

- Boon, M (2011). *Wetenschappelijk begrijpen: Structureren en conceptualiseren*. Wijsgerig Perspectief. 51(2): 32-39.

Wetenschappelijk begrijpen: Structureren en conceptualiseren

Mieke Boon

‘Aha! Zo zit het in elkaar! Nu begrijp ik het! Waarom heb ik dat niet eerder gezien?’ ‘Kwantum mechanica is niet te begrijpen, het is onvoorstelbaar, maar je kunt er wel goed mee rekenen.’ Twee even herkenbare als spiegelbeeldige uitspraken over begrijpen in de wetenschap. Begrijpen lijkt een psychologische toestand te zijn die wordt opgeroepen als we door de dingen kunnen heen kijken. De metafoer van zien verwijst naar een invloedrijke Platonistische notie: het schouwen van een diepere, echtere realiteit. Wetenschappelijk begrijpen is dan het ‘voor ogen krijgen’ van de wereld achter de verschijnselen. Deze voorstelling van zaken heeft verwantschap met gewone intuïties, maar er zitten toch een aantal haken en ogen aan.

Wetenschappelijk begrijpen en wetenschappelijk realisme.

Laat ik een aantal van die haken en ogen noemen. Dit idee van begrijpen leunt op een vorm van wetenschappelijk realisme, namelijk het idee dat wetenschappelijke kennis een *representatie* geeft van de werkelijkheid achter het direct waarneembare. Immers, zo gaat de redenering, wat we te zien krijgen is zo indrukwekkend dat het wel een afbeelding moet zijn van hoe de wereld echt is. Bekende voorbeelden zijn Bohr’s atoom model, en de dubbele helix structuur van DNA. Zulke voorbeelden doen ons verbaasd staan over de verfijnde geordendheid en geraffineerde mechanismen van de bouwstenen van het universum.

Vergelijken we deze voorbeelden echter met een microscopische opname van zoiets als een bedmijt, dan nemen we ook waar, maar het gevoel dat erbij hoort is dat van van schoonheid of juist afgrijzen, maar niet van begrip of onbegrip. Zien doet kennelijk niet alles. En iedereen die ooit in de natuurwetenschappen werd geïntroduceerd zal zich herinneren dat sommige van de plaatjes of formules, zoals van een atoom, of van de zwaartekracht, of van electro-magnetische velden vaak niet direct begrip geven, integendeel. Ik hoef maar te denken aan de prachtige natuurkundelessen van Robbert Dijkgraaf, waarin hij uitlegt hoe de relativiteitstheorie die gaat over het allergrootste, en de kwantummechanica die gaat over het allerkleinste, aan elkaar gerelateerd zouden kunnen worden. De animaties zijn prachtig, maar ook onvoorstelbaar. Het wekt het gevoel van wat in de Romantiek het sublieme wordt genoemd, maar tegelijkertijd het gevoel er eigenlijk niets van te begrijpen. Begrijpen vereist dat je er iets *extra’s* in ziet. Wat is dat? Wanneer of waarom geeft een plaatje of formule van de wereld achter de werkelijkheid begrip?

Ook opmerkelijk is dat het begrijpen van een ingewikkelde wetenschappelijke theorie na verloop van tijd helemaal niet meer gepaard met het gevoel van het ‘aha’. Toch betekent het verdwijnen van dat gevoel niet dat iemand de theorie niet meer begrijpt. Ook zijn er wetenschappers die zeggen dat bepaalde theorieën ook helemaal niet te begrijpen vallen, dat het slechts wiskunde is, meer niet. In hun voetspoor beweren sommige filosofen – en meest bekend, Bas Van Fraassen – dat het in de natuurwetenschap niet gaat om begrijpen van de werkelijkheid, maar om het ontwikkelen van axiomatische theorieën die het mogelijk maken de verschijnselen wiskundig te modelleren.

