

Zijn natuurkundigen anders ?

P.L.Lijnse
Vakgroep natuurkunde-didactiek
Rijksuniversiteit Utrecht

Natuurkundigen zijn waanzinnige mensen. Ze zijn bevangen door het streven naar het onbekende, naar perfectie. Ze zullen ook nooit ophouden waardoor ze de aarde binnenkort zullen vernietigen (een 5-havo leerling, PLON-krant)

Summary

Do academic physicists, because of their profession, have certain characteristics in common ? This question is being analysed in view of its possible relevance for physics education both at a secondary and early tertiary level. Norms and values of the professional community, of the knowledge-gaining process and of the nature of physics knowledge are described. Confrontation with psychological research results shows that in general, research in physics corresponds indeed with certain personal qualities, which, to some degree, already appear to be present in pupils who opt for physics at secondary schoollevel.

1. Inleiding

Veruit het belangrijkste motief dat eerste jaars natuurkunde studenten hebben om natuurkunde te gaan studeren is hun grote wetenschappelijke interesse in het vak. In grote meerderheid hopen en verwachten ze later zelf wetenschappelijk onderzoek te kunnen verrichten. Het beeld dat ze daarvan hebben is weliswaar vaag en onduidelijk, maar dat wordt niet als zeer problematisch ervaren (Foekema, e.a. 1974, Lijnse 1984).

Een vraag die hier direct aan gekoppeld kan worden, is welk beeld deze studenten dan eigenlijk wel hebben van 'de natuurkundigen'. Natuurkunde is tenslotte nog altijd mensenwerk; hoewel ... misschien

slechts voor een bepaald type mensen? Hoe ziet dat type er dan volgens deze studenten uit en in hoeverre voelen zij zich er ook mee verwant? Deze vragen zijn zowel relevant voor het tertiair natuurkunde-onderwijs, omdat daarin een eventuele confrontatie van verwachting en realiteit zal plaats vinden, als voor het secundair natuurkunde-onderwijs, omdat daarin een belangrijk deel van de beeldvorming plaats vindt.

In dit artikel zal verslag worden gedaan van een beknopte achtergrondstudie, bedoeld om het verschijnsel van 'de natuurkundige', zoals dat uit de literatuur naar voren komt, te verhelderen. In een volgend artikel volgt een beschrijving van een oriënterend empirisch onderzoek rond de vermelde vraagstelling, m.b.t. het beeld van eerste-jaars studenten.

2. Bestaat 'de natuurkundige'?

Het antwoord hierop is duidelijk en eenduidig: nee. Praten over 'de natuurkundige' doet uiteraard onrecht aan alle individuele verschillen, die er tussen mensen bestaan. Volgens sommigen dient daarmee dan ook de kous af te zijn.

Deze laatste conclusie deel ik niet. In deze studie zal ik eerst enkele voorbeelden geven van meningen omtrent 'de natuurkundige', zoals die nu eenmaal zowel binnen als buiten de kring van natuurkundigen blijken te bestaan. Deze opvattingen zijn, zoals we zullen zien, vaak terug te voeren tot ideeën omtrent de aard van wetenschapsbeoefening in het algemeen, en tot de aard van natuurkundige wetenschapsbeoefening en kennis in het bijzonder. Daarmee zijn we dan echter tevens aangeland bij de discussie die over deze wetenschapsbeoefening gevoerd wordt. En ook bij de vraag of het wetenschapsbeeld dat in leerboeken en popularisering wordt aangeboden, niet dusdanig vertekend is, dat daaruit niet anders dan een (verkeerd (?)) stereotiep beeld van de wetenschapsbeoefenaar kan ontstaan (1).

Gegeven de onontkoombare diversiteit aan opvattingen dienaangaande, lijkt het, als afsluiting, nuttig te kijken of psychologisch onderzoek naar de kenmerken van natuurwetenschappers ook enig empirisch houvast kan bieden.

Alvorens we nu een korte blik op 'de natuurkundige' zullen werpen, zij opgemerkt dat in de literatuur vaak niet nadrukkelijk over natuurkundigen gesproken wordt, maar meestal over natuurwetenschappers of soms zelfs over wetenschappers in het algemeen (2). Ik zal hiertussen dan ook niet consequent onderscheid maken, maar slechts indien noodzakelijk voor het betoog. Tenslotte zij nog vermeld dat ik me praktisch

uitsluitend zal beperken tot de 'academische natuurkundige'. De technische en kritische wetenschapper (Boers, 1981) spelen een ondergeschikte rol in mijn beschouwingen, hoewel het niet onmogelijk is dat deze op niet onbelangrijke eigenschappen (3) afwijken van hun academische collega's (4).

3. Individuele meningen

"Die wetenschap zal echter alleen gezond blijven, als er een kleine maar voortdurende instroom bestaat van de zeer schaarse mensen die zowel intellectueel begaafd zijn, als beschikken over een grote werkracht en dynamiek (...). In die zin is wetenschap als topsport: je bereikt alleen de top als je hard bent voor jezelf en bereid bent je krachten met anderen op topniveau te meten, dus internationaal", aldus de fysicus Van der Waals (1982) als hij pleit voor maatregelen om de universiteiten van de ondergang te redden. George Marx (1983), hoogleeraar theoretische fysica, schrijft: 'physics graduates were able to prove the power of their wide interest, their abstract logic and their respect for reality in very different fields', waarna hij samenvattend concludeert dat 'physicists are a peculiarly pioneer-minded and open-minded race'. De fysicus Ziman (1967) uit de volgende mening: 'voorzichtigheid en schroom zijn de klassieke kenmerken van de wetenschappelijke persoonlijkheid.' Casimir (1968) zegt: 'De natuurwetenschap heeft niet slechts tot materieel succes geleid. Al zijn wij niet beter dan een ander, al hebben wij onze kleine ijdelheidjes en onze afgunst, onze ambities en onze heerszucht, onze vooroordelen en onze waandenkebeelden, toch hebben wij algemene beginselen en criteria gevonden, die nationale grenzen en politieke groeperingen te boven gaan. Een streven naar een eerbiedigen van abstracte waarheid en feitelijke eerlijkheid, een waardering voor de elegantie van een methode, voor de diepzinnigheid van een theorie, voor goed werk waar en door wie ook gedaan'. De fysicus Margenau (geciteerd uit Schreurs, 1980) komt tot de volgende slotsom: 'Alles bij elkaar vertoont de persoonlijkheid van de wetenschappelijke onderzoeker merkwaardig veel overeenkomst met het beeld dat de psychologen ons afschilderen van creatieve kunstenaars en schrijvers'. Michael Faraday tenslotte (uit: Jardine z.j.) omschreef lang geleden de ideale beoefenaar van de natuurwetenschappen al als volgt: 'Hij moet enthousiast maar voorzichtig zijn; proeven en analogieën met elkaar in verband brengen, vooropgezette meningen wantrouwen, feiten belangrijker vinden dan theorieën; niet te snel generaliseren en bovenal bereid zijn eigen meningen bij iedere stap te toetsen, zowel door nadenken als door waarnemen!'

