

DRAFT (d.d. April. 2003). This article has been published. Please refer to: Boon, M. 2003. *Filosofie van ingenieurswetenschappen*. ANTW, **95** (Algemeen Nederlands tijdschrift voor wijsbegeerte). jrg.95, **3**: 190-198.

FILOSOFIE VAN DE INGENIEURSWETENSCHAPPEN

MIEKE BOON

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

Email: m.boon@utwente.nl.

Als VWO-leerlinge, 25 jaar geleden, was ik gefascineerd door de natuurwetenschappen. Ik was verbaasd over het idee dat achter de waarneembare veelheid en complexiteit van verschijnselen kennelijk zo'n eenvoudige, met behulp van wetten beschrijfbaar orde schuil gaat. Ook was ik geboeid door techniek - het idee zelf dingen te creëren door gebruik te maken van diezelfde eenvoudige wetten. Na jaren van wetenschappelijk onderzoek in de chemische technologie ben ik in de gelegenheid gesteld om op een meer filosofisch niveau de rol van wetenschap in technologie te onderzoeken. Dit dank zij de toekenning van een VIDI-beurs door NWO voor mijn project 'filosofie van de ingenieurswetenschappen'.

1. Een voorbeeld

In april 1998 brak als gevolg van dagenlange zware regenval een wal van een reservoir bij de Aznacollar-mijn in Zuid Spanje. Enige miljoenen tonnen smurrie, met daarin zware metalen en andere giftige chemicaliën, stroomden naar het beschermde natuurgebied Coto Doñana. In het voor- en najaar is dit brakke moerasgebied een rustplaats voor trekvogels op hun tocht naar Afrika, en in de lente is het een belangrijk broedgebied voor zeldzame soorten. Langdurige aanwezigheid van toxische metaalverbindingen zou tot een ecologische catastrofe in dit gebied kunnen leiden. Een probleem van zware metalen is dat ze niet, zoals dat met de meeste verontreinigingen wel het geval is, kunnen verdwijnen door een of andere chemische of biologische afbraakreactie. De giftige metalen komen in een cyclus terecht waarbij ze worden omgezet in andere metaalverbindingen, maar lood blijft daarbij lood en cadmium blijft cadmium. Dit heeft accumulatie in planten, bodemdieren, vissen en vogels tot gevolg. Daarom moeten de giftige metalen op de een of andere manier uit het milieu worden verwijderd. Het is duidelijk dat hiervoor technologische middelen nodig zijn. De Spaanse regering besloot om een conferentie te organiseren waarvoor ongeveer 50 wetenschappelijke experts werden uitgenodigd, waaronder ik als deskundige in de biohydrometallurgie¹. Doel van deze conferentie was inzicht te krijgen in de mogelijke gevolgen van en technologische oplossingen voor deze milieuramp. Vanuit een technologisch gezichtspunt bestaat het brakke moerasgebied uit een aantal componenten, zoals grond waaraan de verbindingen adsorberen, water dat de metaalverbindingen transporteert, en lucht die zorgt voor aan- en afvoer van bijvoorbeeld zuurstof en kooldioxide. Maar ook is er sprake van allerlei

¹ Biohydrometallurgie houdt zich bezig met de interactie tussen micro-organismen en metalen: bio staat voor de activiteit van micro-organismen, metallurgie voor de bewerking van metalen, hydro betekent dat de interactie plaats vindt in een waterig milieu.

organische en anorganische stoffen waarmee de metalen complexe verbindingen kunnen aangaan. Daarnaast zijn er dan nog honderden soorten micro-organismen die in staat zijn om specifieke chemische verbindingen om te zetten in andere chemische stoffen. Om nu een technologie te kunnen ontwikkelen waarmee de optredende processen gemanipuleerd kunnen worden, moet een ingenieur weten wat er in de loop van de tijd met metaalverbindingen in dit milieu gebeurt. Een ingenieur zoekt naar kennis over de relevante chemische en biologische processen die ervoor zorgen dat de metalen worden omgezet in andere verbindingen, en van de fysische processen waardoor de metaalverbindingen zich in het milieu verspreiden. Belangrijk is daarbij te bedenken dat een ingenieur niet alleen wil weten wat er gebeurt, maar ook hoe snel een proces zich onder bepaalde chemische en fysische condities afspeelt.²