Wat ook lastig blijkt is dat het object dat wordt begrepen heel divers van karakter kan zijn. Zo kun je een waarneembaar verschijnsel wetenschappelijk begrijpen, maar je kunt ook een wetenschappelijke theorie of model begrijpen. Begrip ontstaat als er een bevredigend antwoord wordt gevonden op een waarom- of hoe-vraag. Bij een *verschijnsel* wordt zo’n antwoord vaak gegeven in termen van hoe dat verschijnsel wordt voortgebracht. Het verschijnsel van ‘overerfbare eigenschappen’, bijvoorbeeld, begrijp je wanneer je weet dat de erfelijke informatie in de chemische

structuur van het DNA zit opgeslagen en door de dubbele helixvorm kan worden gekopieerd naar nieuw DNA, en via RNA naar eiwitten met allerlei chemische functies die de specifieke, overgeërfdde eigenschappen tot expressie brengen. Bij een wetenschappelijke *theorie* of *model* gaat het om een ander soort begrijpen, namelijk dat je in staat bent om die theorie toe te passen in het beantwoorden van waarom- of hoe-vragen – bijvoorbeeld in het geval van de theoretisch-fysicus, wanneer ze in staat is om met de abstracte theorie wiskundige modellen van een verschijnsel te construeren. Een alledaags voorbeeld hiervan is het vermogen om een wiskundige theorie zoals de Euclidische meetkunde toe te passen op concrete situaties. In de wetenschappelijke praktijk is er dus eigenlijk sprake van tweerichtingen verkeer. Je begrijpt een verschijnsel dankzij een theorie, maar dat gaat pas op als je de theorie zelf ook begrijpt. Omgekeerd, kun je door begrip van een theorie een concreet verschijnsel begrijpelijk maken of modelleren omdat je in staat bent de theorie toe te passen op meetuitkomsten en waarnemingen.

Tenslotte lijken er ook verschillende vormen van wetenschappelijke begrijpelijkheid te zijn. Veel mensen vinden alleen causale of causaal-mechanistische verklaringen van een verschijnsel begrijpelijk, zoals de verklaring van DNA voor erfelijke eigenschappen, of het Bohr atoommodel voor chemisch of fysisch gedrag van stoffen. Maar er zijn ook mensen die wiskundige verklaringen veel begrijpelijker vinden. Deze verschillende opvatting over wetenschappelijke verklaringen heeft soms te maken met de soort van wetenschappelijk realisme die wordt aanhangen. De meeste mensen houden er een materialistische opvatting op na, namelijk dat alles te verklaren is uit de eigenschappen van de materie. De eigenschappen van meer fundamentele bouwstenen zoals elementaire deeltjes, atomen, moleculen, biologische cellen, enzovoort, verklaren de verschijnselen die we om ons heen zien. Filosofen die deze opvatting verdedigen zijn bijvoorbeeld Ian Hacking en Nancy Cartwright. Tegelijkertijd blijkt uit de geschiedenis van de wetenschap dat causale of causaal-mechanistische verklaringen van karakter kunnen veranderen. Peter Dear beschrijft bijvoorbeeld hoe in de loop van die geschiedenis verklaringen in termen van vitale krachten, botsende onveranderlijke deeltjes, krachten op afstand, krachtvelden, veranderlijke materie, enzovoort, geaccepteerd of juist weer uit de gratie zijn geraakt.

Maar er zijn ook fysici en filosofen die causale verklaringen überhaupt verwerpen. Zij geloven dat er een mathematische structuur bestaat die verantwoordelijk gehouden moet worden voor de verschijnselen. In de eerste instantie gaat dit idee in tegen gewone intuïties. Maar het is minder vreemd dan het lijkt. Denk bijvoorbeeld aan het gemak waarmee we gewoonlijk over natuurwetten praten, en beweren dat de natuur aan deze wetten gehoorzaamt – de realiteit van de wet vormt in dat geval de verklaring voor bepaalde verschijnselen. Fundamentele natuurwetten worden beschreven als wiskundige formules, en niet als afbeeldingen van de materiële wereld zoals de structuur van DNA. Het is dus filosofisch denkbaar dat deze wiskundige formules op één of andere manier in de natuur vastliggen. Een iets geavanceerdere vorm die recht doet aan de zoektocht van theoretisch-fysici is het idee dat alle verschijnselen, en de samenhang daartussen, te verklaren is – niet door losse natuurwetten, maar door een alomvattende wiskundige structuur die door verschillende wiskundige formalismen kan worden beschreven. John Worrall (1989) was een van de eerste filosofen die dit idee benoemde als ‘structureel realisme’.

