *'statische objecten barrières vormen die niet uit zichzelf iets kunnen veroorzaken (b.v. een ander object in beweging brengen of een mep geven)'*.

Wij verwijzen naar Klaassen (1995) voor een antwoord op de vragen welke betekenis leerlingen toekennen aan sommige andere uitdrukkingen die het woord *'kracht'* bevatten, welke *'beliefs'* van leerlingen worden weergegeven door de *'intuitive rules'* zoals geformuleerd door Gunstone en Watts, en voor een vergelijking van deze *'beliefs'* met de *'common sense theory of motion'*, zoals beschreven door Bliss en Ogborn (1993).

5. Wat betekent dit alles voor het onderwijzen?

In deze paragraaf willen we bespreken of de verschillen tussen de gegeven analyses ook nog enig belang hebben voor het onderwijs: leiden zij b.v. tot verschillende onderwijsstrategieën?

De twee belangrijkste strategieën die gewoonlijk worden voorgesteld op grond van de analyses in termen van misconcepties en alternatieve concepties, zijn het gebruik van conflictsituaties en het gebruik van overbruggings- of analogiesituaties. Zijn deze strategieën nu ook van toepassing in het onderhavige geval? Het idee achter het gebruik van conflictsituaties is om

leerlingen te confronteren met een 'discrepant event', dat hen min of meer dwingt om b.v. de 'static objects are barriers that cannot exert forces'-conceptie los te laten. Voor ons is deze strategie geen optie. Volgens onze analyse geeft deze conceptie immers het geloof weer dat statische objecten barrières vormen die niet uit zichzelf iets kunnen veroorzaken, en er is geen reden om leerlingen hiervan te laten afzien. Dit wordt ook duidelijk wanneer we proberen om een 'discrepant event' te bedenken dat Jet er toe zou kunnen brengen het niet langer eens te zijn met háár uitspraak 'de luchtkussenbaan oefent geen kracht uit'. Gegeven de betekenis die zij hieraan toekent, zou dan, bijvoorbeeld, de luchtkussenbaan uit zichzelf iets naar boven moeten gooien, of iets een zet moeten geven. Zulke gebeurtenissen zouden inderdaad gelden als 'discrepant events', maar natuurlijk niet alleen voor Jet.

Soortgelijk commentaar geldt voor de andere strategie, het gebruik van analogie-situaties. Clement (1993), bijvoorbeeld, probeert leerlingen de 'static objects are barriers that cannot exert forces'-conceptie te laten overwinnen. Hij doet dit door te beginnen met een goed gekozen ankersituatie (een hand die een veer induwt). Via eveneens goed gekozen analogie-situaties (een boek op een doorbuigende plank, en op een stuk schuimrubber) probeert hij dan om leerlingen te laten 'zien' dat ook in de doelsituatie (de paradigmatische boek-op-tafel-situatie) een statisch object inderdaad een kracht uitoefent.

In de eerste plaats willen we er op wijzen dat Clement's ankersituatie niet geschikt zou zijn voor Jet, gegeven onze interpretatie van haar. Immers, zij zou bevestigend antwoorden op de vraag of de persoon die de veer induwt een kracht uitoefent, maar ontkennend op de vraag of de veer een kracht uitoefent. Bovendien zou zij in Clement's analogie- en doelsituaties ontkennend antwoorden op de vraag of de doorbuigende plank/het stuk schuimrubber/de tafel/het boek een kracht uitoefent. Zij zou het natuurlijk wel eens zijn met het feit dat de ankersituatie en de analogie-situaties gelijk zijn, in die zin dat er in elke situatie iets (de veer, de plank, het schuimrubber) is dat vervormd wordt. En dat de analogiesituaties en de doelsituatie gelijk zijn, in die zin dat er in elke situatie iets is (de plank, het schuimrubber, de tafel) dat voorkomt dat het boek naar beneden valt. En zij zou het eens kunnen worden over het feit dat al de situaties gelijk zijn, in die zin dat ook de tafel een beetje vervormd wordt en dat die, net als de veer, de plank en het schuimrubber, ook een beetje veerkrachtig is. Maar desondanks heeft zij nog steeds gelijk als zij ontkennend zou antwoorden op de vraag: 'Oefent de tafel een kracht uit?', op de manier zoals zij die begrijpt. Wij concluderen dus dat Clement's strategie niet kan voldoen aan de taak die hij in gedachten heeft: leerlingen de 'static objects are barriers that cannot exert forces'-conceptie laten overwinnen, eenvoudigweg omdat er niet zoiets is om te overwinnen. Het is niet nodig om hen te laten realiseren dat zij niet langer