Deze opsomming overziende wordt duidelijk dat een aantal wetenschappelijke disciplines relevant zijn voor problemen die ingenieurs moeten gaan oplossen, zoals organische en anorganische chemie, electrochemie, microbiologie, toxicologie en hydrodynamica. In een naïeve voorstelling van zaken kan beschikbare wetenschappelijke kennis uit deze disciplines worden toegepast voor de ontwikkeling van technologie. Volgens dit beeld kunnen wetenschappelijke theorieën uit deze zogenaamde 'basis' of 'fundamentele' natuurwetenschappen op een of andere manier eenvoudig worden aangepast en samengevoegd voor het beschrijven van natuurlijke systemen of technologische artefacten.³ Er zijn verschillende redenen op grond waarvan deze visie niet te verdedigen is. Een belangrijke reden is dat deze wetenschappelijke kennis vaak gebaseerd is op laboratoriumexperimenten met geïdealiseerde systemen. In een geïdealiseerd systeem zijn zoveel mogelijk factoren die invloed kunnen hebben op het te onderzoeken verschijnsel uitgeschakeld. De zo verkregen kennis kan meestal niet zonder meer worden 'vertaald' naar systemen in de 'echte' wereld omdat niet duidelijk is hoe de invloed van de uitgeschakelde factoren zal zijn.⁴ Dit betekent dat voor veel technologische problemen deze 'fundamentele' wetenschappelijke kennis niet direct bruikbaar is. Bovendien moet passende wetenschappelijke kennis ontwikkeld worden in andere modelsystemen dan in de bestaande natuurwetenschappen voorhanden is.

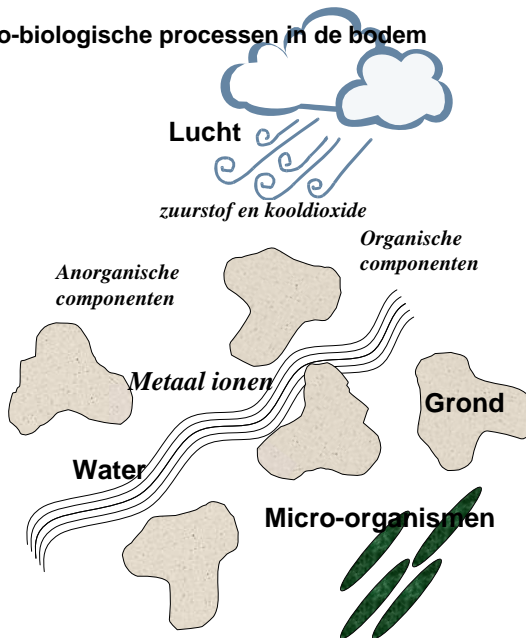
² Dit wordt de *kinetiek* van chemische en biologische omzettingen genoemd.

³ Met het begrip 'fundamentele' wetenschap wordt in de wetenschapsfilosofie meestal naar de theoretische natuurkunde verwezen, terwijl in de techniekfilosofie met 'fundamenteel' de 'basiswetenschappen' worden bedoeld zoals thermodynamica, (an)organische chemie, biochemie, etc. In dit artikel gebruik ik 'fundamenteel' in deze tweede betekenis.

