

Het beeld van de natuurwetenschappen in het onderwijs, (wetenschaps)filosofische argumenten voor een onderwijsvernieuwing

Citation for published version (APA):

Bijker, W. E. (1981). Het beeld van de natuurwetenschappen in het onderwijs, (wetenschaps)filosofische argumenten voor een onderwijsvernieuwing. *Filosofie en Praktijk*, 2, 97-103.

Document status and date:

Published: 01/01/1981

Document Version:

Publisher's PDF, also known as Version of record

Please check the document version of this publication:

- A submitted manuscript is the version of the article upon submission and before peer-review. There can be important differences between the submitted version and the official published version of record. People interested in the research are advised to contact the author for the final version of the publication, or visit the DOI to the publisher's website.
- The final author version and the galley proof are versions of the publication after peer review.
- The final published version features the final layout of the paper including the volume, issue and page numbers.

[Link to publication](#)

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal.

If the publication is distributed under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license above, please follow below link for the End User Agreement:

www.umlib.nl/taverne-license

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at:

repository@maastrichtuniversity.nl

providing details and we will investigate your claim.

Onderwijs

Het beeld van de natuurwetenschappen in het onderwijs, (wetenschaps)filosofische argumenten voor een onderwijsvernieuwing door Wiebe Bijker Veel mensen lijken negatief te denken over de rol van de natuurwetenschappen in onze samenleving. Deze indruk wordt bevestigd door ervaringen van leraren met reacties van middelbare scholieren. Milieurampen als bij Lekkerkerk en benoorden Amsterdam gaven het vertrouwen in de chemie een knak; de natuurkunde is in een ongunstig daglicht gekomen door de problemen rond kernenergie en kernwapens; en het is niet uitgesloten dat ook het vertrouwen in de biologie zal afnemen, tengevolge van het debat over de risico's van DNA-recombinant onderzoek. Wanneer deze negatieve waardering omslaat in afkeer of zelfs angst voor natuurwetenschap en techniek, wordt het tijd er iets aan te doen. Niet omdat er voor die negatieve waardering geen grond zou zijn, maar omdat reacties als deze de risico's alleen maar vergroten. Een democratische controle van wetenschap en techniek is immers des te moeilijker, naarmate meer burgers zich 'vol afschuw' afwenden. Bovendien wordt door een dergelijke afschuw ook het zicht belemmerd op de eventuele positieve bijdragen van wetenschap en techniek aan het oplossen van maatschappelijke problemen.

Sinds 1976 is op een toenemend aantal VWO-scholen in de eindexamenklas het probleemgebied 'natuurkunde en samenleving' aan de orde geweest. Dit gebeurde in het kader van het NAS-project, dat vanuit de Vrije Universiteit was opgezet.¹ In het boekje *Overleven in vrijheid* hebben Boeker, Eijkelhof, Raat en Swager de argumenten voor een dergelijk project in een wat breder perspectief uiteen gezet. In de eerste hoofdstukken geeft Boeker een overzicht van de veranderende positie van de natuurwetenschap en de techniek in de maatschappij. Hij schetst de mogelijkheden en moeilijkheden om wetenschap en techniek democratisch te sturen. Eijkelhof analyseert de rol die het onderwijs zou kunnen spelen bij het voorbereiden van mensen op hun functioneren in een democratische samenleving en, meer specifiek, op hun rol bij het democratisch controleren en sturen van techniek en wetenschap. In het tweede deel besteden Raat en Swager aandacht aan de situatie van het Nederlandse natuurkunde-onderwijs. De schrijvers komen tot de conclusie dat 'het wenselijk is, dat (mensen) reeds in hun jeugd hebben geleerd om mee te denken over ingewikkelde problemen die zich voordoen op het grensgebied van wetenschap, techniek en andere delen van de samenleving. Het onderwijs kan daarbij een belangrijke rol spelen. Er is dus een maatschappelijke oriëntatie van het onderwijs nodig.' Ik wil in dit artikel laten zien hoe via een andere, meer binnen de natuurwetenschap liggende argumentatielijn tot vergelijkbare conclusies gekomen

Wiebe Bijker is wetenschappelijk medewerker aan de TH Twente. Voordien was hij natuurkunde leraar en medewerker bij het Project Leerpakket Ontwikkeling Natuurkunde R.U. Utrecht.

