

Sylvia Wenmackers

Wetenschap

**Lannoo
Campus**

D/2021/45/62 – ISBN 978 94 014 7486 3 – NUR 730, 738

VORMGEVING OMSLAG Compagnie Paul Verrept
VORMGEVING BINNENWERK LetterLust | Stefaan Verboven

© Sylvia Wenmackers & Uitgeverij Lannoo nv, Tielt, 2021.

Uitgeverij LannooCampus maakt deel uit van
Lannoo Uitgeverij, de boeken- en multimediativisie
van Uitgeverij Lannoo nv.

Alle rechten voorbehouden.

Niets van deze uitgave mag verveelvoudigd worden
en/of openbaar gemaakt, door middel van druk, fotokopie,
microfilm, of op welke andere wijze dan ook, zonder
voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

Uitgeverij LannooCampus

Vaartkom 41 bus 01.02

3000 Leuven

België

www.lannoocampus.be

Postbus 23202

1100 DS Amsterdam

Nederland

www.lannoocampus.nl

‘Wetenschap is veel meer dan een corpus van kennis. Ze is een manier van denken. Dit is centraal voor haar succes. Wetenschap nodigt ons uit om de feiten binnen te laten, zelfs als die niet stroken met onze voorgaande opvattingen. Ze adviseert ons om alternatieve hypothesen in ons hoofd mee te dragen en te zien welke het beste bij de feiten passen. Ze spoort ons aan de balans te vinden tussen radicale openheid voor nieuwe ideeën, hoe ketter ook, en het meest rigoureuze sceptische onderzoek van alles – nieuwe ideeën en gevestigde wijsheden. We hebben behoefte aan een brede waardering voor dit soort denken. Het werkt. Het is een essentieel middel voor een democratie in onze tijd van verandering. Onze taak is niet enkel om meer wetenschappers op te leiden, maar ook om het publieke begrip van wetenschap te verdiepen.’

– *Carl Sagan* (1989)

INHOUD

- 1 Stamboom van wetenschappen 9
 - 2 Wortels in natuurfilosofie 45
 - 3 Van boom naar raderwerk 75
 - 4 Groeien en snoeien 91
 - 5 Doorbomen over wetenschappelijke methodes 121
 - 6 Wetenschap als boom op het marktplein 151
- Lijst van 35 begrippen 189
- Lijst van 15 filosofen 195
- Bibliografie 199
- Verantwoording 205

STAMBOOM VAN WETENSCHAPPEN

‘Ik vind het fascinerend dat je vanuit verschillende perspectieven naar hetzelfde probleem kunt kijken en het op verschillende manieren kunt benaderen.’

– *Maryam Mirzakhani* (2008)

Stel je eens even voor dat je in het laatste jaar op de middelbare school zit en biologieles volgt. Je gebruikelijke leraar is er vandaag niet, wel een vervanger, die zijn eigen handboek heeft geschreven. Er ligt op elke bank een exemplaar klaar. Je slaat het boek op jouw bank open en ziet een afbeelding van primitieve mensen die vruchten plukken, terwijl er op de achtergrond dinosauriërs passeren. Meteen begint de vervangleraar hier in alle ernst over te doceren. Je vraagt je af of dit een grap is, maar je klasgenoten noteren gewoon wat hij zegt. Niemand schiet in de lach en niemand protesteert.

De leraar ziet dat jij als enige niet meewerkt en spreekt je daarover aan. Je zegt dat het plaatje in het boek niet klopt. ‘Wat is er mis met dat plaatje?’, vraagt hij. ‘Mensen en dino’s hebben niet op hetzelfde moment geleefd’, zeg je. ‘Volgens het creationisme wel’, reageert de leerkracht. De rest van de klas staart je nu aan. Iedereen wacht op jouw antwoord. ‘Maar dat is toch geen wetenschap!’, mompelt je nog, terwijl je verward wakker wordt.