⁴ In relatie tot het geschetste voorbeeld valt te denken aan fundamentele kennis van een bepaald micro-organisme. Stel dat een microbioloog heeft uitgevonden dat er een bepaalde bacterie is die onder laboratoriumcondities in staat is een giftige stof af te breken. De microbioloog weet ook welke enzym-systemen daarvoor verantwoordelijk zijn, welke tussenproducten worden gevormd, etc. Deze kennis is voor de ingenieur in veel gevallen belangrijk maar onvoldoende. Voor de ingenieur is het van groot belang te kunnen voorspellen (en verklaren) hoe het micro-organisme zich zal gedragen in het 'echte' systeem. Wat zijn de effecten van de daar voorkomende stoffen die in het laboratoriumexperiment niet aanwezig zijn, en wat zijn de effecten van de vaak heel andere concentraties van stoffen op de snelheid waarmee de bacterie chemische verbindingen omzet? Dergelijke vragen zijn voor de microbioloog meestal oninteressant, terwijl ze juist voor de ingenieur van het grootste belang zijn. Maar de antwoorden op deze vragen kunnen niet worden afgeleid uit bestaande natuurwetenschappelijke kennis.

Physische, chemische en micro-biologische processen in de bodem

1. Reacties met organische componenten
2. Reacties met anorganische componenten
3. Reacties met micro-organismen
4. Adsorptie en desorptie van chemische verbindingen
5. Transport van componenten in de water- en lucht fase



Figuur 1

In het ontwikkelen van passende kennis hebben onderzoekers in de ingenieurswetenschappen te kampen met een aantal valkuilen en problemen.

1. Het is verleidelijk om gebruik te maken van methoden die succesvol zijn in de natuurwetenschappen. Een dergelijke benadering leidt gewoonlijk niet tot passende kennis, maar tot kennis die 'te fundamenteel' is, dat wil zeggen, uitsluitend relevant voor het gekozen - sterk geïdealiseerde - modelstelsel.⁵
2. Integratie van kennis uit verschillende wetenschappelijke disciplines die relevant zijn voor het begrijpen van bepaalde complexe systemen is belangrijk. De wijze waarop die integratie moet plaatsvinden is echter vaak problematisch. De afzonderlijke disciplines geven hier -uiteraard- geen regels voor.⁶
3. Als gevolg van de twee genoemde problemen is het in veel gevallen gebruikelijk - en vaak ook onvermijdelijk - om door gebruik van 'trial and error' methoden een oplossing te vinden voor een technologisch probleem. Instrumentele kennis beschrijft bijvoorbeeld het waarneembare gedrag van een schaalmodel onder invloed van bepaalde manipulaties, maar geeft daar geen verklaring voor.⁷ Zo

⁵ In het geschetste voorbeeld bestaat bijvoorbeeld de verleiding om wetenschappelijke kennis binnen de genoemde wetenschappelijke disciplines verder uit te willen diepen in de veronderstelling dat dit 'vanzelf' relevante kennis oplevert voor het gestelde probleem.

⁶ Integratie van kennis uit de in het voorbeeld genoemde wetenschappelijke disciplines is meestal van belang voor het probleem, maar in veel gevallen niet mogelijk.

⁷ In het gegeven voorbeeld zou men kunnen denken aan het volgende schaalmodel: een rechtopstaande glazen kolom wordt gevuld met de vervuilde grond waar men van bovenaf water doorheen laat sijpelen dat aan de onderkant wordt afgevoerd. In het laboratorium wordt onderzocht wat het effect is van het toevoegen van bepaalde chemicaliën. Dit effect wordt vastgesteld door de concentratie zware metalen in het uitstromende water te meten. Een succesvolle oplossing is bijvoorbeeld gevonden als de metaalconcentratie in het uitstromende water verlaagd kan worden ten opzichte van een blanco situatie - waar geen chemicaliën aan de grond zijn toegevoegd. Als echter onbekend is welke processen zich in de

verkregen kennis is 'te instrumenteel' omdat ze een zeer beperkt toepassingsbereik heeft. Dergelijke kennis stelt een ingenieur namelijk niet in staat te voorspellen binnen welke grenzen - en voor welke technische systemen - ze toepasbaar is; het is immers onverklaard waarom de manipulatie werkt. Bovendien kan op grond van dergelijke kennis niet worden beoordeeld in hoeverre de - in fysisch opzicht - best mogelijke oplossing is bereikt. Kennis van onderliggende processen en mechanismen is noodzakelijk om verklaringen en voorspellingen mogelijk te maken. Zoals onder punt (1) werd geschetst is die kennis vaak niet afleidbaar uit bestaande natuurwetenschappelijke kennis.