1 Het VWO-eindexamen bestaat voor het vak natuurkunde uit een vast kernprogramma en twee keuzeonderwerpen. Eén van deze keuzeonderwerpen wordt (per jaar) door elke school zelf vastgesteld. In 1981 hebben 45 scholen (van de ongeveer 550) hiervoor 'NAS' gekozen. In het NAS-boek worden vijf thema's behandeld: energie, geluid, transport, wapens, techniek en wetenschap in ontwikkelingslanden.

kan worden. Daartoe zal ik het beeld van de natuurkunde in het onderwijs analyseren en houden tegen het licht van recente wetenschapsfilosofische inzichten.

Het huidige beeld van de natuurkunde in het onderwijs Op grond van de thans gebruikte schoolboeken en de daarmee gegroeide onderwijspraktijk kan het beeld dat leerlingen van de natuurkunde krijgen als volgt worden gekarakteriseerd.

De natuurkunde is een **belegen** wetenschap: op de middelbare school komen geen onderwerpen aan de orde van na 1945. Natuurkunde heeft daarnaast **niets met de werkelijkheid** te maken: er komen alleen zorgvuldig geselecteerde en van allerlei lastige variabelen ontdane problemen aan de orde. Daarmee samenhangend lijkt de natuurkunde ook **almachtig**: de problemen die leerlingen voorgelegd worden hebben altijd een oplossing. Dit enigszins gechargeerde leerlingenbeeld van de natuurkunde noemen we beeld-1.

De meeste fysici zullen vinden dat dit een onjuist beeld is. Het beeld dat zij zelf van hun natuurkunde hebben, beeld-2, bevat drie hoofdelementen: de natuurkunde is waardevrij, ze is rationeel en ze vormt een voorwaarde voor technische innovaties. Dat deze beeldelementen niet vanzelfsprekend zijn, zal ik aannemelijk maken door aan te geven hoe zij in het verleden vorm gekregen hebben onder invloed van de verschillende manieren waarop de natuurkunde maatschappelijk 'verkocht' (of: gelegitimeerd) werd.

Bij het ontstaan van de moderne natuurwetenschap in de 17^e eeuw werd een duidelijke demarcatielijn getrokken tussen de natuurwetenschap enerzijds en de politiek, religie en sociale problematiek anderzijds. Deze **legitimatie door demarcatie** volgde op een periode waarin het natuurwetenschappelijk onderzoek juist verbonden was geweest met de puriteinse (religieuze) beweging, die onder meer sociale hervormingen en onderwijskundige vernieuwingen propageerde. Bij de restauratie van de monarchie moesten de natuurwetenschapsmensen, als voorwaarde voor hun maatschappelijke acceptatie, als het ware beloven om zich niet meer met dergelijke maatschappelijke zaken bezig te houden. Dit is vastgelegd in de concept-statuten van de toen opgerichte Royal Society. Sinds die tijd wordt de natuurkunde als waardevrij beschouwd.

In de 18^e eeuw ziet men het redelijkheidsideaal van de Verlichting belichaamd in de natuurwetenschappen. Natuurkundig onderzoek wordt daarom cultureel en educatief van groot belang geacht: **legitimatie door rationaliteit**. Zo zal een inpassen van de methoden en resultaten van de natuurkunde in het politieke handelen leiden tot vrede, vrijheid en gerechtigheid. Natuurkunde in het onderwijs leidt tot geestelijke en zedelijke verheffing des volks. En via het productieproces zal de natuurkunde materiële vooruitgang brengen.