De droom blijft nazinderen. Beeld je eens in dat je van kindsbeen af had geleerd dat mensen en dino's wel samen op aarde geleefd hadden. Was je er dan ooit achter gekomen dat dit niet klopte? En weet je trouwens wel zo zeker dat de dino's uitgestorven waren voor mensen ontstonden? Natuurlijk wel, denk je, want dat zegt de wetenschap! Maar je hebt natuurlijk nooit zelf fossielen gedateerd.

Je droom kan ook aanleiding geven tot de vraag: wat is wetenschap eigenlijk? Op het eerste gezicht lijkt dat misschien een overbodige vraag, want iedereen weet toch wat wetenschap is. Iedereen heeft namelijk wetenschappen gehad op school. Misschien heb je niet meteen een definitie klaar als antwoord op de vraag, maar is dat belangrijk, dan?

Het antwoord is ja. Zoveel heb je hopelijk al geleerd uit het voorbeeld met de droom. Dit voorbeeld is trouwens niet helemaal fictief: in de Verenigde Staten zijn er al rechtszaken geweest over de vraag of creationisme onderwezen mag worden tijdens de biologielees. Daarom definiëren we wetenschap beter niet als 'alles wat je op school als wetenschap leert', want dan kun je geen bezwaar meer maken als er plots iemand bizarre theorieën begint te onderwijzen. Hoe moet het dan wel? Daar gaat dit boek over.

Als je aan wetenschappers vraagt waarom ze aan onderzoek doen, dan antwoorden ze vaak dat ze de wereld om zich heen beter willen begrijpen. Naargelang hun specialisatie gaat het daarbij vooral over patronen en processen

in de natuur of juist in de menselijke cultuur. De nieuwe kennis die nieuwsgierige wetenschappers vergaren, is echter ook belangrijk voor alle andere mensen. Denk bijvoorbeeld aan patiënten die van hun arts de keuze krijgen tussen twee mogelijke behandelingen, op basis van recent onderzoek in de geneeskunde. Of aan politici die debatteren over hoe ze hun regio van energie kunnen voorzien, rekening houdend met wetenschappelijke rapporten over milieueffecten, sociale en economische impact. Wetenschappers leggen dus vaak de basis voor ingrijpende veranderingen in ons dagelijkse leven – niet alleen door technologische of biomedische uitvindingen, maar ook door ontwikkelingen en inzichten op sociaal of cultureel vlak.

Bovendien worden universiteiten en hogescholen, waar het merendeel van het wetenschappelijke onderzoek gebeurt, betaald met belastinggeld. Dat roept de vraag op wie precies beslist welk onderzoek er wordt gedaan: wetenschappers zelf of (ook) verkozen politici? In het verleden en ook nu nog wordt er veel onderzoek gedaan voor militaire toepassingen. Staat dat haaks op het persoonlijke doel van wetenschappers om de wereld beter te leren kennen? Zouden ze dergelijke opdrachten zelfs moeten weigeren?

Deze vragen gaan iedereen in een democratie aan. Daarom is het belangrijk dat ook jij een goed beeld hebt van wat wetenschap is: hoe het proces werkt en op welke manier wetenschap verweven is met de rest van onze samenleving. Dat inzicht leidt tot een aantal bijna paradoxale uitkomsten, waarvan hier vijf voorbeelden volgen.

Ten eerste: wetenschap is mensenwerk en dus feilbaar, maar toch biedt ze de beste bron van kennis die we tot nu toe hebben. Daarnaast sluit wetenschappelijk onderzoek soms hypothesen uit, maar is het tegelijk een noodzakelijke voorwaarde voor een democratisch debat. En ondanks de rol van wetenschap in vrijwel alle domeinen van ons leven (gezondheid, communicatie, onderwijs enzovoort), wordt haar maatschappelijke belang vaak onderschat. Verder ontstaan nieuwe kennis en toepassingen niet vanzelf, maar vereisen ze investeringen in wetenschappelijk onderzoek – ook in onderzoek dat pas in de volgende generaties vruchten zal opleveren. Ten slotte vereist het stimuleren van wetenschap bewuste keuzes, sturing en beleid, maar hebben wetenschappers ook vrijheid nodig om datgene te volgen waar hun nieuwsgierigheid en de resultaten van hun eerdere onderzoek hen naar leiden.