iets geloven wat ze eerder wel geloofden. Jet, bijvoorbeeld, hoeft het niet oneens te worden met *háár* zin 'De luchtkussenbaan oefent geen kracht uit', maar moet het eens worden met de *leraar's* zin "De luchtkussenbaan oefent een kracht uit'. Daarvoor zal zij echter eerst moeten leren wat de leraar met zijn uitdrukking 'een kracht uitoefenen' bedoelt.

Dit kan nog duidelijker worden als we ons afvragen wat de leraar en Jet bij hun incommensurabele discussie geholpen zou kunnen hebben. "What the participants in a communication breakdown can do is recognize each other as members of different language-communities and then become translators." (Kuhn, 1970a, p.202). Dit zou ook een oplossing hebben kunnen bieden voor Jet en de leraar. Ofschoon zij een eind op weg waren in het bepalen van in welke situaties de ander zegt: 'dit oefent een kracht uit op dat', zagen zij niet in dat de bron van hun geschil eenvoudigweg ligt in het feit dat zij een verschillende betekenis toekennen aan de uitdrukking 'een kracht uitoefenen op'. Als zij dat wel hadden gedaan dan zouden zij 'vertalers' i.p.v. 'overtuigers' kunnen zijn geworden. De leraar zou dan hebben gevonden dat Jet de uitdrukking gebruikt in de zin zoals aangegeven in §4 en zou het dan met haar eens zijn geweest. Hij zou dan hebben kunnen aangeven dat hij de uitdrukking op een andere manier gebruikt, b.v. als volgt: we zeggen 'x oefent een kracht uit op y' als er iets gebeurt met y dat niet gebeurd zou zijn als x er niet was geweest. Dus dat de luchtkussenbaan een kracht uitoefent op de ruiters omdat als de baan daar niet was geweest de ruiters naar beneden zou zijn gevallen. En Jet zou daarmee hebben kunnen instemmen. Zij zou dan ook hebben ingezien dat waar volgens haar gebruik van de uitdrukking de overeenkomst tussen Clement's ankersituatie en analoge situaties irrelevant is, deze overeenkomst wel precies het kenmerk is voor het toepassen van de uitdrukking van de leraar. In elke situatie is er immers een vervorming van iets (de veer, de plank, het schuimrubber) die niet zou zijn gebeurd als iets anders (de persoon, het boek) er niet was geweest. Dat zij zou instemmen met de leraar zou dan niet daaruit voortgekomen zijn dat zij van gedachte veranderd is, maar eenvoudigweg daaruit dat zij dan zou hebben geweten wat de leraar met die uitdrukking bedoelt.

Alleen in Clement's doelsituatie zou zij werkelijk iets nieuws hebben geleerd, nl. dat de tafel een beetje vervormd wordt als er een boek op gelegd wordt. Dit geleerd hebbende, zou het juist weer haar kennis van hoe de leraar de uitdrukking gebruikt geweest zijn, op grond waarvan zij dan zou hebben ingestemd met zijn uitspraak dat het boek een kracht uitoefent op de tafel, en andersom.

Volgens ons is er dus geen behoefte aan wat voor strategie dan ook die tot doel heeft om leerlingen de 'static objects as barriers that cannot exert forces'-conceptie te doen overwinnen. Het bovenstaande wijst eerder op een

ander doel. Want hoewel de leraar en Jet volgens de hiervoor aangegeven weg uit hun incommensurabele communicatie hadden kunnen komen, is die uitweg nogal *ad hoc* van karakter. In het bijzonder zou Jet nog steeds niet hebben geweten wat er nu zo essentieel is aan het ter beschikking hebben van een relatie waaraan twee voorwerpen voldoen wanneer er iets gebeurt met het ene voorwerp, dat niet gebeurt zou zijn als het andere er niet was geweest. Als zij het belang zou hebben ingezien van het kennen van zo'n relatie, zou de leraar eenvoudigweg hebben kunnen aangeven dat, bij wijze van afspraak, men in de natuurkunde de term 'x oefent een kracht uit op y' gebruikt om die relatie uit te drukken. De taak wordt dan een manier te vinden om haar het belang van het beschikbaar hebben van zo'n relatie te doen inzien.