Bovenstaande citaten hebben met elkaar gemeen dat ze alle positieve, kenmerkende eigenschappen pretenderen aan te duiden. Sommigen sterk vak-bepaald, anderen meer algemeen, waarbij het uiteraard nog maar de vraag is hoe adequaat deze beschrijvingen zijn. Het gaat tenslotte maar om meningen van individuen. Einstein bijvoorbeeld voldeed niet aan Faraday's omschrijving van de ideale natuurwetenschapper, gezien zijn voorkeur voor theorieën boven feiten. Maar behalve positieve, zijn er natuurlijk ook negatieve geluiden.

Josien Sniijders (1983), een studente sociale pedagogiek, beschrijft recentelijk een forumbijeenkomst over 'Natuurkunde en Wapenontwikkeling' als volgt: 'Het werd voor mij een ontvullende teleurstelling. Ik had wel gedacht dat de problematiek nuchter en wetenschappelijk benaderd zou worden, maar dat natuurkundigen zo weinig betrokken zijn heeft mij geschokt. De sfeer was kil, zakelijk en afstandelijk'. En verder spreekt ze over 'onzorgvuldigheid ten opzichte van gevoelens van anderen' en 'intolerantie ten aanzien van een andere levenshouding'. Ze staat hierin niet alleen. Bijvoorbeeld, Einstein spreekt over 'rather odd, uncommunicative solitary fellows' (geciteerd uit Holton, 1978) en Szent-Gyorgyi (1975) is van mening dat 'research wants real egotists, who seek their own pleasure and satisfaction'. Abelson (1976), tenslotte, toendertijd editor van 'Science', schreef: 'The majority cannot even effectively convey scientific knowledge to each other (....). This illustrates not only technological incompetence but, more seriously, a blind spot, a failure to take into account the other person's requirements. In general, people who cannot or do not customarily analyze and respond to the needs of others cannot communicate'.

Tot zover enkele individuele meningen, die natuurlijk nog met vele andere voorbeelden kunnen worden aangevuld. Wat zeggen die nu? Hebben ze betrekking op 'de natuurkundige als mens' of juist op de 'natuurkundige als onderzoeker'? Of zijn die twee niet van elkaar te scheiden? Kun je je 'wetenschappelijke persoonlijkheid' echt om half zes 's avonds, tegelijk met je lab-jas uittrekken om ze gezamenlijk op de kapstok te hangen? Of is de relatie tussen professionele en persoonlijke identiteit veel minder vrijblijvend. Bijvoorbeeld doordat op grond van de professionele eisen van het vak, de persoonlijke identiteit tijdens de opleiding drastisch wordt bijgestuurd of gewoonweg uitgeselecteerd?

Een reden om wat dieper te kijken naar wat de professionele eisen dan wel inhouden.

4. De aard van het vak ?

4.1. De 'scientific community'

Natuurkundige kennis moet voldoen aan de normen van wat gewoonlijk 'publieke kennis', wordt genoemd, d.w.z. kennis die het gezamenlijke resultaat is van een gemeenschap van wetenschapsbeoefenaren.

'Valid science is peculiarly reliable because it is the product of a scientific community' (Ziman 1980). Om deze betrouwbaarheid te kunnen garanderen, heeft de academische wetenschappelijke gemeenschap haar eigen geïnstitutionaliseerde normen. De wetenschapssocioloog Merton heeft geprobeerd deze normen te beschrijven. Zijn zogenaamde 'CUDOS'-normen komen in het kort op het volgende neer (zie bijv. Boeker, 1975; Rip, 1978; Boers, 1981; Smolicz and Numan, 1975):

Communalism:

Hieronder wordt verstaan dat wetenschap niet het product is van individuen maar van gemeenschappelijke arbeid van iedereen uit de 'community', en derhalve ook aan iedereen uit de 'community' toebehoort. Daarom mag de wetenschapsbeoefenaar zijn resultaten voor niemand geheimhouden. Sterker, hij dient ze zo snel mogelijk openbaar te maken, zonder daarbij overigens in onvoorzichtigheid t.a.v. hun betrouwbaarheid te vervallen.

Universalism:

Wetenschap kent (en erkent) geen grenzen. Noch van geografische aard, noch van andere aard, zoals bijv. op het gebied van geloof, ras, rang, sekse of politiek. Hieruit volgen normen als internationalisme en tolerantie.

Disinterestedness:

Dit wordt soms vertaald met de term 'belangeloosheid', wat hier betekent dat de onderzoeker geen prive-belangen mag hebben bij een bepaalde uitkomst van zijn werk. Daarom is het ook belangrijk de 'afstand tot de leek' (de ivoren toren) te bewaren. Anderen spreken hier van 'intellectuele eerlijkheid' als norm voor de onderzoeker.

Organised Scepticism:

Deze eerlijkheid wordt bewaakt door de georganiseerde wederzijdse kritiek. Ieder dient zich bij iedere wetenschappelijke bewering, van zichzelf of anderen, voortdurend af te vragen of die wel correct is.

Kortweg: de 'kritische, wetenschappelijke' houding. Hiertoe behoort ook 'het opschorten van je oordeel', als je nog onvoldoende geïnformeerd bent, en anti-dogmatisme.

Het beste voorbeeld van het institutioneel functioneren van deze academische normen is de manier waarop het wetenschappelijk publicatie-systeem is georganiseerd. Een scherp ziftingsproces door meestal anonieme deskundigen, moet bewaken dat datgene wat tenslotte naar buiten komt, ook betrouwbaar is en op consensus berust.

Hoe komt het nu dat mensen zich aan deze toch vrij zware normen willen onderwerpen? (Boers, 1981). Uiteraard allereerst via een proces van socialisatie. De gemeenschap eist aanpassing aan de norm en de opleiding moet daarvoor zorgen (Kuhn 1970, Lijnse 1974) wat gepaard gaat met een selectie en zelfselectieproces. Afwijking van de norm is eventueel alleen toegestaan voor 'extreem begaafden'.

Daarnaast is er het aparte interne beloningssysteem. 'De wetenschappelijke producent is, gemeten naar de gangbare materialistische maatstaven, in hoge mate onbaatzuchtig. Wetenschappelijk resultaat en de publicatie ervan kost hem meestal meer dan dat het hem oplevert (...). Zijn drijfveer is dan ook voornamelijk immaterieel, hij zoekt wetenschappelijke status, een overigens zeer waardevaste beloning met een opmerkelijke internationale geldigheid', aldus Vinken (1978). Belangrijke componenten in dit beloningssysteem zijn 'geestelijk vaderschap', gepaard gaande met strijd om prioriteit en originaliteit, en 'erkenning door collega's', resulterend in een wetenschappelijke reputatie (prijzen, benoemingen, uitnodigingen), maar gepaard gaande met competitiedwang en naijver.

