

DRAFT (d.d. Dec. 2008). This article has been published. Please refer to: Boon, M. 2009. *Grote Vraagstukken – Wetenschap in Praktijk*. in: *Wetenschap en Werkelijkheid* – Honoursprogramma Universiteit Twente, University of Twente Honours Programme University Press. Henk Procee (ed.). ISBN978-90-813906 1-3, pp. 124-136.

## **GROTE VRAAGSTUKKEN – WETENSCHAP IN PRAKTIJK**

### **MIEKE BOON**

University of Twente, Department of Philosophy, P.O.Box 217, 7500 AE Enschede, The Netherlands.

Email: [m.boon@utwente.nl](mailto:m.boon@utwente.nl).

Wat zegt wetenschap over de werkelijkheid en wat doet wetenschap met de werkelijkheid? Tegen de achtergrond van deze twee vragen zal ik de ideeën belichten die de basis vormen van de didactische doelen en aanpak in deze module, en sterker nog, wellicht in het hele honoursprogramma. Het ruwe doel is te leren hoe wetenschappelijk onderzoek te doen ten behoeve van maatschappelijke vraagstukken. Energie, klimaatverandering, voedsel, water, gezondheid, communicatie, infrastructuur, milieu en duurzaamheid, het zijn thema's die direct zijn gekoppeld aan de eerste levensbehoeften van mensen; ze zijn schaars of ze worden bedreigd waardoor zelfs het overleven van mensen op het spel kan komen te staan. Daarom zijn deze thema's tegelijkertijd benamingen van grote maatschappelijke problemen, waar wetenschap en technologie moet bijdragen aan de oplossing ervan.

Het idee dat wetenschap en techniek het leven van mensen zou kunnen verbeteren deed al opgang aan het begin van de zeventiende eeuw. Francis Bacon (1561-1626), een Engelse filosoof en staatsman, wordt beschouwd als katalysator van dat idee. Hij brengt zijn aspiraties en idealen tot uitdrukking in *The New Atlantis* – dat hij schreef in 1623 en dat werd gedrukt in 1627, een jaar na zijn dood. Deze roman beschrijft een utopisch eiland in de buurt van Peru dat wordt ontdekt door gestrande Europese zeevaarders. Het is een soort paradijs, maar dan één waar mensen samenleven in een ideale maatschappij en waar het menselijke leven aangenaam is dankzij allerlei technologie die destijds op geen stukken na was uitgevonden. De zeelieden krijgen er een rondleiding door het Huis van Salomon, dat 'tot doel heeft kennis van de oorzaken en geheime bewegingen der dingen te brengen en de grenzen van het menselijk rijk te verbreden om alle mogelijke dingen tot stand te brengen'. Het huis is dus een soort voorafspiegeling van de tegenwoordige universiteiten waar, onderverdeeld in disciplines, met behulp van experimenten nieuwe technieken worden uitgevonden.

Bacon toont in die roman zijn hoge verwachtingen van wetenschappelijk onderzoek en wat dit de mensen zou brengen, en als we de wereld van nu vergelijken met die waarin Bacon leefde, dan is een deel van zijn utopie inderdaad werkelijkheid geworden. Dat wetenschap en techniek ook heel nieuwe, mensen bedreigende problemen met zich mee zou brengen, voorzag hij niet. Zou hij die wel hebben voorzien, dan had hij waarschijnlijk geloofd dat ook die problemen met wetenschap en technologische benaderd moeten worden. Bacon's denkwijze lijkt in die zin op die van moderne mensen. Wat hij ook niet heeft voorzien is dat de werkelijkheid waarin we leven door wetenschap en technologie veel complexer is geworden, en daardoor de problemen waar we voor staan eveneens.

Hoe we grote maatschappelijke problemen met behulp van wetenschappelijke kennis moeten oplossen is niet altijd even duidelijk. Geaccepteerde wetenschappelijke methoden, waar ook Francis Bacon zijn bijdrage aan leverde – hij introduceerde het idee dat experimenteren belangrijk is – zijn niet eenvoudig bruikbare gereedschappen voor het oplossen van een probleem, daar moet je echt mee leren werken. Eén van de aller-lastigste kanten van

wetenschappelijk onderzoek is hoe samenhang tussen verschillende disciplines kan worden aangebracht om zodoende met behulp van het beste dat we hebben complexe problemen te kunnen aanpakken. Het doel van deze module was om vanuit dat perspectief beter te begrijpen hoe wetenschap werkt.