De timmermansleerling

Wetenschappelijk begrijpen en wetenschappelijk realisme lijken nauw verweven te zijn. Kun je op een zinvolle manier nadenken over begrijpen en tegelijkertijd wetenschappelijk realisme buiten de deur houden? En kunnen we ons een idee vormen van wetenschappelijk begrijpen zonder daarbij een beroep te hoeven doen op de afbeeldingmetafoor van wetenschappelijke kennis?

Een eenvoudig voorbeeld kan illustreren dat we kunnen spreken over zowel het begrijpen van een verschijnsel, als over het begrijpen van een theorie, zonder dat dit een vorm van wetenschappelijk realisme inhoudt. Dit voorbeeld gaat over de manier waarop we de Euclidische meetkunde gebruiken om verklaringen te geven en zeer nauwkeurige voorspellingen te doen.

Stel dat de timmermansleerling een kastdeur moet maken die binnen de sponningen valt. Hij meet de opening op en maakt van planken een mooie stevige deur. Hij past het nog een keertje, en jawel, het past precies. Maar als hij de deur vervolgens in de scharnieren heeft geschroefd gaat de deur opeens niet meer dicht omdat hij te breed blijkt te zijn. De leerling begrijpt er helemaal niets van.

Laten we het verschijnsel dat hij niet begrijpt 'de deur past niet in de sponning' noemen. De kastenmaakster komt erbij en begrijpt onmiddellijk wat er aan de hand is. Ze pakt een stuk papier en begint haar uitleg door het bovenaanzicht van de kast en de deur te tekenen. Ze knipt de deur uit het papier en laat eerst zien dat deze precies in de opening past. Vervolgens laat ze het rechthoekige blokje in de opening van de vierkante figuur rond het punt scharnieren. Tot zijn verbazing ziet de leerling dat het nu niet meer past (figuur 1). De kastenmaakster vervolgt haar uitleg op Socratische wijze. Stel dat de breedte van de opening W is, en de dikte van het rechthoekige blokje d . Welke breedte mag de deur dan hebben? De leerling zegt dat hij dat niet weet, maar dat hij nu wel kan zien dat de diagonaal van het blokje niet langer mag zijn dan W . Welnu, zegt de kastenmaakster, dan kun jij toch met de stelling van Pythagoras uitrekenen hoe breed de deur mag zijn. En zodoende voorspelt de timmermansleerling dat de deur maximaal $D_{\max} = \sqrt{W^2 - d^2}$ breed mag zijn. Door deze formule ziet hij dat de breedte D_{\max} altijd kleiner is dan W , tenzij de dikte nul is. En hij ziet dat hij een strook ter breedte van $a = W - \sqrt{W^2 - d^2}$ van de deur moet gaan afzagen (figuur 2a).

Als de timmermansleerling later zijn eigen werkplaats heeft, bedenkt hij dat zijn kasten nog mooier kunnen worden als er niet een spleet a tussen de deur en de sponning zit. Met behulp van het model bedenkt hij dat het niet nodig is om de hele strook af te zagen, maar alleen een schuine hoek die hij aftekent op de kopse kant van de deur van W aan de buitenkant naar $W-a$ aan de binnenkant. Later verbetert hij zichzelf nogmaals. Door een meetkundig model te construeren vanuit de geometrie van cirkels in plaats van Pythagoras, ziet hij in dat hetzelfde effect wordt bereikt door een ronde hoek, die hij aftekent door een cirkelboog met een straal van $r=W$ op de kopse kant van de deur (figuur 2b).

Theoretisch begrijpen – het vermogen om te denken over de wereld.