Afgezien van de inhoudelijke kritiek die op Merton's normen is uitgeoefend (zie verder), is voor ons op dit moment het verschijnsel van 'psychologicistic sociologism' van belang. (Smolicz en Nunan, 1975). 'What psychologicistic sociologism does is to attribute to individuals the psychological traits needed by them in order to produce the sociological phenomenon directly, that is intentionally'. Ofwel, wat bedoeld was als een empirische beschrijving van institutionele normen en waarden (ver-)wordt tot een impliciete beschrijving van eigenschappen van individuele onderzoekers. Zo wordt 'universalism' verbonden met ruimdenkendheid, onpersoonlijkheid en tolerantie; 'communism' met openheid, onzelfzuchtigheid en bescheidenheid; 'disinterestedness' met eerlijkheid, emotionele neutraliteit en afstandelijkheid, en 'organised scepticism' met rationaliteit, kritische objectiviteit en afgewogen oordeelkundigheid. Evenzo refereert het besproken beloningssysteem aan eigenschappen als prestatie-gemotiveerd, competitief, individualistisch en zucht naar erkenning.

Het lijkt duidelijk dat deze personificatie van institutionele normen, tegelijkertijd op zijn minst gedeeltelijk een proces van 'mystifica-

tie' van de individuele onderzoeker inhoudt. Onduidelijk is echter hoe, door wie en in hoeverre dit proces van werkelijkheidsvervalsing optreedt. In ieder geval doen veel wetenschappers zelf er maar al te graag aan mee, zoals uit de eerder geciteerde meningen blijkt. Vooral het onderwijs en de media lijken wat dit betreft 'besmettingsbronnen' die nadere studie verdienen (1). Maar eerst is het nuttig om aandacht te besteden aan wat ik, in analogie met het bovenstaande, 'psychologicistic philosophism' zou willen noemen. De ondersteuning van het zojuist genoemde vervalsingsproces door de wetenschapsfilosofie.

4.2. Kennisverwerving en de onderzoeker

Een belangrijke oorzaak van 'psychologicistic philosophism' lijkt de onbewuste(?) vermenging van wat bekend staat als de 'context of justification' en de 'context of discovery' (5).

Een vermenging die zich met name voor kan doen bij de inductief-empiristische en kritisch-rationalistische wetenschapsopvattingen. Popper zelf heeft daarvoor in feite al gewaarschuwd, als hij schijft over de 'elimination of psychologism'. 'Some might object that it is more to the purpose to regard it as the business of epistemology to produce what has been called a 'rational reconstruction' of the steps that have led the scientist to a discovery - to the finding of some new truth. But the question is: what, precisely, do we want to reconstruct? If it is the processes involved in the stimulation and release of an inspiration which are to be reconstructed, then I should refuse to take it as the task of the logic of knowledge. Such processes are the concern of empirical psychology but hardly of logic. It is another matter if we want to reconstruct rationally the 'subsequent tests' whereby the inspiration may be discovered to be a discovery, or become known to be knowledge'. (Popper 1959, p.31).

Dit citaat is typerend voor veel wetenschapsfilosofisch werk. Het benadrukt enerzijds de 'rationele reconstructie', van het wetenschapsproces, met veronachtzaming van psychologische factoren, en het spreekt anderzijds over het handelen van de individuele 'scientists'. Zo wordt, zowel door de inductieve-empiristen als door de kritisch-rationalisten, een (verschillend) ideaal wetenschapsproces beschreven, dat tegelijkertijd tot norm wordt voor de hypothetische 'ideale onderzoeker'. Hiermee is de bron voor het bedoelde mystificatie-proces beschreven. Met beide opvattingen resulteert een 'gereconstrueerde' wetenschapper als een compromisloze, systematische waarheidszoeker, die zijn oordelen baseert op feiten en wiens kennis losstaat van eigen emoties, vooroordelen en verlangens. (Schreurs, 1980). 'At the center of the scientific method is a free commitment to a standard of truth'

(Weinberg, 1976). Een belangrijk verschil tussen de onderzoekers uit beide opvattingen is wellicht de mate van 'onbevangenheid'. Terwijl de inductieve-empiristen uitgaan van de onbevangen, open waarnemer van objectieve feiten (Koningsveld, 1976), zegt Popper (1970, p.52) dat 'we approach everything in the light of a preconceived theory'. Desalniettemin zijn beide wetenschapsopvattingen even sterk verbonden met het idee van vooruitgang, door middel van systematisch rationeel handelen. '..... in science, (and only in science) can we say we have made genuine progress; that we know more than we did before' (Popper, 1970, p.57).

Popper's uitspraken ten aanzien van de individuele onderzoeker zijn duidelijk normatief. 'The 'normal scientist', as described by Kuhn (zie verder) has been badly taught (....). He has been taught in a dogmatic spirit; he is a victim of indoctrination'. Weliswaar ontkent hij uiteraard niet dat ook onderzoekers mensen zijn, met hun zwakheden, maar ten aanzien van hun werk dienen ze zich een strenge discipline op te leggen. Met als controle-instantie het wetenschappelijke forum, '..... the friendly hostile cooperation of scientists; which is partly based on competition and partly on the common aim to get nearer to the truth' (Popper, 1975, p.78). Daarmee zijn we echter terug bij het eerder beschreven sociologisme en de normen van Merton, en dus ook bij de eigenschappen van de individuele onderzoeker die daar uit resulteerden. Maar deze eigenschappen moeten op grond van het voorgaande, dan wel geplaatst worden binnen een normatieve 'context of justification'.

Het genoemde contexten onderscheid is juist voor het natuurkunde-onderwijs erg belangrijk, hoewel het veelal wordt verwaarloosd. Juist leerboeken en populariseringën maken zich over het algemeen schuldig aan een contextverwisseling. De 'context of discovery' ontbreekt veelal volledig. In de plaats daarvan wordt de 'context of justification' als zodanig gepresenteerd. Hetzij expliciet, hetzij impliciet als didactische structurering (Bijker 1981, Lijnse 1978)(6). Soms zelfs wordt de gereconstrueerde 'denk en werkwijze in de natuurwetenschappen' expliciet gehanteerd als instrument voor de planning van lessen (Schraag e.a., 1976). Smolicz en Nunan (1975) beschrijven de situatie, in dit opzicht, met betrekking tot engelstalige leerboeken en concluderen dat 'The stress on quantification, logical approach and analytical method has necessarily helped to strengthen the mythical stereotype of the scientist as a 'tester', which approached Popper's ideal of an 'hypothesis refuter'. Vooralsnog is er geen reden om te veronderstellen dat de nederlandse situatie anders is. Hooguit misschien voor wat betreft een sterkere nadruk op het inductieve empirisme.

Zoals bekend heeft Thomas Kuhn (1970) ernstige kritiek geleverd op beide hiervoor genoemde wetenschapsopvattingen. Naar zijn idee is het genoemde contexten-onderscheid niet te handhaven in het licht van de historie. Zozeer zelfs dat, volgens Rip (1978), Kuhn in zijn theorie geen context of justification meer overhoudt. Voor ons is belangrijk dat Kuhn het 'menselijke in de onderzoeker' en de 'menselijke aspecten in de communicatie binnen een wetenschappelijke groep' als methodologische aspecten nadrukkelijk naar voren heeft gehaald. De 'normale' onderzoeker, werkend voor zijn baan, binnen de context van zijn 'paradigma', waar hij verder geen kritische vragen bij stelt, bezig met het oplossen van puzzels; als lid van een 'scientific micro-community' waarin hij zich moet proberen te handhaven door zich aan te passen aan de groeps Moraal. In die zin heeft Kuhn's theorie grote waarde om het beeld van de verheven wetenschapper te relativeren. Maar of zijn theorie ook betekent dat natuurwetenschappelijk onderzoek allerminst rationeel verloopt, zoals velen beweren (zie bijvoorbeeld Bijker (1981), 7), lijkt mij zeer de vraag. Daarvoor is de geldigheid van Kuhn's theorie voor de natuurwetenschappen aan te veel discussie onderhevig (8). Dit in tegenstelling tot de sociale wetenschappen waarin Kuhn's theorie grote aanhang lijkt te hebben, hetgeen gezien de aard en stand van deze wetenschappen niet onbegrijpelijk is. Immers, zoals Popper (1970, p.57) schrijft: 'In fact, compared with physics, sociology and psychology are riddled with fashions and with uncontrolled dogma's'.