Het andere doel dat we hierboven aanstipten betreft nu juist het vinden van zulke manieren. Het zoeken naar wegen om wetenschappelijke termen op een voor leerlingen betekenisvolle manier te kunnen onderwijzen, door bij hen een behoefte te induceren, of op z'n minst goede redenen, voor juist die termen die men van plan is te introduceren. Dit is voor het onderwijs een verre van triviale opgave. In het algemeen kunnen de redenen van leerlingen om bepaalde termen ter beschikking te willen hebben, op het moment dat ze worden geïntroduceerd, immers niet samenvallen met de redenen van de leraar of het curriculum om ze te introduceren, namelijk dat het beschikbaar hebben van zulke termen nuttig is in het licht van een verdere ontwikkeling naar een wetenschappelijke theorie (Klaassen, 1995).

In het voorgaande hebben we geprobeerd te laten zien dat er voor Jet geen aanleiding is om haar 'beliefs' op te geven. Natuurlijk betekent dit niet dat, in het algemeen, leerlingen nooit enig 'belief' hoeven te veranderen. Wij claimen echter wel dat dit niet vaak zal voorkomen. Veeleer zullen ze, juist op basis van wat ze al weten, hun kennis verder moeten uitbreiden. In de weinige gevallen waarin leerlingen wel iets moeten herzien, betreft dit volgens ons vooral hun verwachtingen over wat er al dan niet zal gebeuren in situaties die zij nooit eerder hebben meegemaakt of waaraan zij nooit aandacht hebben besteed. Dan kan het voorkomen dat wat zij verwachten dat zal gaan gebeuren in feite niet gebeurt. In zulke gevallen kan blijken dat hun verwachtingen impliciet gebaseerd waren op een of andere generalisatie, die inderdaad geldig is in de meeste hen bekende situaties, maar niet in deze nieuwe situatie. Het volgende voorbeeld moge dit illustreren.

In het dagelijks leven functioneert een thermometer als een soort uitbreiding van onze zintuigen, die b.v. gebruikt wordt om een nauwkeuriger meting te krijgen (iemand's temperatuur opnemen) of om met anderen te communiceren over hoe warm het zal worden (weersvoorspelling). Voor deze doelen is een thermometer een betrouwbaar instrument, omdat hij een hoger

getal aangeeft als het, of iets, warmer aanvoelt. Alhoewel de relaties 'voelt warmer aan dan' en 'heeft een hogere temperatuur dan' een verschillende betekenis hebben, in die zin dat om vast te stellen of de laatste relatie geldig is men een thermometer moet gebruiken en om vast te stellen of de eerste geldig is men zijn zintuigen moet gebruiken, zijn ze in het dagelijks leven vaak verwisselbaar. Als de ene relatie geldig is, wordt de ander ook verondersteld geldig te zijn. Zo zullen leerlingen, voordat zij de temperatuur van een houten tafelblad en van een bijbehorende ijzeren tafelpoot gaan meten (iets wat zij nooit eerder gedaan zullen hebben), verwachten dat de temperatuur van het houten blad hoger zal zijn. Als zij dan meten dat deze temperaturen in feite gelijk zijn, zullen zij zelf vinden dat hun verwachtingen niet zijn uitgekomen. In deze zin kan men dan zeggen dat het experiment een conflict oproept. Maar behalve deze verwachting hoeven leerlingen niet veel terug te nemen. Het is b.v. nog steeds zo dat in de situaties die zij eerder hebben meegemaakt de thermometer een hoger getal aangaf als het, of iets, warmer voelde. Wat zij hieraan nu moeten toevoegen is dat er ook situaties zijn waarin dat niet het geval is. Het belangrijkste punt van dit experiment is dus niet dat leerlingen van iets moeten afzien wat zij tot nu toe voor waar hielden. Het belang ligt eerder in het volgende: het experiment geeft leerlingen een reden om te differentiëren tussen de relaties 'voelt warmer aan dan' en 'heeft een hogere temperatuur dan'; het kan daardoor een intentie induceren om uit te vinden waarom in sommige situaties beide relaties van toepassing zijn en in andere niet (wat zijn de verschillen en overeenkomsten tussen die situaties?); vanuit het gezichtspunt van de leraar of de curriculum-ontwikkelaar bereidt het experiment voor op een latere behandeling van warmtetransport, etc.