In al zijn eenvoud laat dit voorbeeld een aantal cruciale aspecten van theoretisch begrijpen zien. Het is zowel een voorbeeld van begrijpen van een fenomeen (de niet-passende deur), als van een theorie (de Euclidische meetkunde). Het fenomeen wordt begrijpelijk gemaakt door het construeren van een meetkundig model van het systeem (de sponning en de deur) met behulp van de Euclidische meetkunde. Dit model verklaart waarom de deur niet past. Om een meetkundig model te construeren is begrip nodig van de Euclidische meetkunde. Begrip van een theorie betekent het vermogen om de theorie te gebruiken in het denken over bepaalde systemen, bijvoorbeeld, het vermogen om met behulp van de theorie een model van een fenomeen te construeren. Het is nu eenvoudig te zien dat er sprake is van nog een derde vorm van begrijpen (naast het begrijpen van fenomeen en theorie), namelijk het begrijpen van het meetkundige model. Dit begrip blijkt uit de manier waarop de timmermansleerling het model gebruikt om over het systeem en de oplossing van het probleem (dat de deur niet past) na te denken, en zodoende exact kan voorspellen dat door het afzagen van een strook met breedte a de deur wel zal passen; of, dat het afzagen van een schuine hoek voldoende is en je dan bovendien geen spleet krijgt.

Verassend is misschien dat het meetkundige model een goede *verklaring* geeft van het fenomeen, namelijk, waarom de deur niet past. Zodoende laat dit eenvoudige voorbeeld zien dat causale of causaal-mechanistische verklaringen (dat wil zeggen, fysische verklaringen) helemaal niet de enige echte verklaringen vormen. Wel is het mogelijk om voor hetzelfde fenomeen een fysische verklaring te geven, bijvoorbeeld: de deur past niet omdat hout niet flexibel is. Deze causale verklaring is uiteraard ook geldig, maar niet erg passend. Hier duikt een nieuw criterium voor begrijpen op. Een verklaring is dus niet slechts een antwoord op een waaromvraag, zoals vaak wordt aangenomen, maar moet ook passen bij wat je met de verklaring (zoals het meetkundige model) wilt gaan doen. Een verklaring dient dus gewoonlijk een bepaald epistemisch doel. Heel algemeen valt te

denken aan de volgende kennisdoelen: na kunnen denken over mogelijke interventies met het systeem (in experimenten of voor praktische toepassingen), of, kunnen voorspellen van het gedrag van een systeem waarmee je niet kunt interveniëren (bijvoorbeeld het klimaat), of, na kunnen denken over hoe je bepaalde verschijnselen technologisch zou kunnen imiteren, of, na kunnen denken over het ontwerp en de optimalisatie van een technologisch ding. Mijn belangrijkste these is dat het begrijpen van verklaringen en van de theorieën waarmee verklaringen geconstrueerd kunnen worden, ons in staat stellen om deze epistemische taken te verrichten.

Zoendoende kan ook de genoemde 'niet adequate' fysische verklaring van de niet-sluitende kastdeur tot heel nieuwe manieren van denken leiden. Je zou met behulp van de fysische verklaring een heel ander type oplossing voor het probleem kunnen verzinnen, zoals een deur die vervormbaar is tot een parallellepipedum met lengtes van de lange zijde, W , en korte zijde, d . Van hetzelfde verschijnsel zijn dus meerdere verklaringen mogelijk.

Een goede verklaring hoeft dus niet noodzakelijk fysisch, of, causaal-mechanistisch te zijn. Ook wiskundige of misschien nog andere vormen kunnen verklarend zijn met het oog op bepaalde toepassingen van de verklarende kennis – zolang die kennis ons maar in staat stelt om er op een toepasselijke en betrouwbare manier mee te denken.

Wat nu opvalt, is dat begrijpen niet een beschrijving hoeft te zijn van de wereld 'achter' de verschijnselen, namelijk een beschrijving van datgene wat het verschijnsel 'tot bestaan' brengt. Immers, het meetkundige model van het systeem is geen beschrijving van een daarachter liggende werkelijkheid dat het verschijnsel vorgebracht heeft. Evenmin zijn de Euclidische axioma's (of de structuren die door deze axioma's beschreven of geconstrueerd kunnen worden) de *oorzaak* van het verschijnsel. Net zo min vormt de adequaatheid van dit model een bewijs voor de waarheid van de Euclidische meetkunde. De meetkundige structuur ligt in die zin niet *achter* de werkelijkheid. In plaats daarvan is het eerder een structuur die door ons over de werkelijkheid wordt heen geplaatst. De aard van die structuur is daarom niet een *representatie* van de werkelijkheid 'achter' de verschijnselen. In plaats daarvan creëren we structuren, zoals de Euclidische meetkunde en meetkundige modellen, zodanig dat theorie en model het mogelijk maken om over de verschijnselen na te denken. De opmerkelijke lezer zal in dit laatste de ideeën van Immanuel Kant herkennen in zijn poging om uit te leggen waarom de wiskunde en de natuurkunde bij de werkelijkheid passen (zie ook Neiman, 1994).