### *De technologische samenleving*

Wat doet wetenschap met de werkelijkheid? De wetenschap-technologische denkwijze die aan het begin van de zeventiende eeuw door mensen als Bacon werd geïntroduceerd, heeft grote veranderingen teweeg gebracht, niet alleen in hoe onze wereld eruit ziet, maar ook in hoe we over die wereld denken. In 1964 schreef de Franse filosoof en theoloog Jacques Ellul een boek dat later werd vertaald onder de titel *The Technological Society*. In dit boek en ook in zijn latere werk kapittelt Ellul wat hij de ‘technologisering’ van de samenleving noemt. De technologische samenleving tekent zich volgens hem niet in de eerste plaats af door de toenemende aanwezigheid van technische objecten zoals auto’s, vliegtuigen, computers en telefoons waarzonder we ons het dagelijks leven bijna niet meer kunnen voorstellen, maar vooral door de manier waarop mensen de samenleving organiseren. In de technologische samenleving is efficiency volgens Ellul een doel op zichzelf geworden waar ons denken en handelen op is afgestemd en waarin weinig ruimte meer is voor ‘natuurlijkheid’ of menselijke maat. Ellul was bezorgd en somber over deze ontwikkeling: het zou leiden tot een onmenselijke samenleving. Overal heeft rationalisatie en schaalvergroting van zowel sociale als technologische processen plaatsgevonden. Geen mens, geen bedrijf, geen industrie, geen institutie of organisatie ontkwam daaraan. Het is echter de vraag of deze ontwikkeling zonder meer tot het verlies van humaniteit heeft geleid zoals Ellul dacht – misschien is het eerder zo dat sommige kanten van ons leven humaner zijn geworden terwijl andere kanten verlies hebben geleden.

### *Ontwerpde wetenschappen*

Wetenschappelijk onderzoek speelt een hoofdrol in deze maatschappelijke en culturele ontwikkeling die ertoe heeft geleid dat we nu volop leven in een technologische samenleving. Niet alleen door de aanwezigheid van materiële techniek, maar ook door de rationele manier waarop allerlei instanties in de samenleving tegenwoordig worden ‘gemanaged’. Het onderzoek aan de Universiteit Twente is er zelfs bijna helemaal op afgestemd. Veel van het onderzoek is gericht op steeds verdergaande rationalisering van zowel fysisch-technologische processen als van sociale processen, en de afstemming daartussen. Dit wetenschappelijk onderzoek gebeurt in twee zuilen die traditioneel bèta en de gammawetenschappen worden genoemd, maar de aanpak is allesbehalve traditioneel: zowel de technische als de sociale wetenschappen profileren zich als *ontwerpde wetenschappen*. Ontwerpde wetenschappen zijn niet wetenschappelijk in de traditionele zin, namelijk gericht op het ontdekken van universele waarheid, d.w.z. op het vinden van universeel ware kennis over een natuur die ordelijk en onveranderlijk zou liggen achter of onder de chaotische wereld die we om ons heen zien. Veel meer dan op kennis om te weten richten ontwerpde wetenschappen zich op kennis om er problemen mee te kunnen oplossen. Kennis wordt *gemaakt* om te kunnen *veranderen, in te grijpen, te controleren en te creëren*. Door deze ontwikkeling heeft wetenschap haar romantische karakter verloren waar ook iemand als Ellul nog aan hechtte: wetenschap leidt ons niet naar een hogere wereld waar alles goed en harmonisch en ordelijk is, maar, veel prozaïscher, naar grote en kleine problemen waar mensen in het alledaagse leven, hier en nu mee te maken hebben.

## *Twee beelden van wetenschap*

Wat zegt wetenschap over de werkelijkheid? Twee tegenstrijdige beelden strijden om de voorrang. Aan de ene kant wordt wetenschappelijke kennis vaak gezien als een soort afspiegeling, een *representatie* van de ware werkelijkheid *achter* het gewone alledaagse en waarneembare. In die opvatting beschrijft wetenschap dus eigenlijk een soort Platoonse werkelijkheid. Die werkelijkheid wordt in wetenschap ‘ontdekt’, en wat zich daar bevindt en afspeelt is verantwoordelijk voor alles wat er in de waarneembare werkelijkheid om ons heen gebeurt. De technische term voor deze opvatting is *wetenschappelijk realisme*. Aanhangers van het wetenschappelijk realisme geloven bijvoorbeeld dat de natuurwetten zelfstandig bestaan in die niet-waarneembare wereld en alles wat er in de waarneembare werkelijkheid gebeurt sturen en determineren. In die ‘realistische’ opvatting is wetenschappelijke kennis onafhankelijk van hoe mensen denken (d.w.z. van het menselijke kenvermogen) en evenmin van welke epistemische (cognitieve) doelen mensen nastreven.