Het leren van natuurwetenschap komt er dan op neer dat leerlingen, in een proces van veranderingen van intenties en betekenissen, hun conceptuele bagage, kennis en ervaringsbasis uitbreiden, met het doel om steeds meer aspecten van de wereld steeds verder te kunnen karakteriseren en verklaren.

6. Rechtvaardiging van onze analyse: het interpretatieprobleem en het principe van welwillendheid

In onze analyse en in het bijzonder bij de methode die we hebben toegepast om uit te vinden wat Jet bedoelt, hebben we zonder dit te noemen sterk gebruik gemaakt van het werk van Donald Davidson. In deze paragraaf zullen we proberen hem expliciet recht te doen door de relatie aan te geven tussen onze analyse en zijn filosofie, en door zijn argumenten te gebruiken om deze analyse te rechtvaardigen. Daarmee beargumenteren we impliciet ook waarom we denken dat een onderwijsstrategie die verloopt volgens de in §5 geschetste lijnen, de beste mogelijkheden biedt voor inzichtsvol leren.

Laten we om te beginnen kort onze analyse van de moeizame discussie tussen Jet en de leraar samenvatten. We hebben beargumenteerd dat het probleem niet ligt in een verschil van *belief*, d.w.z. in een verschil van mening over hoe dingen zijn in de wereld. In plaats daarvan hebben wij beargumenteerd dat zij een geschil hebben omdat zij zich niet bewust zijn van het feit dat zij niet dezelfde *betekenis* toekennen aan de uitdrukking 'een kracht uitoefenen'.

Om uit te vinden hoe Jet deze uitdrukking gebruikt, hebben wij, in essentie, de volgende methode toegepast. Eerst gingen we na onder welke omstandigheden zij haar zinnen wel of niet van toepassing acht; vervolgens brachten we haar uitdrukkingen in overeenstemming met die van onszelf, in die zin dat de geldigheid van haar zinnen en de geldigheid van onze zinnen systematisch werd veroorzaakt door dezelfde zaken in de wereld. Deze methode kan als volgt kort worden samengevat: ken aan de uitdrukkingen van een spreker zodanig betekenis toe dat zij naar voren komt als consistent en als iemand die (volgens ons) ware dingen gelooft.

Alvorens deze methode nu verder te rechtvaardigen, zullen we eerst de verbinding leggen met Davidsons werk. In onze analyse hebben we impliciet gewezen op de rol die zowel het begrip 'belief' als het begrip 'betekenis' spelen bij de interpretatie van verbaal gedrag. Davidson geeft in dit verband aan dat bij het vormen van uitspraken, beliefs en betekenissen als het ware samenspannen: wij kunnen te weten komen wat iemand gelooft als we weten welke zinnen hij voor waar houdt en wat hij ermee bedoelt. Maar na op deze wederzijdse afhankelijkheid van 'belief' en betekenis gewezen te hebben, geeft Davidson vervolgens aan dat dit aanleiding geeft tot wat het probleem van het interpreteren van verbaal gedrag genoemd zou kunnen worden. Als we alleen weten dat iemand een bepaalde zin voor waar houdt, weten we noch welke betekenis hij aan die zin toekent, noch welk 'belief' die zin uitdrukt.

Davidson formuleert dan de beschreven methode als de manier om dit interpretatieprobleem van verbaal gedrag op te lossen. Meestal doet hij dit door de situatie te beschouwen waarin het probleem het meest duidelijk naar voren komt: interpretatie van nul af aan ('from scratch'); d.w.z. een situatie waarin twee mensen die geen aan elkaar gerelateerde talen spreken, en die onbekend zijn met elkaars talen, alleen gelaten worden om met elkaar te leren communiceren. In zo'n situatie zouden we bovengaande methode, inderdaad, als vanzelfsprekend toepassen.

Deze methode wordt gerechtvaardigd door ons te realiseren dat onze competentie om iemand anders' verbaal gedrag te begrijpen er *in principe* niet in bestaat dat we elkaars taal kennen. In het bijzonder, om communicatie en wederzijds begrip succesvol te doen zijn, hoeven we geen 'identiteit van betekenis' te vooronderstellen. Het gesprek tussen de leraar en Jet laat zien

dat het vooronderstellen van 'identiteit van betekenis' juist tot ernstige communicatieproblemen en niet-begrijpen kan leiden.