Dit brengt mij op een meer algemeen punt, namelijk, waarom het filosofisch onvruchtbaar is om wetenschappelijke verklaringen op te vatten als *representaties* van de werkelijkheid. Zulk wetenschappelijk realisme is aantrekkelijk omdat het de objectiviteit van kennis lijkt te waarborgen. Maar, zoals Hilary Putnam (1981) zijn eigen, door Kant beïnvloede wending van wetenschappelijk realisme naar 'intern realisme' uitlegt, vereist het vergelijken van de representatie met de werkelijkheid een God's eye. Mensen verkeren niet in de positie om representaties op een onproblematische manier te vergelijken met de werkelijkheid. Daartussen staat altijd hun perceptieapparaat en hun toegang tot de werkelijkheid door middel van experimenten en instrumenten, maar ook hun conceptuele kaders en manieren van 'interpreteren en structureren' (zie ook Boon, 2009). Bovendien zijn er vrijwel altijd meerdere manieren om hetzelfde systeem te representeren, zoals al blijkt uit het voorbeeld van de niet-sluitende kastdeur, afhankelijk van de epistemische doelen waarvoor iemand de kennis wil gebruiken.

Kortom, dat een verklaring goed is en antwoord geeft op een *waarom* of *hoe* vraag impliceert niet zozeer dat we een ware representatie van de werkelijkheid hebben ontdekt, maar dat we een denkgereedschap hebben gemaakt dat zowel past bij de wereld, als bij onze intellectuele vermogens, als ook bij andere relevante kennis, en bij de context van de vraag. Het criterium voor het accepteren van een verklaring is daarom niet primair of we een ware representatie te pakken hebben, maar vooral of de verklaring voldoet als denkgereedschap.

Zoendoende kun je een verschijnsel causaal-mechanistisch of wiskundig of logisch of functioneel, of nog anders verklaren. Het voorbeeld van de timmermansleerling presenteert een wiskundige verklaring. Elders verdedig ik dat niet alleen meetkundige, maar iedere wetenschappelijke verklaring zo moet worden beschouwd, namelijk als een voor wetenschappelijk

onderzoekers begrijpelijke conceptualisering en ‘interpretatieve structuur’ die *over* in plaats van *achter* de werkelijkheid wordt gelegd.

Verklaringen worden gerepresenteerd door modellen, zoals het meetkundige model. Anders gezegd, modellen representeren ons begrip van een verschijnsel of systeem, zoals waarom de kastdeur wel of niet in de opening past. Zulk begrijpen is precies de reden waarom mensen in staat zijn over de werkelijkheid na te denken voorbij de grenzen van de empirische kennis.

Wetenschappelijke modellen representeren de ‘conceptuele articulaties’ en ‘interpretatieve structuren’ die wetenschappelijk onderzoekers over de werkelijkheid hebben gelegd. In het gewone taalgebruik zeggen we dat een model een representatie is van de werkelijkheid. Daar is niets op tegen, want in het epistemisch gebruik functioneert het model als representatie van de werkelijkheid. Maar filosofisch verdedig ik het idee dat de conceptuele articulaties en interpretatieve structuren uitsluitend ons begrip van die werkelijkheid – en niet de werkelijkheid zelf - representeren waardoor we denkgereedschappen tot onze beschikking krijgen die ons in staat stellen om (op talloze manieren, en niet slechts één ultieme) over de werkelijkheid na te denken – elders noem ik dat ‘epistemisch gereedschap’ (Boon & Knuuttila, 2009).