Hiertegenover staat het beeld dat wetenschappelijke kennis een menselijke constructie is: kennis komt niet tot stand door het ‘ontdekken’ van de wereld achter het waarneembare, maar doordat mensen structuur aanbrenge(n) in alles wat ze waarnemen. Kennis wordt eerder uitgevonden dan ontdekt. Dit betekent natuurlijk niet dat de wereld door ons wordt gemaakt. Wat wordt gemaakt is onze kennis van die wereld. Wetenschappelijk onderzoekers postulere(n) een structuur die past bij wat ze waarnemen. De Euclidische meetkunde is een voorbeeld van zo’n structuur, maar ook de wetten van Newton of Einstein. Wat mensen waarnemen en ervaren van de wereld wordt door hen ‘in het gelid gezet’ – niet de wereld, maar de kennis ervan. Voor deze opvatting bestaan meerdere technische termen – één ervan is *constructief empiricisme*. In die ‘constructivistische’ opvatting ontstaat wetenschappelijke kennis uit de wisselwerking tussen de wereld die we waarnemen en het menselijke denken (het ‘kenvermogen’) dat door het maken van kennis probeert samenhang en orde aan te brengen in die chaotische hoeveelheid indrukken. Een ‘denkende machine’ zou dit waarschijnlijk heel anders kunnen doen: denkende machines kunnen misschien zoveel informatie opslaan en zo snel rekenen dat ze zelfs geen structuren nodig hebben om efficiënt te ‘denken’.

Gewoonlijk gebeurt het aanbrenge(n) van orde en structuur niet zomaar in het wilde weg. Allereerst wordt het geleid door het menselijke kenvermogen, dat bijvoorbeeld wil kunnen tellen of wiskundige structuren wil aanbrenge(n) (denk maar aan Newton en Einstein), of taxonomieën aanbrengt zoals Linnaeus en Darwin, of op zoek gaat naar fundamentele bouwstenen van de werkelijkheid zoals de onderzoekers van CERN; weer een andere mogelijkheid is om statistische wetmatigheden aan te brengen zoals veel gebeurt in de sociale wetenschappen. Vervolgens wordt de manier waarop onderzoekers orde en structuur aanbrenge(n) ook geleid vanuit een bepaald perspectief, zoals het perspectief van de fysicus of chemicus of bioloog. Ieder heeft oog voor andere zaken, en ieder heeft een ander raamwerk dat bestaat uit typen van objecten en processen die moeten verklaren wat ze zien. De fysicus zoekt bijvoorbeeld verklaringen in termen van elementaire deeltjes en krachten of velden, de chemicus in atomen en interacties daartussen, de bioloog in organismen die zich voortplanten en in interactie met hun omgeving staan.

Het tweede beeld van wetenschap is in de afgelopen vijftig jaar steeds dominanter geworden, op het ridicule af. Het geloof dat wetenschap toegang geeft tot een soort universele waarheid onafhankelijk van het menselijke kenvermogen wordt steeds sterker vervangen door het geloof dat wetenschap een vorm van menselijke belangenstrijd is.

## *Dichotomieën*

Wetenschap lijkt dus op twee manieren verlies te hebben geleden. Enerzijds heeft wetenschap zelf haar verheven karakter verloren omdat absolute waarheid voor mensen niet haalbaar lijkt, anderzijds zou volgens mensen als Ellul de door het wetenschappelijke denken gedreven rationalisering, zowel van fysisch-technische processen als van sociale processen, tot verlies van ‘natuurlijkheid’ en ‘ontmenselijking’ van de samenleving hebben geleid.