Kuhn's relativering betekent, m.i., niet dat de hoge normen van Popper en Merton zonder meer als 'gefalsificeerd' terzijde kunnen worden geschoven. Binnen de academische natuurkunde (daartoe zou ik me beperken) functioneren ze wel degelijk als 'tacit' socialiserings-ideaal voor de individuele wetenschapper, maar kennelijk niet in absolute zin. Door de 'gewone' natuurkundige worden ze 'naar vermogen' nagestreefd, binnen de beperkingen, die de groep waarin hij zich moet handhaven, en zijn persoonlijke mogelijkheden hem opleggen. Popperiaanse hoge normen als rationaliteit, neutraliteit, openheid, objectiviteit, etc. verliezen daarmee, weliswaar niet hun idealiteitswaarde, maar wel hun absolute werkelijkheidswaarde. Ook de academische natuurkundige wordt, mede door Kuhn, niet langer gezien als het toonbeeld van neutraliteit, objectiviteit, etc. De te beantwoorden vraag wordt dan of hij desalniettemin, dankzij opleiding en selectie, zowel binnen als buiten zijn werk (transfer ?), 'gemiddeld gezien', niet rationeler, objectiever, etc., te werk gaat als, bijvoorbeeld, een sociale wetenschapper of een 'gemiddeld burger'. Een nevenvoordeel van deze gemodificeerde vraagstelling is dat ze tegelijkertijd toegankelijk wordt voor psychologisch onderzoek (3).

In de onderwijswereld wordt (of werd?) deze vraag in ieder geval positief beantwoord, zij het veelal impliciet. Is dit positieve antwoord immers niet tegelijkertijd de vooronderstelling die mede aan wat de 'vormende waarde van natuurkunde-onderwijs' genoemd wordt ten grondslag ligt? En wat in alle doelstellingen met betrekking tot de 'processes of science' of de 'scientific attitude' is terug te vinden? (9) (Anderson 1969, Auer 1966, Hooymayers 1969, CMLN 1974, Lijnse 1975, 1976).

4.3 *Natuurkundige kennis en de onderzoeker*

Stond in het voorgaande het proces van kennisverwerving en rechtvaardiging in het middelpunt, nu wil ik me buigen over de vraag of natuurkundige kennis op zich bepaalde kenmerken heeft, die van bredere invloed zouden kunnen zijn op het denken en handelen van de natuurkundige. Deze vraag vergt echter een diepgaander analyse dan ik in staat ben te geven. Ik zal me derhalve beperken tot een aantal kanttekeningen.

Een scherpe scheiding tussen product en proces lijkt, vanuit het standpunt van de onderzoeker niet goed mogelijk. Immers, product en proces zijn in grote mate over en weer bepalend voor elkaar. Toch lijkt zich hierbij in de literatuur een, op het eerste gezicht, merkwaardige paradox voor te doen. De volgende twee citaten van Weinberg (1976) mogen dit illustreren. Enerzijds zegt hij, sprekend over de fysische natuurwetten: 'However, as far as we can see now, these laws are utterly cold, impersonal and value free', en anderzijds: 'Finally, I must emphasize again that the 'coldness' I have referred to above only characterizes the discovered content of science, and has nothing to do with the wonderfully satisfying process of scientific research'.

Het is vanuit deze laatste gedachte, gecombineerd met het idee dat het product het gevolg is van een creatieve schepping van de menselijke geest, waarin gevoel voor eenvoud en elegantie, harmonie en orde een achterliggende methodologische waarde heeft, dat fysici zichzelf zo graag vergelijken met kunstenaars (10) (zie eerder citaat van Margenau). Kennelijk wordt kunstenaars een aantal eigenschappen toegedicht, te denken valt aan creativiteit, gevoeligheid, inventiviteit, gevoel voor 'schoonheid', etc., dat door fysici als positief wordt ervaren. Maar zou dan de aard van het te scheppen product zo weinig te maken hebben met de aard van de schepper? Hier ligt een kernpunt van discussie. Roszak (1974), als spraakmakend criticus van de natuurwetenschap zegt daarover: 'Het is een kennen dat zelfverloochenend en op puriteinse wijze gedisciplineerd is. Het wil niet zien met de levendige grillige blik van de kunstenaar, die zich laat verleiden

door wat bekoorlijk, dramatisch of ontzagwekkendheid is en daar vol verrukking op blijft rusten. Het streeft naar een neutrale blik, een onpersoonlijke blik, in feite de ogen van een dode, waarin de realiteit zich zonder enige emotionele vervorming weerspiegelt'. Naar mijn idee hebben beide schrijvers, Weinberg en Roszak, gelijk in wat zij zeggen, omdat zij in feite over verschillende dingen praten. Vanwege de rationele, abstracte, gereduceerde en logisch-mathematisch gestructureerde vorm van kennis die zij nastreven, wordt natuurkundigen vaak het image van de koele, emotioneel ongevoelige, rationele wetenschapper opgeplakt. Deze mystificatie gaat echter te snel en Weinberg merkt daartegen terecht op dat het natuurkundig proces juist wel veelvuldig irrationele en emotionele momenten kent. Roszak doelt echter op het ontbreken in de natuurkunde van een andere manier van denken en kennen; van omgaan met de natuur op een warme, holistische en transcendenten manier (wat dat dan ook zijn mag). Grondige socialisatie in het natuurkundig kennen, zou deze andere vorm van kennen, denken en voelen zeer moeilijk, zonet onmogelijk maken.

Aan het huidige natuurkundige denken ligt ook een natuurbeeld ten grondslag dat sterk anthropocentrisch van karakter is, d.w.z. dat de natuur in dienst staat van de mens. Hieraan gekoppeld is het positivistische geloof dat voortgang in kennis omtrent de natuur ook nodig en wenselijk is en dus 'goed' voor de mensheid. Deze voortgang is mogelijk vanwege het 'principe van kwantificatie en demystificatie', d.w.z. dat de 'wonderen der natuur' verklaard moeten worden in kwantificeerbare en causale termen. En daartoe is het nodig de natuur niet als geheel te beschouwen, maar ze juist op te delen in steeds kleinere, hanteerbare en bestudeerbare componenten. Ofwel, natuurkundige kennis groeit vooral door de complexe werkelijkheid te reduceren tot analyseerbare, meetbare en vooral oplosbare problemen. Vanuit deze ideologische uitgangspunten is een logisch-mathematisch gestructureerd geheel van algemene, op beheersing gerichte kennis ontstaan, dat een geidealiseerde werkelijkheid vangt binnen het een-dimensionale communicatiemiddel van de taal. Natuurkunde als kennisbestand omtrent het 'ding-aspect' van zowel de levende als dode natuur. Een aspect karakter dat echter, juist vanwege het relatief grote succes en ontwikkelingsniveau van dit kennisbestand, nogal eens in het gedrang komt. Immers, is het niet zo dat 'physics is the most fundamental and all-inclusive of the sciences?' (Feynman 1963).