Begrijpen: meer dan schouwen

Begrijpen, verklaren, kennis – het zijn de doelen van wetenschap. Als alternatief voor het idee dat er een afspiegelingsrelatie bestaat tussen de werkelijkheid, en onze kennis en begrip daarvan, stel ik voor om ze op te vatten als gereedschap om mee te kunnen nadenken over de werkelijkheid. Kant concludeerde dat we daarmee zekerheid verliezen maar vrijheid verwerven (Kant 1781). Kant’s punt is dat er geen enkele manier is om *zekere* kennis te verwerven buiten het domein van het direct ervaarbare (zie ook Neiman, 1994). In plaats daarvan beschikken we over de mogelijkheid om wetenschappelijke kennis en begrip te creëren en te construeren – Kant noemt dat *vrijheid*. *Wij construeren* classificaties, wiskundige structuren, en *creëren* conceptualisering van onzichtbare objecten, eigenschappen, en causale werkingen, zodanig dat het past bij onze intellectuele vermogens en epistemische doelen. Dat wil niet zeggen dat wij de werkelijkheid creëren. De werkelijkheid legt grenzen op aan wat we erover kunnen denken, maar *bepaalt* niet onze kennis noch ons begrijpen van die werkelijkheid, op een vooraf gedetermineerde manier.

Ik sluit af met twee prikkelend citaten van Joe Rouse (2009), die betoogt tegen de bekende these van Van Fraassen dat het in wetenschap helemaal niet om verklaren of begrijpen gaat:

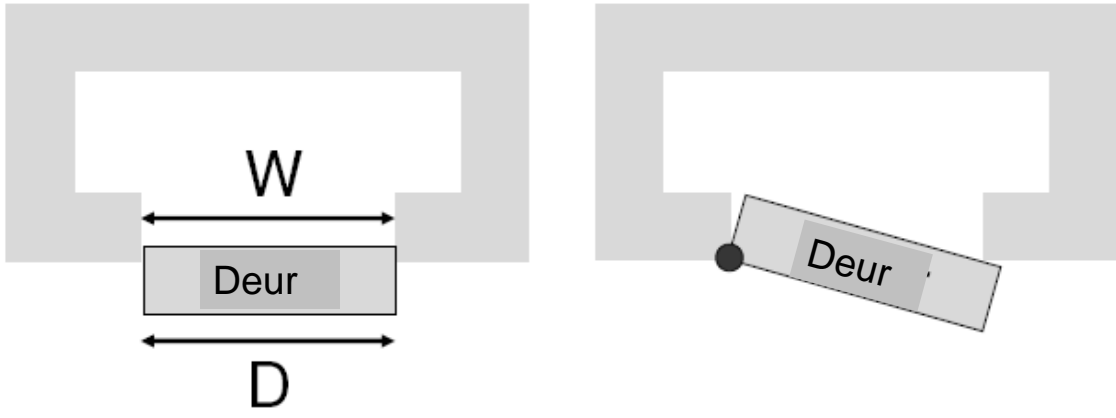
‘The sciences expand and reconfigure the breadth and depth of the space of reasoning’

‘Conceptual articulation enables us to entertain and express previously unthinkable thoughts, and to understand and talk about previously unarticulated aspects of the world.’