In de 19^e en 20^e eeuw wordt de directe relatie tussen natuurkunde en techniek belangrijker. De **legitimatie door techniek** houdt de veronderstelling in, dat technische vooruitgang alleen mogelijk is op basis van wetenschappelijk onderzoek. Zolang het belang van de techniek vast staat, is hiermee een

belangrijke rechtvaardiging van de fysica-beoefening gegeven.

In het verlengde van deze historische schets van legitimatiegronden kunnen we vaststellen, dat het eind van de jaren zestig een verlies aan legitimatie van de natuurwetenschappen te zien heeft gegeven. Problemen als in de inleiding genoemd hebben hier alles mee te maken. Dit hoeft niet te betekenen, dat het beeld dat men van de natuurwetenschappen heeft ook is veranderd; wel, dat de waardering ervan veranderde.

Bij mensen voor wie het derde beeldelement, de techniekbevordering, in belangrijke mate het wetenschapsbeeld bepaalt, zal afkeer van techniek licht kunnen leiden tot afkeer van ook 'fundamentele' wetenschap. Afkeer van de natuurkunde in combinatie met het beeldelement van de rationaliteit levert zo misschien een minachtig op voor redelijke discussie en een vlucht naar Baghwan. En wanneer de huidige natuurkunde als 'slecht' wordt gezien vanuit het perspectief van het beeldelement der waardevrijheid, leidt dit mogelijkerwijze tot een afzweren van alle 'zuivere' wetenschapsbeoefening en het uitsluitend willen toelaten van onderzoek, dat voor bepaalde maatschappelijke groepen relevant is.

Dit zijn alle drie inadequate reacties, die een oplossing van de problemen geen stap dichterbij brengen. Het geschetste beeld-2 biedt echter nauwelijks aanknopingspunten voor andere, vruchtbaarder reacties. Om deze wel mogelijk te maken, is een bijstelling van dit beeld tot een meer met de werkelijkheid overeenstemmend beeld-3 nodig.

Wetenschapsontwikkeling: autonoom of niet? Voor de opbouw van een nieuw beeld-3 van de natuurwetenschap is een centrale vraag, in hoeverre de ontwikkeling van wetenschap autonoom is. Deze vraag is belangrijk in verband met de in het begin geschetste maatschappelijke problemen: in hoeverre is het mogelijk wetenschap te controleren en te sturen? Bovendien is de vraag belangrijk voor de discussie over natuurkunde en samenleving-onderwijs: wat hebben wetenschap en samenleving precies met elkaar te maken?

Over één soort externe beïnvloeding van de wetenschap bestaat nauwelijks meningsverschil. Waar en wanneer zich bepaalde wetenschappelijke ontwikkelingen voordoen, wordt duidelijk beïnvloed door maatschappelijke omstandigheden. Een voorbeeld hiervan is de ontwikkeling van de kernfysica in de Tweede Wereldoorlog. Minder eensgezindheid bestaat er over een maatschappelijke beïnvloeding van niet alleen **plaats en tijd** maar ook **inhoud** van wetenschappelijke theorieën. Ik zal een model van wetenschapsontwikkeling schetsen, waarmee het wellicht mogelijk is een beschrijving en verklaring te geven van een dergelijke externe beïnvloeding van wetenschap. Dit model is vooral gebaseerd op het werk van Toulmin en de Starnbergers.²

Het meest karakteristieke van een wetenschappelijke discipline zijn haar doelen en de basisprincipes die bij het nastreven van die doelen worden gehanteerd. Zo kan als doel van de atoomfysica worden beschouwd: het verklaren van de opbouw der materie. Als basisprincipe geldt hierbij, dat deze verklaring moet gebeuren in termen van een sub-atomaire structuur.

2 Voor een meer systematisch overzicht van deze wetenschapsfilosofen, zie Wiebe Bijker: Toulmin en de Starnbergers, Wijsgerig Perspectief, 21, 4 mei 1981. In dit themanummer over de filosofie van de natuurwetenschappen staan ook inleidende artikelen over Popper, Lakatos, Kuhn, Feyerabend, Sneed en Suppes.