Welnu, een natuurkundige zal deze manier van denken en kennen in meer of minder sterke mate verinnerlijkt hebben en uitdragen (11). En het onderwijs speelt daar haar rol in (Smolicz en Numan 1975, Mikelskis 1982). Zoals bekend is deze 'harde' natuurkundige manier van

denken omtrent de natuur en de wetenschap recentelijk hevig bekritiseerd als op zijn minst eenzijdig en op zijn ergst zelfs gevaarlijk (12). Natuurkundig denken vormt niet langer het paradigma par excellence voor wetenschappelijkheid. Gepleit wordt voor aanvulling of integratie met andere kenvormen, gebaseerd op een ander natuurbeeld en leidend tot een 'andere wetenschap'. Een wetenschap waarin objectiviteit, algemeenheid en rationaliteit in meer of mindere mate vervangen worden door persoonlijke betrokkenheid en identificatie, individualiteit en subjectiviteit (Albach e.a. 1980, Van den Daele en Cramer 1983). Uitwerkingen zijn bijvoorbeeld gezocht in een integratie van oosters, mystiek denken en westers natuurkundig denken; en in 'maatschappelijker' en 'vrouw-vriendelijker' natuurkunde. De vraag is echter: passen andere 'modes of knowledge' wel binnen de natuurkunde? Iemand als Weinberg is daarover zeer beslist: 'My answer is that science cannot change in this way without destroying itself'.

'Physics', zei Einstein', is an attempt conceptually to grasp reality as it is thought independently of its being observed', en dat betekent dat de 'eradication of individualistic elements' niet alleen in hoge mate functioneel is, 'but it is also seen as responding to the epistemological demands of science itself' (Holton 1978). Pogingen van bijvoorbeeld iemand als Capra (1975) om oosters denken te integreren met de moderne natuurkunde, leiden mijns inziens niet tot een vruchtbare synthese (Fennema 1984). Het blijven twee wezensvreemde denkwerelden, die op een overigens interessante wijze naast elkaar gezet worden. De 'aard van de natuurkunde' wordt er echter niet door veranderd of uitgebreid. Hetzelfde geldt, denk ik, voor de 'alternatieve' natuurkunde. Voorzover deze tot ontwikkeling is gekomen, gaat het om dezelfde manier en aard van denken, alleen toegepast op andere 'maatschappelijker relevanter' vraagstellingen (Albach e.a. 1980). Hieraan ligt dus niet zozeer een ander natuurbeeld ten grondslag, alswel een inbedding van het traditionele natuurkundige natuurbeeld binnen een bredere waardenorientatie. 'Weten op zich' vertegenwoordigt niet langer een geïsoleerde positieve waarde, maar wordt afgewogen tegenover sociale en maatschappelijke waarden. Vanuit het standpunt van de persoon van de onderzoeker is dit een niet onbelangrijke verschuiving. Ze correspondeert, denk ik, met een verschuiving van de dominante 'ding'-orientatie van de traditionele natuurkundige (zie verder) naar een grotere persoons- en sociale-orientatie.

Hier ligt mogelijk ook een verband met het al of niet vermeend vrouw-onvriendelijk zijn van de natuurkunde. Ook vanuit feministische hoek is immers in het recente verleden aangedrongen op 'een wijder weten in de wetenschap' (zie b.v. Erkelens 1980), waarbij de aard van

natuurkundige kennis en het achterliggende natuurbeeld als te eenzijdig mannelijk wordt gekarakteriseerd. Sommigen proberen hiervoor zelfs een aangepaste psycho-analytische verklaring te geven in verband met een mannelijke uterusnijd (12). Met Weinberg vermag ik desalniettemin niet in te zien hoe zo'n andere, in dit geval vrouwelijke, 'manier van kennen' tot andersoortige natuurkundige kennis zou kunnen leiden. Zo'n verschil is echter wel denkbaar als het gaat om opvattingen omtrent de waarde en het gebruik en daarmee ook de richting van ontwikkeling van natuurkundige kennis. In de typologie van natuurwetenschappelijke onderzoekers, zoals beschreven door Erkelens, legt hij een verband tussen de sociaal ingestelde onderzoeker en de, volgens Carl G. Jung, elementaire psychologische functie van 'het voelen'. Deze functie correspondeert met de vraag 'zeg mij wat iets waard is', die op zich weer karakteristiek zou zijn voor een zogeheten 'matriarchiaal bewustzijn'. Dit in afwijking van het patriarchaal bewustzijn dat overheerst zou worden door de denkfunctie en waarvoor de vragen naar 'hoe en wat iets is', karakteristiek zouden zijn. Erkelens concludeert dan dat integratie van 'het vrouwelijke in de fysica niet plaats kan vinden door het in aanmerking nemen van een matriarchaal natuurbegrip, maar dat dit zal moeten via een verandering van het sociale systeem. Dat dit echter niet gemakkelijk zal zijn, juist in deze tijd van toenemende wetenschappelijke competitie, moge uit voorgaande paragrafen reeds duidelijk zijn geworden.

5. Wat zegt psychologisch onderzoek ?

In hoeverre worden de veronderstellingen uit voorgaande paragrafen ondersteund door empirisch onderzoek ? Hierop is geen eenduidig antwoord mogelijk. De reden hiervoor is dat, ondanks het feit dat er in de loop der jaren nogal wat onderzoek verricht is naar 'the psychological attributes of scientists', dit onderzoek 'in a considerably less advanced state' verkeert 'than other social studies of science', aldus concludeert Fisch (1977) in een reviewartikel. 'Lacking integration, substantive research in the field has been spasmodic, discontinuous and fragmentary'. Een van de redenen daarvoor is dat er nogal wat methodologische voetangels en klemmen zitten aan het gerapporteerde onderzoek. Bijvoorbeeld: 'Many investigations describe features of scientists, without comparing them of corresponding features for non-scientists' en: 'Another problem is the preference for geniuses as subjects of study, with special attention to such eminent, highly creative scientists as Nobel Prize winners' (Fisch 1977). Concreet betekent dit dat veel van de in voorgaande

analyse, geformuleerde hypothesen weliswaar regelmatig in de literatuur bevestigd lijken te worden, maar dat desondanks enige onduidelijkheid blijft bestaan over de mate waarin ze specifiek en generaliseerbaar zijn voor natuurkundigen (of natuurwetenschappers). Daarvoor zijn er te weinig vergelijkende studies over representatieve aantallen beschikbaar. Desalniettemin wil ik hier de belangrijkste onderzoeksbevindingen kort samenvatten (13).