Davidson wijst er in dit verband op dat zich in onze alledaagse conversaties veel gevallen voordoen waarin we niet kunnen vertrouwen op vooronderstelde 'identiteit van betekenis', en er desalniettemin in slagen om elkaar toch te begrijpen. Te denken valt dan aan ons vermogen om een welgevormde zin te horen, zelfs wanneer de feitelijk geuite geluiden onvolledig of grammaticaal warrig zijn, of om woorden te interpreteren die we nooit eerder gehoord hebben.

Wat de methode rechtvaardigt is dat zij ons in staat stelt om het probleem van verbale interpretatie op te lossen, zonder ons te hoeven baseren op de notie van een taal die we al van te voren met elkaar delen.

Een van de aspecten die de methode naar voren brengt, is dat onze competentie om elkaars verbaal gedrag te begrijpen essentieel sociaal van karakter is, evenals de begrippen belief en betekenis. Het is immers duidelijk dat de methode alleen werkt in een gemeenschap van denkende wezens die een gemeenschappelijke natuurlijke wereld delen. Of, zoals Davidson het soms uitdrukt, de kleinste eenheid waarin het probleem van interpretatie van verbaal gedrag kan worden opgelost is een *driehoek*, waarvan twee hoeken gevormd worden door wezens die zich bewust zijn van (en zich bewust zijn van dat de ander zich bewust is van, etc.) de driehoek, en waarvan de derde hoek gevormd wordt door hun gemeenschappelijke wereld van objecten en gebeurtenissen, die onafhankelijk van hun gedachten bestaat.

Een ander aspect dat deze methode naar voren brengt is dat onze basiscompetentie bepaald wordt door een principe waar we niet zonder kunnen. Slechts tegen de achtergrond van dat principe vinden de begrippen belief en betekenis hun toepassing. Het gaat hier om wat Davidson het *correspondentieprincipe* noemt: ken aan elkaars uitdrukkingen zodanige betekenissen toe dat de ander naar voren komt als consistent en een 'believer of truths' (naar eigen maatstaf)⁸.

Onze competentie kan nu gekarakteriseerd worden als een vorm van theorie-(re)constructie: we (re)construeren de betekenissen die we toekennen aan de uitdrukkingen van een spreker, en opdat we die uitdrukkingen als betekenisvol begrijpen, kan ons proces van reconstructie niet anders dan gestuurd worden door het correspondentieprincipe.

Tot slot willen we nog wijzen op enkele beperkingen van het hierboven gegeven betoog en op de manieren om deze beperkingen te ondervangen. Het correspondentieprincipe gaat uit van de zinnen die een spreker voor waar houdt. De veronderstelling dat een spreker een zin voor waar houdt, vooronderstelt echter tegelijkertijd een heleboel meer over zijn intenties, doelen en waarden. Toen we Jet interpreteerden, hebben we, bijvoorbeeld,

stilzwijgend aangenomen dat het niet haar bedoeling was om alleen maar dwars of recalcitrant te zijn, en dat zij echt duidelijk wilde maken waarom zij de leraar niet begreep. Anders zouden we niet zoveel moeite gedaan hebben om te proberen haar te begrijpen. Deze beperking kan ook als volgt geformuleerd worden: voor het zo goed mogelijk interpreteren van verbaal gedrag is het noodzakelijk om niet alleen rekening te houden met *cognitieve* attitudes, zoals 'belief', maar ook te letten op *evaluatieve* attitudes, zoals 'desire'. Daardoor worden de bronnen van intentionele handelingen, nl. zowel 'belief' als 'desire', gerelateerd aan 'meaning'. Davidson zegt in feite dat het probleem van interpretatie van verbaal gedrag niet gescheiden kan worden van het meer algemene probleem van interpretatie van alle gedrag, zowel verbaal als anderszins, wat *het* probleem van interpretatie zou kunnen worden genoemd.