Een Hollands orakel beweert dat aan ieder verlies ook winst kleeft en daar wil ik het nu over hebben. Mijn punt zal zijn dat in wetenschap mensen de grenzen zoeken van hun intellectuele kunnen, en dat dit één van de redenen is waarom we wetenschap nog steeds kunnen beschouwen als een grootse en in bepaalde opzichten bovenmenselijke activiteit. Dat te tonen en het zich eigen laten maken is één van de didactische doelen van het onderdeel *Wetenschap in Praktijk*.

Eén van de valkuilen waardoor de winst van het tweede beeld van wetenschap soms niet wordt gezien is de hardnekkigheid van bepaalde dichotomieën, zoals, ‘wetenschap is objectief óf subjectief’, ‘wetenschap is vrij van morele waarden of juist niet’, en ‘wetenschappelijke kennis is waar óf sociaal geconstrueerd’. Zulke dichotomieën sturen ons denken. De controversen die daardoor ontstaan los je gewoonlijk niet op door één van de twee te laten winnen: de andere steekt namelijk altijd de kop wel weer op. Naar believen nu eens de ene en dan eens de andere te kiezen is evenmin een bevredigende oplossing. Om de grootheid en waarde van wetenschap te kunnen zien is het misschien beter om de traditionele waarden van objectiviteit en universele waarheid die tot deze dichotomieën leiden even tussen haakjes te plaatsen. Daardoor kunnen dan opeens heel andere waarden van wetenschap naar voren komen. Traditioneel werd die houding gekenmerkt door de zoektocht naar universele waarheid – we hoeven maar te denken aan mensen als Newton en Einstein. In het gewijzigde beeld van wetenschap moet daar een andere houding voor in de plaats komen. Het leren wat die nieuwe waarden van wetenschap zijn en hoe ze doorwerken in het doen van wetenschap is een van de achtergronden geweest voor de opzet van mijn module.

## *Weten*

Traditionele waarden zitten vaak zo diep geworteld in ons denken dat je ze niet maar eventjes opzij kunt zetten –meestal merk je zelfs niet eens dát ze je denken sturen. Toch zijn ze goed te herkennen in reacties op grote vraagstukken, zoals de (vermeende) klimaatverandering die door toegenomen menselijke uitstoot van broeikasgassen in gang zou zijn gezet. De informatie daarover is chaotisch, veelvormig en vaak tegenstrijdig. In de beoordeling daarvan zie je al snel dat mensen worden geleid door de genoemde dichotomieën en heen en weer hinken tussen de twee verschillende beelden van wetenschap. De meeste mensen willen allereerst weten of het waar is wat over klimaatverandering en de gevolgen daarvan wordt beweerd. Sommigen geloven dat wetenschap dit inderdaad heeft aangetoond, terwijl anderen zeggen dat wetenschappers het daar nog helemaal niet over eens zijn en zij het dus niet geloven, terwijl een derde partij denkt zich daarom te moeten onthouden van een mening. Daarnaast is een veel gehoorde opvatting dat geloven in de klimaatverandering vooral een politieke keuze is, zelfs van de betrokken wetenschappers. Deze reacties passen in het beeld dat wetenschappelijke kennis ofwel waar is, objectief en vrij van waarden, ofwel sociaal geconstrueerd, subjectief en gedreven door politieke belangen. Het tweede is naar mijn idee een bijzonder slecht alternatief voor de traditionele waarden, ook al zijn die op hun beurt ook niet goed houdbaar.

## *Epistemische verantwoordelijkheid*

Wat moet je met zo'n situatie? Op dit punt heb ik de notie *epistemische verantwoordelijkheid* geïntroduceerd. Van het schema objectief-subjectief naar een term die beide omvat onder één noemer en daardoor een *contradictio in terminis* lijkt uit te drukken? Want kennis (*epistême*) is toch vooral objectief, en verantwoordelijkheid vooral subjectief? Epistemische verantwoordelijkheid behelst ruwweg het idee dat je ten aanzien van problemen die jou op een of andere manier aangaan, bijvoorbeeld als wetenschappelijk onderzoeker maar ook als academisch opgeleide burger, verantwoordelijkheid draagt voor je eigen opvattingen. Allicht! Goed, maar wat betekent dat precies en hoe neem je die verantwoordelijkheid? Het betekent bijvoorbeeld dat je ervoor zorgt kennis te verwerven die relevant is voor het probleem. Ook als wetenschap geen uitsluitsel geeft, zal iemand zich toch zo goed mogelijk moeten informeren over hoe het klimaatprobleem in elkaar zit om zodoende een opvatting te kunnen vormen. Dus te zeggen: 'wetenschappers zijn het niet eens, dus ik hoef er geen oordeel over te hebben' past goed in het traditionele beeld van wetenschap als waarheidsgever, maar klopt niet als wetenschap niet zo werkt. Als we het niet *weten*, is het zo goed mogelijk *begrijpen* het hoogst haalbare. Begrip en inzicht verwerven in zulke lastige zaken is een verantwoordelijkheid die vooral op de schouder van de betrokken wetenschappelijk onderzoekers rust, maar ook op die van academisch opgeleide burgers. Epistemische verantwoordelijkheid gaat dus over de plicht die we hebben om een oordeel te vormen en over de manier waarop. Wetenschap is daarmee niet in de eerste plaats het genereren van objectieve dan wel subjectieve kennis, maar eerder het streven naar het beste waartoe mensen intellectueel in staat zijn.