Externe beïnvloeding van een wetenschappelijke discipline vindt nu plaats via deze disciplinaire doelen en/of basisprincipes. Welke vorm van beïnvloeding in een bepaalde situatie plaats kan vinden, hangt af van de fase van ontwikkeling waarin de betreffende discipline zich bevindt.

In de eerste, **exploratieve fase** zijn de basisprincipes van de discipline nog niet duidelijk. Het is dan mogelijk, invloed uit te oefenen op het doel van dat onderzoek. De Starnbergers noemen deze vorm van externe sturing van onderzoek **functionalisering**. De activiteiten van onderzoekers worden op een bepaald probleem gericht, zonder dat daarbij een duidelijke theorie voorhanden is. Bepaalde delen van het moderne kankeronderzoek zijn hiervan een voorbeeld.

In de tweede, **paradigmatische fase** zijn doelen en grondprincipes van de discipline duidelijk. Directe externe beïnvloeding is in deze fase niet mogelijk. Indirect is de inhoud van de theorie-ontwikkeling ook hier mede extern bepaald, doordat behalve de doelen ook de basisprincipes bij het begin van deze fase maatschappelijk zijn beïnvloed. Maar in deze fase zelf wordt de ontwikkeling van een theorie vooral intern bepaald. Een voorbeeld hiervan is de klassieke mechanica tussen Newton en Hamilton (van 1685 tot midden 19^e eeuw).

In de derde, **post-paradigmatische fase** liggen de basisprincipes van de discipline vast. Er is sprake van een afgesloten theorie, op basis waarvan het onderzoek nu op nieuwe doelen gericht kan worden. De Starnbergers noemen deze vorm van externe sturing **finalisering**. De plasmafysica is een voorbeeld van een gefinaliseerde theorieontwikkeling: de basisprincipes van deze discipline worden geleverd door de magnetohydrodynamica en dergelijke algemene theorieën; het onderzoek wordt nu gericht op een nieuw doel, namelijk het mogelijk maken van kernfusie met een beheerste, continue energieafgifte. Dit is niet het toepassen van oude theorieën in een nieuwe situatie; het betekent een nieuwe theorieontwikkeling op basis van die oude theorieën.

Elementen voor een juister beeld van de natuurwetenschappen in het onderwijs

Beeld-2 is niet in overeenstemming met het in de vorige paragraaf geschetste model. Volgens dit model zijn de natuurwetenschappen niet waardevrij: via verschillende processen worden doelen en basisprincipes van een discipline mede door maatschappelijke normen en waarden bepaald. Het beeldelement van de 'natuurwetenschap als bron van technische innovaties' verdient ook nadere specificering. Hoewel de tot nu toe ontwikkelde theoretische modellen geen voldoende bevredigende beschrijving geven van de relaties tussen wetenschap en techniek, is wel duidelijk dat de in beeld-2 gesuggereerde één-richtingsinvloed zeker onjuist is. Ten eerste zijn er al in de vroege geschiedenis van de moderne natuurwetenschap situaties aanwijsbaar (bijvoorbeeld de stoommachine en de thermodynamica), waarin juist de technische ontwikkeling vóór loopt op de wetenschappelijke ontwikkeling. Daarnaast is de huidige situatie veelal zo, dat moeilijk grenzen getrokken kunnen worden tussen wetenschapsontwikkeling en techniekontwikkeling. Enerzijds heeft een industrialisering van de wetenschap plaats gevonden: onderzoek wordt niet meer gedaan door geniale eenlingen, maar

door grote teams met vaak erg grote instrumentatie-budgetten. Anderzijds valt ook een verwetenschappelijking van de techniek te constateren: steeds meer technische ontwikkelingen kunnen slechts plaats vinden op basis van theorievorming. Doordat deze processen het eerst te zien waren – en nog steeds het duidelijkst te zien zijn – in de sfeer van het militaire onderzoek, wordt vaak gesproken van het militair-industrieel-wetenschappelijk complex. Het lijkt me belangrijk het bestaan van dit complex in het onderwijs aan de orde te stellen, opdat het probleem van 'wetenschap, techniek en samenleving' niet wordt versimpeld tot een schuldig verklaren van individuele onderzoekers of technici.