Het correspondentieprincipe kan bovendien alleen direct worden toegepast op de meest basale gevallen: uitingen die gericht zijn op een gemakkelijk te detecteren gang van zaken, die gepaard gaan met wijzende vingers, etc. Het principe helpt twee mensen, bijvoorbeeld, niet om elkaars meer theoretische begrippen en uitdrukkingen te interpreteren. Om dat laatste wel te kunnen, zijn ze afhankelijk van zowel inductieve als deductieve relaties tussen beliefs. Zij moeten dan, bijvoorbeeld, aannemen dat de ander, net als zijzelf, de meeste waarde hecht aan die hypothese die het sterkst ondersteund wordt door alle beschikbare relevante gegevens. Een andere manier om deze beperking te formuleren, is dat beliefs, desires, intenties, etc. niet alleen geïdentificeerd worden op grond van hun causale relaties met gebeurtenissen en objecten in de wereld, maar ook op grond van hun relaties tot elkaar. Daarom speelt er naast het correspondentieprincipe, ook nog een ander principe een rol bij het oplossen van het interpretatieprobleem. Davidson noemt dat soms het coherentieprincipe: ken zodanige beliefs, desires, intenties, etc. toe aan de ander, dat zij op de juiste manier samenhangen.

Davidson claimt nu dat het algemene interpretatieprobleem inderdaad kan worden opgelost door gecombineerde toepassing van het correspondentie- en het coherentieprincipe. Wij verwijzen naar Davidson (1990) voor een onderbouwing van deze claim, die natuurlijk in het bijzonder afhangt van een verdere specificatie van de clausule 'op de juiste manier' in de formulering van het coherentieprincipe. We beperken ons hier tot een ruwe formulering van het zogenaamde principe van welwillendheid (*principle of charity*), zoals Davidson de combinatie van beide voorgaande principes vaak noemt. Om zin te geven aan iemands doen en laten, kunnen we niet anders dan hem of haar zodanig interpreteren dat hij of zij naar voren komt als 'largely coherent, a believer of truths and a lover of the good' (naar onze eigen maatstaf).

De fundamentele conclusie is en blijft, tenslotte, dat alle interpretatie afhangt van ons vermogen om een voldoende gemeenschappelijke basis te vinden. Het vinden van die basis is niet een *gevolg* van het elkaar begrijpen, maar een *voorwaarde* daarvoor. Waar het op neer komt is dat men weet dat men (1) met anderen een wereld deelt en veel reacties op wat er in die wereld gebeurt, en (2) met hen een manier van denken gemeen heeft.

Noten

1. Voor de niet-natuurkundig geschoolden onder u. Een luchtkussenbaan is een lange buis met gaatjes waardoor lucht geblazen wordt. Een ruiter (vaak een aluminium-plaatje) kan daardoor praktisch wrijvingsloos over de baan bewegen.
2. Dit protocol is gekozen omdat het, naar ons idee, illustratief is voor een belangrijke problematiek in het natuurwetenschappelijk onderwijs. Het biedt de mogelijkheid om de 'methode van interpretatie' op een concrete vergelijkende wijze aan de orde te stellen, juist omdat het 'boek-op-de-tafel-probleem' in de literatuur een welhaast paradigmatische rol is gaan vervullen.
Door dit protocol te kiezen zeggen we niets over het belang van dit probleem voor het natuurkunde-onderwijs. De vraag of er in het onderwijs wel zoveel aandacht aan moet worden besteed is belangrijk, maar niet relevant voor ons betoog.
3. Vanaf nu verwijzen getallen tussen haakjes naar de overeenkomstige uitspraken in het protocol.
4. Deze analyses geven weer hoe, volgens ons, op grond van onze interpretatie van de literatuur, dit protocol vanuit de beschreven standpunten geanalyseerd zou worden. Daarmee pretenderen we dus niet de feitelijke analyse weer te geven van een bepaalde onderzoeker, maar wel een representatief en concreet beeld te geven van gangbare hoofdstromen.
5. Merk op dat alleen de leraar feitelijk de uitdrukking 'een kracht uitoefenen' gebruikt (34, 50, 71). Hij gebruikt ook de naar ons idee min of meer synonieme uitdrukkingen 'een kracht leveren' (9) en 'een kracht zijn van' (12). Jet gebruikt deze laatste uitdrukking ook (62). In (63-64) en (67-68) betreft hun ja-nee-patstelling een vraag van de vorm 'Is dit een kracht van...?'. In (15-16) en (42-43) gaat het om een vraag van de vorm 'Drukt dit?' Naar ons idee is zowel voor Jet als voor de leraar, 'drukken' een specifiek voorbeeld van 'een kracht uitoefenen'. Wanneer wij in het vervolg van dit artikel de uitdrukking 'een kracht uitoefenen' gebruiken, bedoelen we daarmee: "de feitelijke uitdrukking die gebruikt wordt als een synoniem voor de uitdrukking 'een kracht uitoefenen' (zoals: 'een kracht uitoefenen', 'een kracht leveren', 'een kracht zijn van')". Op dezelfde manier is het onze bedoeling dat een uitspraak als "Jets bewering van haar zin 'De baan oefent geen kracht uit'" begrepen wordt als, bijvoorbeeld: Jets ontkennend antwoord op een feitelijke vraag van de vorm 'Is dit een kracht van de baan?'. Verder is het een onderdeel van onze veronderstelling t.a.v. de uitdrukking 'een kracht uitoefenen' dat ook de uitdrukking 'drukken' voor Jet en de leraar niet dezelfde betekenis heeft.