Head (1979) concludeert op grond van een literatuuroverzicht dat de 'natural scientists' wel degelijk een herkenbare groep vormen. 'Sometimes comparison can be made with applied scientists, e.g. engineers and medical practitioners, but social scientists must be treated as a totally separate group as in many personality characteristics they are markedly different'. De meest opvallende en consistente onderzoeksuitkomst is het feit dat natuurkundigen (hoofdzakelijk mannen, dus) een relatief geringe interesse in mensen hebben en een overeenkomstig grote interesse in 'dingen', in de materiele wereld. 'Apparently one of the earliest differentiations, if not the first one, in the orientation of attention is between persons and non persons. (....). The 'people' versus 'thing' potential is undoubtedly connected functionally to differences in styles of effective thinking and feeling - for example, those modes, means and ends that are fundamentally logical, experimental, invariance - and simplicity seeking, versus those that are predominantly affective, intuitive and ambiguity-tolerating' (Holton 1978).

Deze 'ding'-orientatie wordt dus teruggevoerd naar de jeugd. 'Many of the scientists had 'quite specific and fairly strong feelings of personal isolation' when they were children'.

In een bekende studie van de psychologe Roe (zie bijv. Holton) antwoordde slechts een kwart van de ondervraagde theoretische fysici dat ze als kinderen een 'good health and normal physical development' hadden gehad. 'Loneliness or the existence of very few friends was commonly reported by both the physicists and biologists'. Deze vroegtijdige neiging tot sociale isolatie, gekoppeld aan een relatief hoge intelligentie, kan de gerapporteerde evidentie voor de volgende uitspraak begrijpelijk maken. 'If success rewards his consolatory scholarly efforts during adolescence, he may in later years tend to cultivate intellectual activity exclusively' (zie Head 1979).

Roe rapporteert ook dat fysici 'are strongly inclined to keep away from intense emotional situations as much as possible'. Interpersoonlijke contacten en sociale activiteiten worden vermeden, want complexe menselijke emoties brengt hen in verwarring, met name geldt dat voor agressie. Als ze bijvoorbeeld al een sport beoefenen, dan blijkt een

voorkeur voor individuele sporten. Of, zoals Holton zegt: 'Indeed, the psychodynamic vectors that propel a scientist into the bright world of solvable problems often turn out, on examination, to have components originating in the flight from the dark world of anguished compromises and makeshift improvisation that commonly characterize the human situation'. Vandaar dan ook dat de meeste natuurkundigen zich het liefst verre houden van een discussie over complexe en emotie-geladen maatschappelijke consequenties van hun werk.

Deze nadruk op emotionele neutraliteit heeft nog een onverwacht gevolg: '.... the interviews reveal that scientists are not able to give the most significant part of themselves to home and family. (). Since their work demands a kind of intellectual functioning that is free from conflict and from pressing emotional demands at home, the men depend on their wives to facilitate this'. Vandaar de conclusie: '.... science is deeply dependent upon women for the care and management of its affective or emotional life' (zie bijv. Head 1979). Introvertie is dan ook, naast nadruk op intelligentie en creativiteit, de meest genoemde eigenschap van natuurkundigen. Daarnaast geloven ze in hard werken, een eenvoudige manier van leven en 'delayed gratification', wat wel geassocieerd wordt met een protestantse achtergrond en ethiek. Ze hebben behoefte aan orde en structuur, aan het gevoel hun zaken onder controle te hebben en aan 'zindelijk' en onafhankelijk denken. Tegelijkertijd zijn ze echter geneigd tot het aanvaarden van autoriteit op gebieden waarop ze zelf niet deskundig zijn, terwijl ze op gebieden waarop ze dat wel zijn, geneigd zijn tot autoritair gedrag. In en buiten hun werk worden ze gedreven door de wens te slagen en derhalve zijn ze geneigd situaties te mijden die het gevaar van falen inhouden. 'Not unexpectedly, curiosity about a special area, to the exclusion of all else, was the chief characteristic, evidently transcending even the intense devotion to work'. Politiek gezien, tenslotte, zijn ze geneigd tot conservatisme, met elementen van vooroordeel en intolerantie.

Tot zover een schets van het 'gemiddelde' beeld van natuurkundigen (en andere natuurwetenschappers?) zoals dat uit psychologische onderzoeksliteratuur tot ons komt. Een beeld trouwens, dat, hoe vaag het ook is, toch niet geheel overeenstemt met de hoge verwachtingen uit de eerste paragrafen. En ook niet geheel met het beeld dat, volgens Leydesdorff e.a. (1980) universitaire vaste stoffysici van 'de natuurkundige' hebben.

De geciteerde referentie naar de jeugd van natuurwetenschappers, tenslotte, doet de vraag rijzen in hoeverre de voorkeur voor een natuurwetenschappelijke studie samenhangt met persoonlijkheidsfactoren

van leerlingen en studenten. Ook hiernaar is behoorlijk wat onderzoek verricht, waarvan o.a. Gardner (1975), Head (1979) en Ormerod and Duckworth (1975) samenvattingen hebben gegeven. De uitkomsten van deze onderzoeken onderschrijven inderdaad het eerder beschrevene, bijvoorbeeld: 'potential scientists were more likely to enjoy work as much as play, to plan to do great things, to want as much education as possible, and to be unwilling to give too much time to sport. Potential scientists were also less likely to regard teachers as critical or unfair, to be active in the pursuit of friends, to resent giving up social activities for study, etc.' (Gardner 1975)

In een ander onderzoek wordt geconcludeerd dat: 'The pattern which emerges from this study is that students who display considerable interest in science are, when compared to their fellows, more likely to be (onder andere) mature, realistic, self controlled, independent, socially bold, individualistic, critical, inactive, sober, taciturn and serious'.

Gardner (1975) concludeert tenslotte: 'It is, of course, difficult to reduce the whole set of findings to a few words, but the general picture which emerges is that students who are favourably inclined towards science tend to be relatively serious and achievement-oriented, realistic and independent, but conventional and conformist.'

En zo zien we dat zich al op de middelbare school een bepaalde op persoonlijkheidskenmerken herkenbare groep leerlingen lijkt uit te selecteren voor een studie in de natuurwetenschappen. Ligt de oorzaak daarvan inderdaad diep verborgen in hun jeugd? Of is het soms 'de aard van het vak'? Of beide?

6. Besluit

Uit het voorgaande lijkt inderdaad de conclusie gerechtvaardigd dat er een zekere mate van overeenkomst is tussen wat we op grond van de analyse van de 'aard van het vak' mogen verwachten als functionele kenmerken van de 'aard van de natuurkundige' en de werkelijkheid.

Natuurkunde beoefenen gaat, tot op zekere hoogte, inderdaad samen met bepaalde persoonskenmerken. Deze kunnen we, samengevat, ruwweg in twee gebieden onderscheiden, n.l.: kenmerken die te maken hebben met succes in het vak, zoals intelligentie, ijver, creativiteit, rationaliteit, etc., en kenmerken die liggen op het gebied van sociale relaties en emotionaliteit. Op het eerste gebied 'scoren' natuurkundigen duidelijk beter dan op het tweede. De oorsprong van deze uitsplitsing, tussen 'ding' en 'persoonsorientatie' lijkt veelal al in de vroege jeugd te liggen. Op school lijkt ze bevestigd en versterkt (?) te worden bij

het onderwijs in de natuurwetenschappen. Om in het universitaire onderwijs en latere wetenschapsuitoefening haar culminatiepunt te vinden. Een interessante en voor het onderwijs relevante vraag wordt dan of leerlingen en studenten zich een juist beeld vormen van 'de natuurkundige'. Of ze een idee hebben van het waarom van de mogelijke functionaliteit van dat beeld en of ze er zichzelf ook enigszins in herkennen. Dit laatste lijkt met name ook belangrijk voor een verantwoorde en bewuste keuze van een natuurkundestudie.