Na het lezen van dit boek zul je nog beter begrijpen wat deze uitspraken betekenen en waarom bepaalde aspecten ervan niet met elkaar in tegenspraak zijn. Ik hoop dat je zo een beter beeld krijgt van de rol van wetenschap in ons leven en op basis daarvan beter geïnformeerde keuzes kunt maken.

Enkele jaren geleden ben ik zelfs de straat op gegaan, om voor wetenschap op te komen. Dat was kort nadat Donald Trump verkozen was als president van de Verenigde Staten. Er werden toen niet alleen in de VS, maar ook in veel andere landen wetenschapsmarsen gehouden. Daarmee werd betoogd tegen het schrappen van onderzoeksfinanciering, met name voor klimaat-

onderzoek, en tegen het idee dat er naast feiten ook ‘alternatieve feiten’ zouden zijn.

De March for Science, waaraan ik deelnam, werd gehouden op de Dag van de Aarde (jaarlijks op 22 april). Op mijn plakkaat had ik de wetenschappen als een boom geschilderd, waar we maar wat graag de vruchten van plukken (figuur 1). Waarom ik die beeldspraak heb gekozen, ontdek je ook in dit boek.



FIGUUR 1 Ontwerp van mijn bord voor de March for Science op 22 april 2017 in Brussel

In dit eerste hoofdstuk snuffelen we aan verschillende wetenschappen: we onderzoeken verschillen tussen en gelijkenissen van vakgebieden. We bekijken ook of er altijd zo veel wetenschappen zijn geweest en zoeken naar hun onderlinge samenhang.

In hoofdstuk 2 gaan we op zoek naar de gemeenschappelijke wortels van de huidige natuurwetenschappen en de filosofie. Daarna bespreken we in hoofdstuk 3 de wetenschappelijke revolutie en hoe de ontwikkeling van de natuurwetenschappen doorwerkte op ons wereldbeeld en mensbeeld. Vervolgens staat in hoofdstuk 4 de hoofdvraag van de wetenschapsfilosofie centraal: wat is wetenschap, waarna we in hoofdstuk 5 de rol van argumenten, waarnemingen en experimenten bespreken, en we evalueren of wetenschap daadwerkelijk vooruitgang boekt. In hoofdstuk 6 zoomen we ten slotte uit en kijken we naar de wisselwerking tussen wetenschappen en de hedendaagse samenleving.

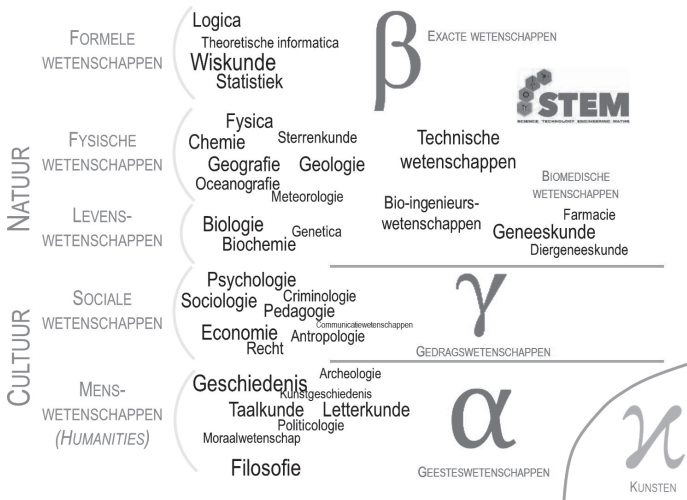
Misschien kun je tijdens het lezen alvast nadenken of jij ooit de straat op zou gaan, om voor het belang van wetenschap op te komen. Welke afbeelding of slogan zou je dan kiezen?

Familiefoto van wetenschappen

De boom is een oud symbool voor kennis en wetenschap. Die metafoor is nog steeds treffend, omdat de wetenschap uit een hele familie van verschillende disciplines bestaat, die je zou kunnen voorstellen als een stamboom.