2. Waarom een filosofie van de ingenieurswetenschappen?

Aan de hand van het voorbeeld en de hierboven geschetste problemen wordt inzichtelijk dat de bruikbaarheidseisen aan de te ontwikkelen kennis specifieke problemen met zich meebrengen voor het onderzoek dat wordt verricht. Bruikbaarheidseisen worden bijvoorbeeld ontleend aan het streven naar efficiency en effectiviteit van bepaalde technologische ingrepen (en mogelijk aan het streven naar economische haalbaarheid en sociale acceptatie van de technologie). Kennisontwikkeling richt zich in het voorbeeld bijvoorbeeld op manieren om bepaalde chemische of biologische reacties te vertragen of te versnellen, of het vergroten van de selectiviteit van die reacties. Onderzoek in de context van een ingenieursprobleem heeft daardoor in veel gevallen een sterk multidisciplinair karakter, waarbij van een gecompliceerd verband tussen de variabelen uit verschillende disciplines sprake is.

Ingenieurswetenschappen lijken daarmee in een aantal opzichten af te wijken van natuurwetenschappen. Want in tegenstelling tot de natuurwetenschappen dient de manier waarop een technologisch probleem in de ingenieurswetenschappen wordt *gemodelleerd*, geleid te worden door bruikbaarheidseisen om zodoende kennis te ontwikkelen die relevant is voor de betreffende technologie. Deze modellering is er bijvoorbeeld op gericht het artefact of natuurlijke systeem te karakteriseren in termen van voor de technologie relevante meetbare of manipuleerbare variabelen. Dit betekent dat de wijze van idealisering die in de natuurwetenschappen gebruikelijk is voor ingenieurswetenschappen vaak inadequaat is.⁸

Onder techniekfilosofen bestaan twee dominante beelden van de rol die wetenschappelijk onderzoek speelt bij het oplossen van technologische problemen. Deze voorstellingswijzen lijken ten grondslag te liggen aan de hierboven geschetste valkuilen en problemen in de ingenieurswetenschappen. Volgens de wat oudere literatuur beperkt ingenieursonderzoek zich tot het zoeken naar *direct* bruikbare kennis die beschikbaar is

grond afspelen, is ook onduidelijk wat de werking is van de toegevoegde chemische stoffen. Daardoor is bijvoorbeeld niet goed te voorspellen wat de gevolgen op langere termijn zijn, met andere woorden of de gevonden technologische oplossing ook op langere termijn een oplossing is.

⁸ Het idee dat de rol van wetenschap in technologie gekarakteriseerd kan worden door het toepassen van theorieën en wetten die ontwikkeld zijn in de 'fundamentele' natuurwetenschappen lijkt door veel wetenschapsfilosofen nog altijd geaccepteerd te worden. Dit blijkt bijvoorbeeld uit het feit dat in de meeste technische opleidingen wetenschapsfilosofie wordt gedoceerd op basis van het traditionele rijtje: Logisch Positivisme, Popper, Kuhn en Lakatos. Analyse van de genoemde problemen krijgt weinig aandacht in de bestaande filosofie van de natuurwetenschappen.

binnen de natuurwetenschappen.⁹ Door een aantal modernere auteurs wordt daarentegen verdedigd dat natuurwetenschappelijke kennis slechts *heuristisch* wordt gebruikt in het oplossen van technologische problemen.¹⁰

Bij het ontwikkelen van een filosofie van de technologie is het mijns inziens noodzakelijk zich af te vragen of deze beelden adequaat zijn voor het verduidelijken van de relatie tussen natuurwetenschap en technologie; en zo nee, of ze niet zelfs remmend werken op pogingen om de gecompliceerde werkwijzen in de ingenieurswetenschappen te verhelderen.