## *Wetenschappelijk redeneren*

Hoe verwerf je relevante kennis en hoe vorm je daaruit een eigen oordeel? Door de overvloed aan beschikbare informatie, die dankzij Google met een druk op de knop zomaar over ons beeldscherm komt rollen, lijkt één van de belangrijkste intellectuele vermogens van mensen onder te sneeuwen, namelijk het wetenschappelijk redeneren. Wetenschappelijk redeneren is iets anders dan het verzamelen en ordelijk onder elkaar plaatsen van gevonden informatie. Om ermee te kunnen denken en redeneren moet je die informatie ook begrijpen.

Bij het je alleen maar door Google laten informeren speelt bovendien een ander gevaar, namelijk het idee dat alles wat geschreven is ook waar zou zijn. Francis Bacon zou zich hebben omgedraaid in zijn graf. Dat was precies waar hij mensen van probeerde af te brengen, namelijk alles te geloven wat ze lezen, zonder daar zelf kritisch over na te denken. Mensen moeten ook niet voetstoots alles wat gezegd wordt simpelweg geloven op basis van het gezag dat iemand heeft, of op basis van een eerlijk gezicht. Voordat ze iets geloven moeten ze zich afvragen welke feiten en welke argumenten er eigenlijk aan het beweerde ten grondslag zouden kunnen liggen. Als je die argumentatie kunt volgen ben je al een heel eind in het begrijpen gevorderd. Dat is ruwweg wat met wetenschappelijk redeneren wordt bereikt: een bewering moet worden onderbouwd met een deugdelijke argumentatie. Daardoor ga je die bewering ook pas goed begrijpen en kun je op niveau gaan meedenken. In dit onderdeel hebben we daar flink op geoefend door argumentaties 'achter' beweringen of verhalen over klimaatverandering te *reconstrueren*. Dat is hard werken: Je moet relevante feiten verzamelen maar ook uitzoeken hoe die feiten gemaakt zijn. Daarvoor moet je iets begrijpen van wetenschappelijke methoden en van wat wetenschap wel en niet kan bewijzen. En verder moet je kunnen analyseren hoe een argumentatie kan worden opgebouwd. Op die manier kun

je uiteindelijk veel beter onderzoeken waar de zwakke plekken zitten in de gepostuleerde kennis, en zo beter je eigen mening erover vormen. Het is een heel belangrijke manier om wetenschap in praktijk te brengen.

### *Wetenschappelijke disciplines*

Als eindopdracht van deze module hebben alle studenten een analyse gemaakt van wetenschappelijk onderzoek binnen hun eigen discipline naar een deelprobleem van het klimaatprobleem. Belangrijk was om te leren dat, ook in de context van een groot maatschappelijk probleem, wetenschappelijke disciplines verschillende objecten of processen kiezen om te onderzoeken. Door de gevarieerdheid van de studierichtingen van de studenten – van technische natuurkunde tot bestuurskunde, en van psychologie tot Europese studies – kwam dit gegeven heel goed naar voren in deze cursus. Onderzoeken hoe temperatuur en broeikasgasconcentraties nu en in het verleden kunnen worden gemeten, en hoe opwarming ten gevolge van broeikasgassen werkt behoort tot fysisch-chemische disciplines. Onderzoek van de effecten van temperatuurverandering op planten en dieren is het domein van de biologie en de ecologie. Onderzoeken hoe de uitstoot van broeikasgassen verminderd kan worden, of hoe het kan worden opgevangen en opgeslagen is het domein van de chemische technologie en werktuigbouwkunde. Onderzoek naar de effecten van overstromingen en hoe die te voorkomen van de civiele techniek. Onderzoeken van de redenen waarom mensen de risico's van dit soort problemen al dan niet serieus nemen, en onder welke voorwaarden mensen bepaalde maatregelen zullen accepteren, behoort tot de psychologie. Onderzoeken of onderhandelingen op wereldschaal tot gewenste resultaten kunnen leiden is het domein van de politicologie en economie. Studenten kozen een of twee wetenschappelijke publicaties voor deze analyse. Doel van die analyse was niet primair bedoeld om de conclusies te weten te komen, maar om uit te zoeken *hoe* zulk onderzoek wordt gedaan en hoe de conclusie is onderbouwd.