De Nederlandstalige term ‘wetenschap’ omvat namelijk de natuurwetenschappen, ingenieurswetenschappen, medische wetenschappen en menswetenschappen. Ook het Duits en andere Germaanse talen hebben zo’n overkoepelende term.

In *figuur 2* zie je een mogelijke indeling van de wetenschappen. Daarbij hanteren we de indeling in *alfa*-, *bèta*- en *gamma*-wetenschappen, die respectievelijk staan voor de geesteswetenschappen, de exacte wetenschappen en de gedragswetenschappen. Die indeling wordt vooral in Nederland gebruikt. In Vlaanderen wordt gamma soms gebruikt om naar de biomedische wetenschappen te verwijzen. STEM (Science, Technology, Engineering and Mathematics) combineert de bèta-wetenschappen met ingenieurswetenschappen.



FIGUUR 2 Familiefoto van de hedendaagse wetenschappen

Deze indeling is enkel bedoeld als eerste kennismaking, niet als definitieve classificatie. De opdeling in faculteiten is bijvoorbeeld niet aan alle universiteiten dezelfde en bovendien veranderen vakgebieden in de loop van de tijd. Zelfs de grote opdeling in de interessedomeinen ‘natuur’ en ‘cultuur’ is niet absoluut: wiskunde kan bijvoorbeeld ook gebruikt worden om sociale en culturele patronen te beschrijven, aardrijkskunde bevat belangrijke aspecten van de menselijke cultuur en geschiedenis en zowel de technische wetenschappen (ingenieurswetenschappen) als de geneeskunde zijn gericht op menselijke toepassingen. Merk ook op dat er een zekere continuïteit is tussen de bovenkant en de onderkant van de lijst met wetenschappen in *figuur 2*: de logica speelt bijvoorbeeld ook een belangrijke rol in de filosofie.

In diverse wetenschapsdomeinen kan er verwarring optreden tussen hun onderwerp en de wetenschappelijke studie van dat onderwerp. Fysica, chemie en biologie worden soms begrepen als het geheel van fenomenen, terwijl natuurkunde en scheikunde duidelijk enkel naar de *studie van* die fenomenen kunnen verwijzen. Rechten, letteren en geschiedenis hebben een analoge dubbelzinnigheid, terwijl rechtsgeleerdheid, letterkunde en geschiedschrijving (historiografie) ondubbelzinnig naar de corresponderende discipline verwijzen. In het Engels wordt de faculteit letteren bovendien *faculty of arts* genoemd, waaruit we zouden kunnen afleiden dat er kunstpraktijk onderwezen wordt – terwijl dat niet zo is.

Toch is ook het onderscheid tussen de wetenschappen en de kunsten (in de figuur aangeduid met de Griekse

letter kappa) niet altijd glashelder. Met name in de menswetenschappen is er een zekere mate van continuïteit. Sommige wetenschappelijke tradities produceren bijvoorbeeld literair hoogstaande teksten: denk maar aan vroege filosofen die in dichtvorm schreven. Daarnaast is er een stroming die de exacte wetenschappen opnieuw met de kunsten wil verbinden. Aanhangers van het STEAM-idee breiden het acroniem STEM uit met de A van Arts – kunsten, dus. Hoewel ook een integratie van de cultuurwetenschappen de didactiek van STEM-vakken ten goede kan komen, is dat niet waar STEAM voor staat.

Er waren dus meerdere redenen om de kunsten apart in *figuur 2* op te nemen, als een domein dat naast de wetenschappen bestaat, terwijl er ook veel raakvlakken zijn.

De vragen die we tot nu hebben besproken, gaan over afbakening of *demarcatie*. Het zijn specifieke vormen van een algemenere vraag, die de basisvraag is van de wetenschapsfilosofie, namelijk: wat is wetenschap? Je kunt daarbij zoeken naar een contrast tussen wetenschap en een specifieke andere menselijke activiteit, zoals kunst. Of je kunt op zoek gaan naar een mogelijke afbakening en classificatie binnen de wetenschap. We komen uitgebreid op het demaractievraagstuk terug in hoofdstuk 4.