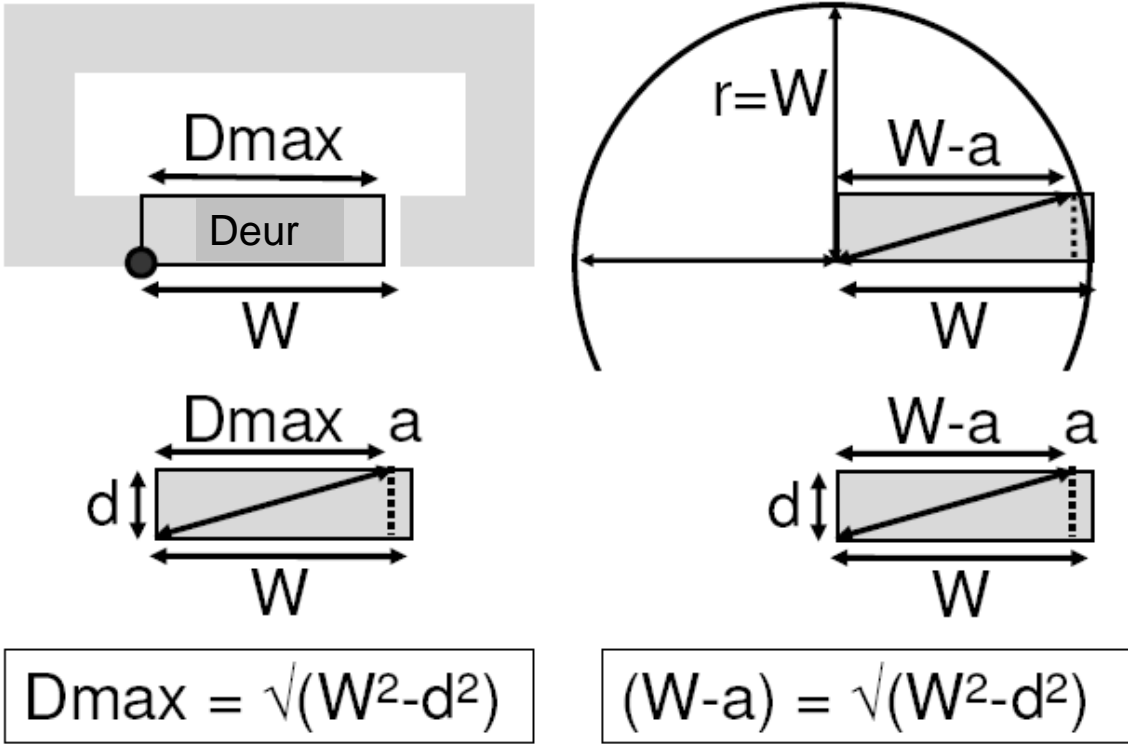
Ofwel, [**Uitlichten**] ‘De wetenschappen vergroten en veranderen de breedte en diepte van de ruimte van het redeneren,’ en, ‘Conceptuele articulatie stelt ons in staat om gedachten te hebben en tot uitdrukking te brengen die eerder niet-denkbaar waren, en om te begrijpen en te spreken over aspecten van de wereld die daarvoor nog ongearticuleerd waren.’ [**Uitlichten**] Volgens Rouse stelt conceptuele articulatie – of, in mijn termen, ‘het structureren en interpreteren’ – van de werkelijkheid ons in staat om te denken over dingen die daarzonder niet denkbaar waren. Dat is wat je begrijpen kunt noemen. En dat is ook waardoor we vaak opwinding voelen wanneer we iets ‘ineens’ gaan begrijpen. Ineens zien we structuur en samenhang, en ineens kunnen we het benoemen en beschrijven. Ineens zijn we dan ook in staat om er ‘gestructureerd over na te denken – over de oplossing van een probleem, of over interventies met de wereld, of over mogelijke consequenties van processen of mechanismen die ‘zichtbaar’ zijn geworden. Het drukt kernachtig uit wat het betekent om de zekerheid van wetenschappelijke kennis te verliezen maar de vrijheid van het begrijpen te winnen.

Referenties

- Boon M. (2009), Understanding in the engineering sciences: Interpretative structures. In: H. W. de Regt, S. Leonelli, and K. Eigner (red.), *Scientific understanding: Philosophical perspectives*. Pittsburgh: Pittsburgh University Press. 249-270.
- Boon M., and T.T. Knuuttila (2009), Models as epistemic tools in the engineering sciences: A pragmatic approach. In: A. Meijers (red.), *Handbook of the Philosophy of Technological Sciences*. Amsterdam: Elsevier Science. 687-719.
- Cartwright N. (1989), *Nature's capacities and their measurement*. Oxford: Clarendon Press, Oxford University Press.
- Dear P. 2006, *The intelligibility of nature – How science makes sense of the world*. Chicago and London: Chicago University Press.
- Hacking I. (1983), *Representing and intervening: Introductory topics in the philosophy of natural science*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Kant I. ([1787], 1998), *Critique of pure reason*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Neiman S. (1994), *The unity of reason – Rereading Kant*. Oxford: Oxford University Press.
- Putnam, H. (1981), *Reason, truth, and history*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Rouse J. (2009). Articulating the world: Toward a new scientific image. Contribution at San Francisco State University Workshop: *The Role of Experiment in Modeling*. March 2009.
- Worrall, J. (1989). Structural realism: The best of both worlds? *Dialectica* 43: 99–124. Reprint in: D. Papineau (red.), *The Philosophy of Science*. Oxford: Oxford University Press, 139–165..



Figuur 1



Figuur 2