### *Wetenschappelijk modelleren*

Een van de basisideeën van de module *Wetenschap in Praktijk* is dat wetenschappelijke kennis weliswaar over de werkelijkheid gaat, maar tegelijkertijd past bij en zelfs geleid wordt door het menselijke kenvermogen. Het gaat dus uit van het tweede beeld van wetenschap zoals eerder werd geschetst. Vanuit dat beeld is het plausibel dat alle wetenschappen die in algemene zin het begrijpen van processen in de werkelijkheid als epistemisch doel hebben, wel wat op elkaar zullen lijken. Niet omdat de werkelijkheid in alle geledingen dezelfde structuur zou hebben, maar omdat het menselijke kennen waarschijnlijk een beperkt aantal manieren heeft om waarnemingen en ervaringen van de werkelijkheid 'in het gelid te zetten'. Dit moet dan ook nog zo gebeuren dat die kennis vervolgens bruikbaar is in het wetenschappelijk redeneren over de werkelijkheid.

Dit beeld is handen en voeten gegeven door te stellen dat het soort wetenschappelijk onderzoek waar we het hier over hebben vaak als doel heeft *wetenschappelijke modellen* (voor processen of verschijnselen, objecten, eigenschappen, etc) te maken. Om te beginnen representeren die modellen de structuur die onderzoekers hebben aangebracht over dat deel van de werkelijkheid waar zij zich mee bezighouden en die gericht is op hun specifieke epistemische doelen, bijvoorbeeld om bepaalde processen te begrijpen zodat je ze kunt creëren of controleren. Vervolgens worden die modellen gebruikt als epistemisch gereedschap om mee te kunnen redeneren over die processen, bijvoorbeeld over *hoe* je ze zou kunnen

creëren of controleren. Dat is de manier waarop wetenschappelijke kennis zowel gaat passen op de werkelijkheid alsook bij ons kenvermogen.

Deze manier van denken over hoe wetenschappelijke kennis wordt gemaakt geeft een belangrijk aanknopingspunt om wetenschappelijke publicaties te kunnen ontrafelen. Uitgangspunt is dat die publicaties heel vaak (niet altijd!) kunnen worden opgevat als beschrijving van een model en van hoe dat model is gemaakt. Vervolgens is het zaak om te weten te komen voor welk *fenomeen*, dat wil zeggen, voor welk proces of verschijnsel het is gemaakt. Vaak gaat het om een klein onderdeel van de algemene context waarbinnen het onderzoek wordt gedaan. Zo gaat een artikel over de installatie die energie uit golven wint misschien alleen maar over het probleem van de verandering van de wrijvingscoëfficiënt door aangroei van schelpen en algen op de bladen. Het fenomeen waar het model voor is gemaakt is dan de verandering van de wrijvingscoëfficiënt, of de aangroei van schelpen en algen op een bepaald type oppervlak. Op zo'n gedetailleerd niveau willen uitzoeken welk fenomeen er wordt onderzocht is belangrijk voor een wetenschappelijke houding en voorkomt bovendien verkeerde verwachtingen over wat het artikel oplevert – wat wetenschappelijk onderzoek vermag is vaak veel bescheidener dan we soms verwachten.

Ook moet je erachter zien te komen wat het epistemische doel van het model is: wilden de onderzoekers alleen een goede wiskundige beschrijving van de wrijvingscoëfficiënt als functie van een paar meetbare parameters, of wilden ze die verandering op een causaal-mechanistische manier begrijpen? En voor welke toepassingen willen ze het model kunnen gebruiken? Bijvoorbeeld, om na te kunnen denken over aanpassingen aan de bladen, of om te kunnen voorspellen hoe de efficiëntie van de installatie zal veranderen in het gebruik, of om uit te kunnen rekenen hoeveel het onderhoud zal gaan kosten.