Na de besproken beeldelementen betreffende de relaties tussen wetenschap, samenleving en techniek, moeten we nu beeld-3 nog completeren met een beschrijving van de 'interne' aspecten van de wetenschappelijke theorievorming. Terwijl de beide voorgaande nieuwe beeldelementen hun vertaling naar het onderwijs vooral zullen vinden in een nieuwe, meer maatschappelijk georiënteerde inhoud, geldt voor de volgende beeldelementen dat zij veeleer consequenties kunnen hebben voor de didactiek. Popper heeft gewezen op de theorie-geladenheid van experimentele waarnemingen. Je kunt leerlingen wel de wet van Ohm laten 'ontdekken' met behulp van een variabele spanningsbron, een weerstandje en een paar meters, maar daarbij worden impliciet een aantal theoretische veronderstellingen gemaakt over hoe die meters werken. (En in dit geval zijn dan bovendien die veronderstellingen niet onafhankelijk van de wet van Ohm.) Het lijkt me zinvol, leerlingen bewust te maken van dit soort problemen, ook als ze later geen natuurwetenschappelijk werk gaan doen: de sociaal-wetenschappelijke onderzoeken waarover ze in hun krant zullen lezen, zijn evenmin vrij van deze problemen. Ook in een andere zin valt er nog wel iets aan te merken op het practicum 'ontdek de wet van Ohm'. Lakatos heeft laten zien, dat er meer voor nodig is dan één negatief experiment om een theorie te laten vallen. Dat klopt nauwelijks met het rationaliteit-aspect van beeld-2: het is immers niet zo redelijk om ondanks een tegensprekend experiment toch vast te houden aan je theorie. Om dit redden van de theorie rationeel mogelijk te maken, worden ad hoc hypothesen bedacht. Zo ook bij het Ohm-practicum, wanneer een leerling een ander verband vindt dan de door ons verwachte evenredigheid. Zal hij enthousiast worden gefeliciteerd met het falsifiëren van de wet van Ohm? Waarschijnlijker is, dat de leraar oppert 'dat de temperatuur wel niet constant geweest zal zijn, of dat de spanning van je voedingskastje geschommeld heeft'. Wanneer leerlingen wordt gesuggereerd dat ze door middel van een practicum inzicht krijgen in 'de natuurwetenschappelijke methode', houden we ze dus voor de gek. Het is eerlijker, en ook bijdragend tot een beter inzicht in het functioneren van een onderzoeker, als de probleemstelling van het Ohm-practicum luidt: 'hier is de wet van Ohm; ga die nu controleren; probeer te bedenken, hoe je eventuele afwijkingen in jouw resultaten kunt verklaren'.

3 In een artikel in Faraday, tijdschrift voor het onderwijs in de natuurwetenschappen, hoop ik hierop terug te komen.

Op nog een andere manier blijkt de gang van zaken op dit practicum een onjuist beeld van 'de natuurwetenschappelijke methode' te geven. De suggestie wordt gewekt dat wetmatigheden inductief uit een serie metingen volgen; we 'ontdekken' letterlijk hoe de natuur in elkaar zit. Daarmee wordt het constructieve karakter van kennis ontkend. Theorieën worden niet gevonden, maar bedacht. Wanneer we in het onderwijs van dit laatste uitgaan, bieden we leerlingen niet alleen een juist beeld van het functioneren van de natuurwetenschappen, maar kunnen we ook de didactiek verbeteren. Een voorbeeld met betrekking tot de traagheidswet van Newton kan dit illustreren. Doordat in praktische situaties altijd de wrijvingskracht een rol speelt, is het voor leerlingen moeilijk om de traagheidswet daarbij toe te passen. Voor veel leerlingen verwordt $F=m \cdot a$ dan ook tot een reken-truc, waarmee je uit de sommetjes van je leraar de door hem gewenste antwoorden kunt krijgen. Wanneer we echter uitgaan van het bij leerlingen aanwezige intuïtieve (Aristotelische) traagheidsbegrip en hun zorgvuldig een aantal daarmee onoplosbare problemen voorschotelen, dan ontstaat een situatie waarbij het Newtonse traagheidsbegrip met vrucht als een bedachte oplossing voor die problemen kan worden voorgesteld. Op deze manier bestaat er voor de meeste leerlingen geen strijdigheid meer tussen de traagheidswet van Newton en het feit 'dat je toch gewoon kunt zien dat een kar stopt als je ophoudt met duwen'. Ze voelen nu aan dat een theorie een constructie is om mee naar de werkelijkheid te kijken.