Om hiervan enig idee te krijgen hebben we bij eerste jaars natuurkunde studenten een oriënterend onderzoek verricht naar hun beeld van 'de mens' achter de natuurkundige (Lijnse 1984), waarover, zoals gezegd, in een volgend artikel gerapporteerd zal worden.

Noten

1. In dit artikel zal geen analyse van onderwijsdoelstellingen en leerboeken plaatsvinden met betrekking tot 'het beeld van de natuurkundige'. Zo'n analyse lijkt me echter wel gewenst.
2. In veel literatuur wordt echter de natuurkunde als paradigmatisch voorbeeld van empirische wetenschapsbeoefening gezien. De reden hiervoor is dat de natuurkunde veelal beschouwd wordt als het meest succesvolle, 'hardste' en verst ontwikkelde wetenschapsgebied. Uitspraken over 'de wetenschapper in het algemeen' mogen dus veelal als bij uitstek van toepassing op de natuurkundige worden beschouwd. Het omgekeerde geldt echter zeker niet. Uitspraken over 'de natuurkundige' mogen, denk ik, niet zonder meer geextrapoleerd worden, zelfs niet naar natuurwetenschappers in het algemeen. Een probleem is zeker in hoeverre dit in de bedoelde literatuur toch niet impliciet gedaan is, juist vanwege de genoemde paradigmafunctie van de natuurkunde.
3. De termen: eigenschap, kenmerk, houding, zal ik psychologisch gezien slordig gebruiken, volgens hun common-sense betekenis (zie Schermer, 1983). Duijker, Dudink en Vroon (1981, p. 478) schrijven hierover: 'Wij beschouwen driftig zijn, evenals vriendelijk, neerslachtig, opgewekt, achterdochtig, oprecht, enz. zijn als menselijke mogelijkheden, en wel in principe als algemeen menselijke mogelijkheden. Of die mogelijkheden al dan niet verwezenlijkt worden, hangt af van de situatie. Als wij nu van iemand terécht beweren dat hij

neerslachtig is, betekent dat: in vergelijking met anderen vertoont hij vaker (en misschien ook in sterkere mate) een als neerslachtig aandoend gedrag. Met andere woorden iedere karakterisering berust op een (vaak onbeseft) vergelijking. Als wij beweren dat iemand ijverig is, geven wij te kennen, dat hij ijveriger is dan anderen; zo betekent ook 'traag': langzamer dan anderen, enz.

4. Er zijn inderdaad aanwijzingen in die richting, hoewel er bij mijn weten, nauwelijks empirisch onderzoek naar gedaan is. De genoemde beperking is vooral ingegeven door de overheersing van de academische natuurkunde in onderwijs en populariserende beeldvorming.
5. De rationele reconstructie speelt zich af in de zogenaamde 'context of justification'. Het gaat daarin niet om de vraag hoe de wetenschappers in feite tot hun begrippen, wetten en theorieën komen. Deze kwestie hoort thuis in de 'context of discovery' en is een psychologisch, sociologisch of historisch probleem'. (Koningsveld, 1976, p.59).
6. De manier waarop dit gebeurt en de vraag welk wetenschapsbeeld in leerboeken en media wordt overgedragen, verdient nadere studie. Versteegen (1984) heeft dit enigmatische geprobeerd.
7. Bijker (1981) vat wat hij Kuhn's 'irrationaliteitsthese' noemt als volgt samen: 'wetenschapsgroei is geen rationeel proces, als gevolg van de onvergelijkbaarheid van opeenvolgende theorieën (in strijd met zo ongeveer het belangrijkste element in ons beeld van de natuurkunde)'. Deze uitspraak lijkt mij echter onverenigbaar met het volgende citaat van Kuhn zelf: '... then scientific development is, like biological, a unidirectional and irreversible process. Later scientific theories are better than earlier ones for solving puzzles in the often quite different environments to which they are applied. That is not a relativistic position and it displays the sense in which I am a convinced believer in scientific progress'.
8. 'Indien Thomas Kuhn met zijn onzalige invoering van het woord 'paradigma' wil suggereren dat deze nieuwe theorieën slechts een verandering van mode betekenen. maakt hij de ernstige fout niet in te zien, dat ze uit de waarnemingen ontsproten zijn, en noodzakelijk waren om de waargenomen verschijnselen in een logisch samenhangend schema te vervatten en te begrijpen' (Van Kampen 1977).

- Dieks (1981) zegt: 'het oordeel van 'irrationaliteit' dat tot stand komt op basis van deze methodologieën (uit de wetenschapsfilosofie, P.L.) moet dan ook als niet van grote betekenis voor de fysica worden beschouwd.
- Jung (1979): 'Die Darstellung wissenschaftlicher Diskussion als Glaubensdispute muss für den Physikunterricht verheerende Folgen haben. Eine wachsende Welle von Irrationalismus überschwimmt inzwischen auch das Denken über Wissenschaft und viele Didaktiker schwimmen mit, ohne zu wissen was sie tun'.
9. Diederich (in Anderson 1969) schrijft: 'Developing a scientific attitude is an important goal of science education'. Vervolgens geeft hij twintig 'components of the scientific attitude', waarin inderdaad alle genoemde hoogdravende eigenschappen voorkomen, zoals: humility, loyalty to truth, scepticism, suspended judgement, etc.
10. In een recent onderzoek antwoordt 88% van de ondervraagde fysici ontkennend op de bewering: 'Schrijvers en schilders zijn veel creatiever dan natuurwetenschappers' (Lijnse, nog niet gepubliceerd).
11. De eerste regel van het invloedrijk PSSC-leerboek (1960) luidt: 'Physics is the fundamental science of the natural world'. Van dezelfde 'emotionele' orde zijn uitspraken als de natuurkundige die op zoek is naar 'the deepest nature of matter' en 'the unity of the universe' (Marx 1983).
12. Deze kritiek wordt uiteraard ook doorgetrokken naar het natuurwetenschappelijk onderwijs, zie bijv. Van Dam (1984) en Schaefer (1984).
13. 'Mannelijke natuurwetenschap, mannelijke alchemie', is voor een deel gebaseerd op mannelijke uterusnijd, op het verlangen naar de creatie van iets wonderbaarlijks door mannelijk vernuft' (Chesler 1979).
14. Deze samenvatting is hoofdzakelijk gebaseerd op vier review artikelen, n.l. van Gardner (1975), Head (1979), Holton (1978) en Fisch (1977).