6. Als de Jet uit dit protocol nog beschikbaar was, zouden we deze veronderstelling kunnen checken en zonodig modificeren. Natuurlijk zouden we dit niet doen door haar deze nogal ingewikkelde verbale formulering te laten beoordelen. We zouden haar veeleer, in een veelheid van situaties, de vraag 'Oefent dit een kracht uit?' voorleggen.
7. In deze samenvatting van onze procedure weerspiegelt zich expliciet de toepassing van Davidson's interpretatietheorie, zoals die in paragraaf 6 beschreven wordt.
8. Deze toevoeging is in feite overbodig, want onze maatstaf wordt gedeeld door een ieder die gedachten heeft. Het is b.v. simpelweg een onderdeel van wat het is om gedachten te hebben, dat je niet in tegenstrijdige dingen gelooft. Interpretatie is, met andere woorden, het herkennen van elkaars verbaal gedrag als manifestaties van de (gedeelde) maatstaf.

Literatuur

- Anderson, O.R. (1992). Some interrelationships between constructivist models of learning and current neurobiological theory, with implications for science education. *Journal of research in science teaching*, 29, 1037-1058.
- Bliss, J. & J.Ogborn (1993). A common-sense theory of motion. In: P.J.-Black and A.M.Lucas (eds.), *Children's informal ideas in science*, (pp.120-133), London: Routledge.
- Clement, J. (1993). Using bridging analogies and anchoring intuitions to deal with students' preconceptions in physics. *Journal of research in science teaching*, 30, 1241-1257.
- Davidson, D. (1980). *Essays on actions and events*. Oxford: Clarendon Press.
- Davidson, D. (1984). *Inquiries into truth and interpretation*. Oxford: Clarendon Press.
- Davidson, D. (1990). The structure and content of truth. *The journal of philosophy*, 87, 279-328.
- Eijkkelhof, H.M.C., e.a. (1986). Op weg naar vernieuwing van het natuurkunde-onderwijs, Den Haag: SVO/PLON.
- Grandy, R. & R.Hamilton (1992). Prototypes and conceptual change. In: S.Hills (ed.), pp. 435-448. *The history and philosophy of science and science education: volume I*. Kingston: Queen's University.
- Gunstone, R. & M. Watts (1985). Force and motion. In: R.Driver, E.Guesne & A.Tiberghien (eds.), *Children's ideas in science*, (pp.85-104), Milton Keynes: Open University Press.
- Klaassen, C.W.J.M. (1995). *A problem-posing approach to teaching the topic of radioactivity*. In preparation.
- Kuhn, T.S. (1970a). *The structure of scientific revolutions*. Chicago: The University of Chicago Press.

- Kuhn, T.S. (1970b). Reflections on my critics. In: I.Lakatos & A.Musgrave (eds.), *Criticism and the growth of knowledge*, (pp.231-278), Cambridge: Cambridge University Press.
- Minstrell, J. (1982). Explaining the 'at rest' condition of an object. *The physics teacher*, 20, 10-14.
- Ramberg, B.T. (1989). *Donald Davidson's philosophy of language: an introduction*. Oxford: Basil Blackwell.
- Reif, F. & J.H.Larkin (1991). Cognition in scientific and everyday domains: comparison and learning implications. *Journal of research in science teaching*, 28, 733-760.
- Stoecker, R. (ed.)(1993). *Reflecting Davidson: Donald Davidson responding to an international forum of philosophers*. Berlin: de Gruyter.
- Voorde, H.H. ten (1990). On teaching and learning about atoms and molecules from a van Hiele point of view. In: P.L.Lijnse, P.Licht, W.de Vos & A.J.Waarlo (eds.), *Relating macroscopic phenomena to microscopic particles: a central problem in secondary science education*, (pp.81-103), Utrecht: CD-β Press.