In die zin motiveert mijn voorbeeld de vraag of er sprake is van een domein van typische ingenieurswetenschappelijke problemen. Indien dit het geval is moet dat domein vervolgens gekarakteriseerd worden. In het vervolg van dit artikel ontwikkel ik een aantal gedachten gebaseerd op de aanname dat er een karakteristiek domein van ingenieurswetenschappen valt aan te wijzen.

Het gaat dus om de vraag wat voor soort wetenschappelijk onderzoek nodig is voor de oplossing van een technologisch probleem. De rol van wetenschap in technologie is niet goed begrepen als men veronderstelt dat het alleen zou gaan om het toepassen van reeds bestaande natuurwetenschappelijke kennis. In de ingenieurswetenschappen spelen diverse natuurwetenschappen weliswaar een belangrijke rol, maar die moet nader worden gekarakteriseerd. Ditzelfde geldt voor de methode die in de ingenieurswetenschappen wordt gebruikt om een technologisch probleem te modelleren. In die modellering spelen – evenals in de natuurwetenschappen – begrippen zoals ‘verklaren’, ‘beschrijven’ en ‘voorspellen’ een rol. Een filosofie van de ingenieurswetenschappen zal daarom ook moeten aangeven in welke opzichten deze begrippen een andere betekenis hebben dan volgens de bestaande wetenschapsfilosofie. Een belangrijke eis binnen mijn onderzoek is dat een betere karakterisering van de ingenieurswetenschappen zodanig ontwikkeld wordt dat zij tevens aanknopingspunten biedt aan onderzoeker-ingenieurs en aan filosofen in technische werkvelden, om de eerder genoemde problemen scherper te kunnen benaderen.

3. Is ingenieurswetenschap toegepaste wetenschap?

Hoe is te begrijpen dat in de techniekfilosofie weinig aandacht is besteed aan een karakterisering van ingenieurswetenschappen? Veel van de techniekfilosofische literatuur die zich bezighoudt met de relatie tussen wetenschap en technologie concentreert zich rond de these dat technologie toegepaste wetenschap is.¹¹ In de filosofische uitwerking van deze these lijkt het te gaan om drie onderscheidbare interpretaties daarvan:

(1) *De ontwikkeling van technologie is het gevolg van de ontwikkeling van (natuur)wetenschap.* De stelling dat technologie *toegepaste* wetenschap is, is bedoeld om deze opvatting te motiveren. Hiermee wordt namelijk tot uitdrukking gebracht dat er eerst wetenschappelijke kennis is, die vervolgens wordt toegepast in de ontwikkeling van technologie. Deze visie is door verscheidene techniekfilosofen bestreden door aan te

⁹ e.g. Bunge (1966).

¹⁰ e.g. Vincenti (1990); Kroes (1995); Hendricks et.al. (2000).

¹¹ ‘Toegepaste’ wetenschap betekent meestal ‘gebruikmaken van *reeds bestaande* natuurwetenschappelijke kennis’. e.g. Mitcham (1994), 197; Niadas (2000).

tonen dat technologie zich autonoom ontwikkelt. Bijvoorbeeld door Skolimowski, die verdedigt dat methodologische factoren die zorgen voor de groei van technologie verschillend zijn aan die van wetenschappelijke groei,¹² en ook Kroes die schrijft:

"Most participants [of the conference *Technological Development and Science in the industrial age*, MB] agreed on the inadequacy of the 'technology as applied science' point of view, that is, of models postulating a linear, sequential path from scientific knowledge to technological invention and innovation. In this way, science is considered to be the "prime mover" of technology. From such models it is but a small step (by adding the widely accepted postulate of an internal developmental logic for science) to some form of technological determinism."¹³