Tot slot Ik heb een aanzet proberen te geven tot een discussie over de wetenschapsfilosofische juistheid van de middelbare school-natuurkunde. Er zijn twee redenen om deze discussie te voeren. Een reden van academische integriteit wordt gevormd door de omstandigheid dat we leerlingen nu een beeld van de natuurwetenschappen geven, dat niet met de werkelijkheid klopt. Een politieke reden is, dat het pas op basis van een nieuw beeld, als hierboven geschetst, mogelijk wordt om modellen te maken voor democratische controle en sturing van wetenschap en techniek. Duidelijk is dat de onderwijsdoelstelling, leerlingen in te voeren in onze cultuur en voor te bereiden op de maatschappij, het noodzakelijk maakt om aandacht te besteden aan de problematiek van 'natuurkunde en samenleving'. Over de precieze vormgeving hiervan is daarmee nog weinig gezegd. Ik heb evenmin veel concrete voorstellen gedaan om de andere aspecten van beeld-3 te vertalen naar nieuwe onderwerpen of werkvormen in het natuurkunde onderwijs.³

Literatuur

- Boeker, Eijkelhof, Raat, Wijnbeek
1980 Natuurkunde en samenleving, herziene druk; leerlingenboek en docentenhand-leiding zijn verkrijgbaar bij de VU-boekhandel, tel. 020-444355.
- Boeker, Eijkelhof, Raat, Swager
1979 Overleven in vrijheid, Meulenhoff Informatief.
- Böhme, Van den Daele, Krohn
1977 Experimentelle Philosophie- Ursprünge autonomer Wissenschaftsentwicklung, Suhrkamp Verlag.
- Böhme, Van den Daele, Hohlfeld, Krohn, Schäfer, Spengler
1978 Starnberger Studien I – Die gesellschaftliche Orientierung des wissenschaft-lichen Fortschritts, Suhrkamp Verlag.

Van den Daele, Krohn, Weingart
1979 Geplante Forschung, Suhrkamp Verlag.
Toulmin
1972 Human Understanding, Volume 1, Clarendon Press.

Prijsvraag Mannoury

De 'Stichting ter bevordering van de Methodologie en de Significa' looft een bedrag uit van f 4.000,— voor het beste essay over het onderwerp 'An investigation into the importance of Gerrit Mannoury for Significs''.

Manuscripten, gesteld in het Engels en met een maximum van 35000 woorden kunnen gezonden worden aan I. Pels, Frederik Hendrikplantsoen 7, 2351 GH Leiderdorp, uiterlijk op 31 maart 1982.

Toezening dient te geschieden in een blanco envelop met daarop alleen het adres en met bijsluiting van een gezegelde blanco envelop waarop de titel van het essay vermeld is en bevattende naam en adres van de auteur.

In het manuscript mag de naam van de auteur niet geopenbaard worden.

Een jury van drie personen zal vóór 30 juni 1982 het winnende essay aanwijzen. De auteur daarvan wordt door de Stichting op de hoogte gebracht.

Ook neemt de Stichting publikatie voor haar rekening.

Gewenste nadere informatie is te verkrijgen op bovenstaand adres.