Literatuur

- Abelson, P.H. Communicating with the Public, Science 194, p.565, 1976.
- Albach, F., Dankbaar, B., Hooghiemstra, R., Keuper, W., Slot, W. en Spaninks, P. Hoe 'anders' is de 'andere' wetenschap?, Wetenschap en Samenleving, 1980.
- Anderson, H.O. (ed.) Readings in Science Education for the Secondary School, London: MacMillan, 1969.
- Auer, S. School, Natuurwetenschap en Maatschappij, Amsterdam: Meulenhoff, 1966.
- Bijker, W. Het beeld van de natuurwetenschappen in ons onderwijs, Faraday, 51, p.79, 1982.
- Boeker, E. Natuurwetenschap en Techniek: een weg naar Utopia?, Assen: Van Gorcum, 1975.
- Boers, C. Wetenschap, Techniek en Samenleving, Meppel: Boom, 1981.
- Capra, F. De Tao van Fysica, Amsterdam: Bert Bakker, 1982.
- Casimir, H.B.G. Natuurwetenschap, Techniek en Maatschappij. In: Leven met de wetenschap, Oosthoek, 1968.
- Chester, P. Over Mannen, Amsterdam: De arbeiderspers, 1979.
- CMLN, eindrapport, 1974.
- Dam, K.v. Natuuronderwijs: wat is dat precies? Faraday, 52, p.107, 1983.
- Deale, W.v.d. en Cramer, J. Ecologie: een 'alternatieve' natuurwetenschap? Kennis en methode, 7, p.121, 1983.
- Dieks, D. Studies in the Foundations of Physics, proefschrift R.U.U., 1981.
- Duyker, H.C.J. Dudink, A.C. en Vroon, P.A. Leerboek der Psychologie, Groningen: Wolters Noordhoff, 1981.
- Erkelens, H.v. De Fysica en het vrouwelijke. In: Van Wetenschapskritiek tot wetenschapswinkel, Studium Generale, R.U.U., 1980.
- Fennema, J.W.R. Natuurwetenschap en Mystiek, bijdrage aan gelijknamig symposium, juni 1984.
- Foekema, G.M.M., Koeze, P. en Le Pair, C. Studie-keuze= motieven van eerste- en tweedejaars natuurkundestudenten, FOM-rapport 33371/3, 1974.
- Feynman, R.P., Leighton, R.B. en Sands, M. The Feynman Lectures on Physics, Reading: Addison Wesley, 1963.
- Fisch, R. Psychology of Science. In: I. Spiegel Rosing en D. de Solla Price (eds), Science, Technology and Society, a cross-disciplinary perspective, London: Sage, 1977.
- Gardner, P.L. Attituden to Science: a review, Studies in Science Education, 2, p.1, 1975.

- Head, J. Personality and the pursuit of science, Studies in Science Education, 6, p.23, 1979.
- Holton, G.J. The scientific imagination, Cambridge: C.U.P., 1978.
- Hoymayers, H.P. Het natuurkunde-onderwijs in de onderbouw, Faraday, 39, p.3, 1969.
- Jardine, J. Natuurkunde Doen, Kampen: Kok, z.j.
- Jung, W. Aufsätze zur Didaktik der Physik und Wissenschaftstheorie, Frankfurt a.Main, Diesterweg, 1979.
- Kampen, N.G.van. De natuurkunde van de twintigste eeuw. In: NG 200, uitgave Natuurkundig Gezelschap, Utrecht: 1977.
- Koningsveld, H. Het verschijnsel wetenschap, Meppel: Boom, 1976.
- Kuhn, T. The structure of scientific revolutions, Chicago: U.C.P., 1971.
- Leydesdorff, L. e.a. Philips en de wetenschap, Amsterdam, S.U.A., 1980.
- Lijnse, P.L. Over het 'experimenteel werk' in de opleiding tot experimenteel fysicus, Rapport Vakgroep Natuurkunde-Didactiek, Utrecht: 1975.
- Lijnse, P.L. Doelstellingen en Natuurkunde Onderwijs, een beknopte inleiding. In: Didactiek van de Natuurkunde, Utrecht: Vakgroep Natuurkunde-Didactiek, 1977.
- Lijnse, P.L. 'Natuurkunde' op school ?, Nederlands Tijdschrift voor Natuurkunde, A44, p.161, 1978.
- Lijnse, P.L. Welk beeld hebben eerste-jaars studenten van hun studie en hun vak ?, Rapport sectie Natuurkunde, Sterrenkunde en Samenleving, Utrecht: R.U.U., 1984.
- Marx, G. What is physics, Physics Education, 18, p.7, 1983.
- Mikešis, H. Didaktiken der Physik, Synopse und Kritik, Bad Salzdetfurth: Verlag Barbara Franzbecker, 1982.
- Ormerod, M.B. en Duckworth, D. Pupils' attitudes to science, NFER, 1975.
- Popper, K. The logic of scientific discovery, Londen: Hutchinson, 1977 (negende druk).
- Popper, K. Normal Science and its dangers. In: I.Lakatos and A.Musgrave (eds), Criticism and the growth of knowledge, C.U.P., 1970.
- Popper, K. The rationality of scientific revolutions. In: R.Harre (ed), Problems of scientific revolution, Oxford: Clarendon Press, 1975.
- PSSC - Physics, Boston: Heath and Company, 1960.
- Rip, A. Wetenschap als mensenwerk, Baarn: Ambo, 1978.
- Roszak, Th. Het einde van niemandsland, Amsterdam: Meulenhoff, 1974.

- Schaefer, G. Naturwissenschaftlicher Unterricht auf dem Wege vom exklusiven zum inklusiven Denken, MNU, 37, p.324, 1984.
- Schermer, A.K.F. Waarden en attitudes in het biologie-onderwijs, T.D.N., 1, p.62, 1983.
- Schraag, J.A., Hendriks, E.J. Rijst, J.van der. Toegepaste onderwijskunde voor de natuurwetenschappen, Groningen: Wolters Noordhoff, 1976.
- Schreurs, B. Kanttekeningen bij een januskop. In: Van wetenschapskritiek tot wetenschapswinkel, Studium Generale, Utrecht: R.U.U., 1980.
- Snijders, J. Angstig forum, NTvN, B49, p.135, 1983.
- Smolicz, J.J. en Nunan. E.E. The philosophical and sociological foundations of science education, Studies in Science Education, 2, p.101, 1975.
- Szent-Gyorgyi, American Journal of Physics, 43, p.427, 1975.
- Verstegen, B. Natuurkunde-boeken en wetenschapsfilosofie, een poging tot analyse, Didactiek/NS en S-bijvak scriptie, Utrecht: R.U.U., 1984.
- Vinken, P.J. De wetenschappelijke onderzoeker als producent en gebruiker van informatie, Universiteit en Hogeschool, 24, p.326, 1978.
- Waals, J.H.van der. Universiteit zakt onherroepelijk af, Wetenschapsbeleid, 4, p.16, 1982.
- Weinberg, S. Reflectism of a working scientist. In: G.Holton en W.A. Blanpied (eds), Science and its public: the changing relationship, Dordrecht: Reidel, 1976.
- Ziman, J. Public knowledge, Cambridge: C.U.P., 1967.
- Ziman, J. Teaching and learning about science and society, Cambridge, C.U.P., 1980.