Een model wordt nooit vanaf de grond af aan opgebouwd. Iedere onderzoeker staat op de schouders van anderen en gebruikt beschikbare theoretische en empirische kennis. Begrijpen hoe het model is gemaakt betekent achterhalen welke kennis daarvoor werd gebruikt. Dit is een van de punten waar onderzoekers onderling kritisch kunnen zijn: heb je wel de juiste achtergrondkennis gebruikt. Het is ook een van de aspecten waar inter- of multidisciplinariteit aan het licht kan komen, namelijk als er kennis uit andere disciplines wordt geïntroduceerd voor het bouwen van het model. Belangrijk is ook dat tijdens het maken van een model altijd aannames of vereenvoudigingen worden gemaakt. Welke zijn dat, en welke gevolgen heeft dat voor de epistemische doelen?

Verder is het behulpzaam om uit te zoeken wat de vorm is van het model: is het een wiskundig model dat is gebaseerd op fundamentele wetten, of is het een causaal-mechanistisch model dat is gebaseerd op meer elementaire fenomenen of entiteiten en hun gedrag (zoals stromingsgedrag op micro-niveaus; het gedrag van atomen en moleculen; basale emoties of drijfveren van mensen of dieren, etc)? Is het model theoretisch, fenomenologisch, statistisch? Gaat het model vooral om de introductie van nieuwe concepten zoals 'survival of the fittest', 'bruto nationaal product', 'evidence based medicine', 'sociale angst', of 'ecologische voetafdruk'. De vorm van het model hangt eveneens samen met de epistemische doelen. Op basis van een wiskundig model kunnen computersimulaties worden gedaan, met causaal-mechanistische modellen kun je beter zelf nadenken over hoe je op een proces kunt ingrijpen, en met statistische modellen kan een overheid, verzekeringsmaatschappij of bank weer beter uit de voeten. De specifieke vorm van het model laat enerzijds bepaald gebruik toe en begrenst het anderzijds: je kunt er mee rekenen of je kunt het gebruiken om een ontwerp te

maken. Dat is precies wat epistemisch gereedschap hoort te doen: een wetenschappelijk model leidt ons denken langs bepaalde lijnen en niet in het wilde weg.

Een wetenschappelijk model lijkt vervolgens behoorlijk losgezongen te zijn van de werkelijkheid. Tijdens het doen van onderzoek wordt het model vaak zelfs meer werkelijk dan de werkelijkheid zelf: onderzoekers gaan steeds meer denken binnen de begrenzings van het model, waarbij het model bepaalde manieren van redeneren toelaat (zoals wiskundig, causaal, statistisch) en andere niet. Dat is de manier waarop een model een epistemisch gereedschap wordt waarmee onderzoekers kunnen denken en redeneren over het fenomeen. Maar het is belangrijk om na te gaan op welke manier het model dan nog aan de werkelijkheid is gekoppeld. Daarin spelen meetbare parameters een belangrijke rol. Zij vormen als het ware de brug tussen het model en de werkelijkheid.

Tenslotte moeten we zien te achterhalen hoe een model door de onderzoekers wordt gerechtvaardigd. In het realistische beeld van wetenschap wordt het model als een soort afspiegeling van de werkelijkheid beschouwd, en om de waarheid van het model te bewijzen zou je dus moeten bewijzen dat de wereld achter het waarneembare echt is zoals het model beschrijft. Dat is lastig, zo niet ondoenlijk. Het andere, meer menselijke beeld van wetenschap vraagt niet het onmogelijke, maar is nog steeds behoorlijk veeleisend. Daar moet het model namelijk aan de gestelde epistemische doelen beantwoorden en geschikt zijn als een betrouwbaar, goed werkend gereedschap. Een deel van die rechtvaardiging zit al in de manier waarop het model is gebouwd. Daarom is het ook zo belangrijk na te gaan welke aannames er zijn gemaakt, of de juiste theoretische en empirische kennis is toegepast, en waar het model wel of juist niet voor mag worden gebruikt.