(2) *Technologie is een wetenschap, maar deze wetenschap is gericht op een praktisch doel*: "The terms 'technology' and 'applied science' will be taken here as synonymous, ..".¹⁴ Deze stelling werd verdedigd door Mario Bunge. In het onderstaande citaat licht hij deze stelling toe:

"The method and the theories of science can be applied either to increasing our knowledge of the external and the internal reality or to enhancing our welfare and power. If the goal is purely cognitive, pure science is obtained; if primarily practical, applied science."¹⁵

Bunges motivatie om technologie *toegepaste wetenschap* te noemen lijkt derhalve een poging om twee incoherente ideeën te verenigen. Enerzijds is Bunge van mening dat technologie gebruik maakt van de inhoud en methoden van de 'zuivere' wetenschap, wat een reden is om technologie wetenschap te noemen. Anderzijds is de doelstelling van technologie niet een intern wetenschappelijke, waardoor het volgens hem geen wetenschap genoemd kan worden. Bunge lost dit probleem op door de term 'applied science' te gebruiken. Hoewel de these 'technologie is toegepaste wetenschap' in de techniekfilosofie fel is bestreden bestaat onder techniekfilosofen wel consensus over het door Bunge verdedigde verschil in doelstelling van wetenschap en technologie. Dit verschil wordt door de meeste auteurs in de huidige techniekfilosofie gekarakteriseerd als het verschil tussen:

- een cognitieve en een *praktische* doelstelling,
- het zoeken naar nieuwe natuurwetten en het *toepassen* van bekende wetten ten behoeve van een ontwerp,
- wetmatige beweringen die (on)waar dan wel (in)*effectief*, en beschrijvend dan wel *voorschrijvend* kunnen zijn,
- kennis van de realiteit zoals die is en kennis over *hoe* de realiteit te veranderen.

¹² Skolimowsky (1966).

¹³ Kroes and Bakker (1992).

¹⁴ Bunge (1966)

¹⁵ Bunge op.cit.

(3) *Technologie is geen wetenschap, maar maakt gebruik van bestaande natuurwetenschappelijke kennis.* Zoals in paragraaf 2 werd toegelicht gaat het hier om twee verschillende beelden over de rol van wetenschap in technologie. Ofwel ingenieurs gebruiken bestaande natuurwetenschappelijke theorieën en wetten, ofwel ze maken daar een heuristisch gebruik van. Binnen de technologie wordt echter geen wetenschappelijk onderzoek verricht.

Samenvattend lijkt een belangrijk deel van de hedendaagse auteurs het over een aantal aspecten van de relatie tussen technologie en wetenschap eens zijn, namelijk:

- i. Wetenschap speelt geen determinerende rol in de ontwikkeling van technologie.
- ii. De doelstelling van wetenschap en technologie zijn verschillend. Dit wordt vaak samengevat in de formule: 'science aims at truth whereas technology aims at useful knowledge'.¹⁶
- iii. Technologie is geen wetenschap maar maakt gebruik van wetenschappelijke kennis en methoden die ontwikkeld zijn in de 'fundamentele' wetenschap.¹⁷

Hiermee is duidelijk dat in de bestaande filosofische literatuur ingenieurswetenschappen niet als een apart domein wordt gezien. In de volgende paragraaf zal ik op een meer filosofisch niveau trachten hiervoor een verklaring te geven.

4 Wat voor wetenschap is ingenieurswetenschap dan wel?

In de bestaande literatuur worden de termen 'technologie' en 'ingenieurswetenschappen' of 'technische wetenschappen' vaak als synoniemen gebruikt. Naar mijn idee vormt dit een bron van verwarring. Technologie en ingenieurswetenschap vallen namelijk niet samen omdat, zoals een aantal auteurs verdedigt, binnen de technologie allerlei vormen van kennis worden ontwikkeld die niet wetenschappelijk zijn in de zin dat ze niet zijn ontwikkeld door middel van wetenschappelijke methoden.¹⁸ Mede door deze verwarring is mijns inziens de bestaande filosofische literatuur rond de these 'technologie is toegepaste wetenschap' niet erg verhelderend voor de ingenieurswetenschappen. In een filosofie van de ingenieurswetenschappen zou het moeten gaan om de vraag of er binnen de technologische praktijk sprake is van een specifieke vorm van wetenschappelijk onderzoek. Wat 'wetenschappelijk' in deze context precies betekent zal in mijn onderzoek nader geanalyseerd moeten worden.