In tegenstelling tot Germaanse talen maakt het Engels een duidelijk onderscheid tussen *sciences* en *humanities*. De menswetenschappen (of geesteswetenschappen) zijn dus wel een wetenschap, maar geen *science*. Dat is evenwel niet altijd zo geweest: David Hume en andere achttiende-eeuwse Britse filosofen noemden de mens-

wetenschappen *moral sciences*. (Deze term dekte dus een bredere lading dan wat vandaag de dag met ‘moraalwetenschappen’ wordt bedoeld.)

Omgekeerd wordt de term ‘wetenschap’ in het Nederlands soms in engere zin gebruikt, net zoals in het Engels. Een faculteit wetenschappen, bijvoorbeeld, omvat alleen natuurwetenschappen. En als een krant nieuws meldt over ‘wetenschappelijke richtingen’, dan bedoelt de journalist meestal: natuur-, ingenieurs- en medische wetenschappen.

Denken en kijken

Traditioneel onderscheidt de filosofie twee mogelijke bronnen voor onze kennis: ons verstand en onze zintuigen. Je kunt je dat voorstellen aan de hand van twee wetenschappers, die op een totaal verschillende manier aan onderzoek doen: een wiskundige en een archeoloog.

De wiskundige werkt thuis of op kantoor en ze is vaak diep in gedachten verzonken. Tussendoor maakt ze cryptische tekeningetjes op papier. Ze probeert zich iets voor te stellen dat nog nooit iemand heeft gezien en dat misschien nergens op aarde bestaat. Toch ontdekt ze soms diepe waarheden: verbanden tussen getallen of meetkundige figuren, die over tweehonderd jaar nog steeds als waar aanvaard zullen worden. Met haar collega’s praat ze over haar onderzoek, terwijl ze bij een krijtbord staan, waar ze haar nieuwste bewijs op schrijft: zo kunnen ze elkaars bevindingen controleren.

De archeoloog trekt tijdens een wetenschappelijke missie als een ware ontdekkingsreiziger de wereld rond, om naar overblijfselen van een oude beschaving te zoeken en alle vondsten nauwkeurig te observeren en te documenteren. Na thuiskomst worden bepaalde voorwerpen nader bekeken, onder een microscoop gelegd en met eerder gevonden objecten vergeleken. Schilfers van de oude materialen worden met diverse technieken ontleed en gedateerd.

De eerste wetenschapper kan nieuwe kennis verwerven via het strikt logische, rationele denken: zij steunt op de *ratio*. De tweede wetenschapper brengt aspecten van de buitenwereld in kaart via waarnemingen met zijn eigen zintuigen: hij gebruikt de *empirie*.

Zo illustreert dit duo van wetenschappers twee oude visies op hoe mensen kennis verwerven. Volgens het *rationalisme* wordt kennis enkel verworven met – je raadt het al – de *ratio*: het verstand, dus. Een belangrijke filosoof die het rationalisme verdedigde was René Descartes (1596-1650). Het zal je misschien niet verbazen dat Descartes zelf ook een wiskundige was. Volgens het *empirisme* wordt kennis juist vooral verworven door onze zintuigen: via de empirie. Francis Bacon (1561-1626) en David Hume (1711-1776) waren belangrijke vertegenwoordigers van die visie. (We komen Bacon nog tegen in hoofdstuk 3 en zowel Bacon als Hume ook in hoofdstuk 5, wanneer we het over inductie hebben.)

Maar wie heeft er nu gelijk? Welke bron van kennis denk jij dat het betrouwbaarste is? We komen daar verderop

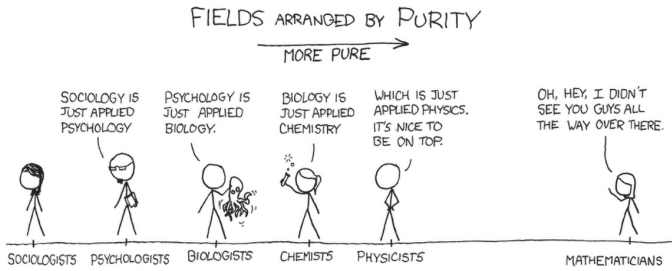
op terug. Voor nu volstaat het om te weten dat beide ingrediënten belangrijk zijn in de meeste hedendaagse wetenschappen: theorie aan de ene kant en waarneming of experiment aan de andere.