Als we een wetenschappelijk artikel op deze manier analyseren, begrijpen we gewoonlijk een stuk meer dan wanneer we ons vooral op de uitkomsten en conclusies zouden richten. Jezelf bij voorkeur op de conclusies richten past goed bij het eerste beeld van wetenschap want conclusies van het onderzoek zouden dan vertellen hoe de wereld is; hoe onderzoekers daarbij komen is bij ware conclusies niet meer belangrijk. In het tweede beeld van wetenschap is dat wel belangrijk, daar moet je achterhalen hoe en waarom kennis is gemaakt om te kunnen begrijpen wat ze waard is.

Door deze benadering wordt meer bereikt dan op het eerste gezicht lijkt. Wat in feite geleerd wordt is het zien van een algemene structuur in wetenschap zelf. Door deze aanpak krijgen studenten een conceptueel gereedschap in handen waarmee ze niet alleen artikelen kunnen begrijpen in de eigen discipline, maar ook uit andere. Het is een gereedschap om op een intelligente en zinvolle manier vragen te kunnen stellen aan deskundigen in andere wetenschappelijke domeinen. Dat is naar mijn idee een fundamentele basis voor het kunnen doen van multi- en interdisciplinair onderzoek dat zo belangrijk is voor een wetenschappelijke aanpak van grote maatschappelijke problemen.

### *Intellectuele uitdagingen*

Het is vreemd te bedenken dat moderne wetenschap zich het grootste deel van zijn geschiedenis heeft moeten verdedigen tegenover een wetenschapsvijandige houding. Bijna nooit werd wetenschap van harte omarmd. De rooms-katholieke kerk, stromingen van de Romantiek, de flower-power en milieubeweging, de klassieke techniekfilosofie zoals vertegenwoordigd door Ellul, en moderne stromingen zoals *science, technology and society* verzetten zich ertegen of proberen wetenschap te devalueren. De achterliggende ideeën voor

*Wetenschap in Praktijk* beogen tegen zulke tendensen in te gaan door zowel de grootheid als de menselijkheid van wetenschap te laten zien, en daar ook een concrete vorm aan te geven. In het traditionele beeld bestond die grootheid in het vinden van universele waarheid, terwijl je volgens een meer adequaat beeld kunt stellen dat die grootheid zit in wetenschap als een menselijke activiteit die erop is gericht de wereld te begrijpen en erop te kunnen ingrijpen om bijvoorbeeld leefomstandigheden te verbeteren, en waarbij onderzoekers steeds de grenzen zoeken van hun intellectuele kunnen. Als alternatief voor de traditionele waarden, namelijk universele waarheid en objectiviteit, wordt een aantal nieuwe waarden van wetenschap geïntroduceerd. Die nieuwe waarden gaan niet meer over de aard van kennis maar over de vermogens en kwaliteiten van onderzoekers, zoals *epistemische verantwoordelijkheid*, *wetenschappelijk redeneren*, en *wetenschappelijk modelleren*, die alle drie de grenzen van het intellectuele kunnen doorlopend op de proef stellen.

## Literatuur

- Boon M. 1999 *Filosofische beelden in wetenschap: De relatie tussen ethiek en methodologie in toegepast wetenschappelijke onderzoek*. Uitgeverij Eburon, Delft. ISBN 90-5166-740-X, 68 p.
- Boon, M. 2006. *How Science is applied in Technology*. International Studies in the Philosophy of Science. **20**(1): 27-47.
- Boon, M. 2007. Boekbespreking: *Snippers in ons hoofd*. Bespreking van: Kwa, Chunglin, *De ontdekking van het weten: een andere geschiedenis van wetenschap*. Filosofie en Praktijk, jrg. 28, **2**: 54-58.
- Boon, M. (2008). *Diagrammatic models in the engineering sciences*. Foundations of Science. **13**: 127-142.
- Boon, M. and T.T. Knuuttila (2009). *Models as Epistemic Tools in Engineering Sciences: A Pragmatic Approach*. in: Handbook of the Philosophy of Science. Volume 9: Philosophy of Technology and Engineering, Anthonie Meijers (ed.), Amsterdam, Elsevier Science: 687-720.
- Boon, M. (forthcoming). *Understanding according to the Engineering Sciences: Interpretative Structures*. in: Scientific Understanding: Philosophical Perspectives. Henk W. de Regt, Sabina Leonelli, and Kai Eigner (eds.) Pittsburgh, Pittsburgh University Press.