Merkwaardigerwijze doet ook het beeld dat onderzoekers en ingenieurs zelf hebben over de rol van wetenschap in technologie geen recht aan de bestaande wetenschappelijke praktijk van het technologisch onderzoek, noch aan de problemen die men daar ondervindt in het toepassen van bestaande natuurwetenschappelijke kennis. Want onder onderzoekers en ingenieurs is het idee dat in technologieontwikkeling wetenschappelijke kennis 'slechts' wordt toegepast, algemeen geaccepteerd (vgl. Bunge). Het onderstaande citaat van een hoogleraar chemische technologie is in dat opzicht nog steeds actueel:

¹⁶ e.g. Skolimowski (1966); Laymon (1989); Ropohl (1997); Niadas (2000); Hendricks et al. (2000).

¹⁷ Kroes and Bakker op.cit.

¹⁸ Binnen de techniekfilosofie hebben een aantal auteurs daarom een aanzet gegeven voor het ontwikkelen van een epistemologie van technologische kennis, e.g. Vincenti (1990); de Vries (to be published).

"The basic laws commonly used in chemical engineering are laws of chemistry and physics and, therefore, chemical engineering has no basic laws per se. Chemical engineering is an applied science; and its genius lies in its ability to apply these laws of science, not only those listed but laws from any science that are needed to solve a process problem. Competent chemical engineers have always succeeded in creating useful things for society by applying the laws of science." ¹⁹

Vanwege het gegeven dat "chemical engineering has no basic laws per se" zijn onderzoekers in de ingenieurswetenschappen onmiddellijk geneigd toe te geven dat ze in feite geen wetenschappelijk onderzoek doen. Echter, binnen de ingenieurswetenschappen wordt voor het oplossen van een technologisch probleem veelvuldig gebruik gemaakt van de methode het probleem te modelleren. Deze benadering leidt ertoe dat:

- a. eigen wetten en theorieën worden ontwikkeld die - voor technologie relevante - natuurwetenschappelijke verschijnselen kunnen verklaren en voorspellen,
- b. waarbij voor technologie specifieke theoretische concepten worden geïntroduceerd,
- c. die bovendien in overeenstemming met gebruikelijke wetenschappelijke methoden worden getoetst,
- d. waarbij gebruik wordt gemaakt van passende modelsystemen en laboratoriumexperimenten.

Het is op grond van deze beschrijving moeilijk te begrijpen waarom zo'n onderzoekspraktijk niet wetenschappelijk genoemd kan worden.

Hoe is nu te verklaren dat zowel onder ingenieurs en onderzoekers, als onder techniekfilosofen de overtuiging leeft dat technologie - en dus ook ingenieurswetenschap - geen wetenschap is? Deze opvatting moet mijns inziens op het niveau van basale vooronderstellingen worden geanalyseerd. Mijn verklaring luidt dat de filosofische opvatting van het *wetenschappelijk realisme* (scientific realism) hierin een belangrijke rol speelt. Want volgens de 'realistische' opvatting van wetenschap is het doel van wetenschap het genereren van *ware* kennis over de realiteit, en iedere cognitieve activiteit die geen ware kennis over de realiteit oplevert, is geen wetenschap. Omdat het doel van ingenieurswetenschap niet cognitief maar praktisch is, leveren de ingenieurswetenschappen geen *ware* kennis op.