Cartooneske zuiverheid

Wetenschappen verschillen onderling sterk in de mate waarin ze (vooral) steunen op het denken of (vooral) op waarnemen en experimenteren. In de natuurwetenschappen geeft de empirische kant de doorslag: als een goed uitgevoerd experiment consistent in strijd is met een theoretisch resultaat, dan moet de theorie uiteindelijk herzien worden.

De cartoon *Purity* van Randall Munroe toont een aantal vakgebieden, gerangschikt volgens toenemende 'zuiverheid' (*figuur 3*). In de wiskunde wordt er onderscheid gemaakt tussen zuivere en toegepaste wiskunde. Munroe heeft dat idee uitgebreid: naarmate wetenschappen meer van wiskunde gebruikmaken, worden ze zuiverder genoemd; in de omgekeerde richting zijn ze meer toegepast. De psycholoog in het plaatje beweert dat sociologie slechts toegepaste psychologie is. Zo gaat het verder via biologie en chemie naar fysica. Op eenzame afstand staat een wiskundige.

In de filosofiefaculteit in Oxford, waar ook logici werken, zag ik dit plaatje in een gang hangen. Iemand had in dezelfde stijl een logicus getekend en het plaatje daarvan nog een eindje rechts, naast de wiskundige, geplakt.



FIGUUR 3 *Purity*, cartoon van de wetenschappen

Het idee van de cartoon is niet nieuw. Het gaat terug op de hiërarchie van Auguste Comte (1798-1857), grondlegger van de sociologie. Comte behoorde tot het *positivisme*: dat is geen synoniem voor optimisme, maar verwijst naar de ‘positieve’ feiten die de empirische wetenschappen verzamelen. De ordening van de wetenschappen die Comte voorstelde hangt nauw samen met een ander idee van hem: *de wet van de drie stadia*. Hieronder geef ik een opsomming van deze drie stadia. Probeer tijdens het lezen van de beschrijving van elk stadium een voorbeeld te bedenken van een wetenschap die erbij zou passen, dan vertel ik je achteraf hoe Comte dit zag. Volgens Comte verloopt de ontwikkeling van het menselijk denken, en dus van de wetenschappen, in de loop van de geschiedenis via de volgende stadia:

Een theologisch beginstadium, waarbij mensen verschijnselen proberen te verklaren met behulp van mythologische verhalen.

Een metafysisch middenstadium, waarbij mensen verschijnselen proberen te verklaren met behulp van abstracte begrippen.

Een positief eindstadium, waarbij mensen verschijnselen proberen te verklaren met behulp van andere verschijnselen, aan de hand van wetten.

Misschien ben je nu benieuwd welke voorbeelden Comte hierbij in gedachten had en of ze overeenkomen met jouw idee. Volgens hem had de wiskunde, als eenvoudigste en meest abstracte wetenschap, de drie stadia als eerste doorlopen, gevolgd door respectievelijk de sterrenkunde, de fysica, de chemie en de biologie. Volgens Comte zou de sociologie (en de gedragswetenschappen in het algemeen) als meest complexe wetenschap het positieve eindstadium als laatste bereiken.

De verticale lijst van wetenschappen in *figuur 2* kun je dus zien als een verfijning van een idee van Auguste Comte. Het feit dat ook Munroe de ordening gebruikte als basis voor een cartoon toont aan hoezeer het idee nu nog leeft. Het zit impliciet (en soms expliciet) vervat in schoolboeken. Zelfs volleerde wetenschappers nemen het voor waar aan – zeker als ze zich er nooit bewust vragen over hebben gesteld.

Het is nuttig om de negentiende-eeuwse oorsprong van deze ordening te kennen, omdat we zo kritisch kunnen kijken naar het onderliggende idee. Er is namelijk wel wat tegen Comtes hiërarchie in te brengen.