Deze stelling impliceert dat op grond van een andere ontologische opvatting over wetenschap - zoals pragmatisme, constructief realisme, naturalisme, functionalisme, etc. - het verschil in doelstellingen tussen natuurwetenschappen en ingenieurswetenschappen misschien niet zal leiden tot de conclusie dat ingenieurswetenschap geen wetenschap is.

Er zijn redenen te over om de ingenieurswetenschappen in filosofisch opzicht een eigen plaats te geven. Daartoe moet het wetenschapsrealistische *parti pris* ontmaskerd worden, evenals de vigerende opvatting dat ingenieurswetenschap toegepaste wetenschap en dus *geen* wetenschap zou zijn. Daarnaast moet in positieve zin een betere karakterisering ontwikkeld worden. Ropohl biedt daartoe een bruikbaar schema waarin wordt aangegeven welke onderdelen een epistemologie van de aard van ingenieurswetenschappen zou moeten bevatten, namelijk karakterisering van het doel van

¹⁹ Rase (1961), p29.

onderzoek, en haar object, methodologie, resultaten en beoordelingscriteria voor de kwaliteit ervan.²⁰

En zo kom ik weer bij de verwachtingen en intuïties van die VWO-leerlinge over wetenschap en de rol daarvan in technologie. Die waren niet zover verwijderd van wat wetenschappelijk realisme heet. Daaruit los te komen en iets toe te voegen aan een beter begrip van de ingenieurswetenschappen is de inzet van dit onderzoek.

Literatuur

- M. Bunge, 'Technology as Applied Science', *Technology and Culture* **7**, 1966, 329-347.
- V.F. Hendricks, A. Jakobsen, S.A. Pedersen, 'Identification Matrices in Science and Engineering', *Journal for General Philosophy of Science* **31**, 2000, 277-305.
- P. Kroes and M. Bakker, 'Introduction', in: Peter Kroes and Martijn Bakker (eds.) *Technological development and science in the industrial age*, Boston Studies in the Philosophy of Science, Vol. 144, Kluwer Academic Publishers 1992, 1-15.
- P. Kroes, (1995). Technology and Science-based Heuristics. in: J. C. Pitt (ed.) *New Directions in the Philosophy of Technology*, Kluwer Academic Publishers, 1995, 17-39.
- R. Laymon, 'Applying Idealized Scientific Theories to Engineering', *Synthese* **81**: 1989, 353-371.
- C. Mitcham, *Thinking Through Technology*, University of Chicago Press, Chicago, 1994.
- Y.A. Niadas, 'On the Cognitive Demarcation between Technology and Science: an attempt at Epistemological Clarification', *Metaphysics, Epistemology, and Technology* **19**, 2000, 175-213.
- H.F. Rase, *The Philosophy and Logic of Chemical Engineering*, Houston, Texas, Gulf Publishing Company, 1961.
- G. Ropohl, 'Knowledge Types in Technology', in: M. J. d. Vries and A. Tamir (eds.), *Shaping Concepts of Technology - From Philosophical Perspective to Mental Images*, Kluwer Academic Publishers 1997, 65-72.
- H. Skolimowski, 'The Structure of Thinking in Technology', *Technology and Culture* **7**, 1966, 371-383.
- W.G. Vincenti, *What engineers know and how they know it; analytical studies from aeronautical history*. The John Hopkins University Press, Baltimore and London. 1990.
- M.J. de Vries, 'The nature of technological knowledge: a review of existing literature and a preview for new empirically informed studies into "what engineers know"', (to be published).

MIEKE BOON studeerde chemische technologie aan de Universiteit Twente en promoveerde in de biotechnologie aan de Technische Universiteit Delft (beide *cum laude*). Ook studeerde zij enige jaren wijsbegeerte aan de Universiteit Leiden. Sinds 2001

²⁰Ropohl (1997).

is zij als universitair docent werkzaam bij de vakgroep wijsbegeerte aan de Universiteit Twente. E-mail: m.boon@gw.utwente.nl