

10.1. Formele en empirische wetenschappen, en het dagelijks leven

Paul A.M. van Dongen © 2021

Door formele en empirische wetenschappen te onderscheiden kunnen sommige hardnekkige problemen echt opgelost worden.

Samenvatting

Er is een onderscheid tussen:

1. formele wetenschappen, zoals wiskunde en logica, en
2. empirische wetenschappen, zoals natuurkunde, biologie en experimentele psychologie.

De verschillen zijn (1) dat andere onderwerpen bestudeerd worden, (2) dat uitspraken anders worden getoetst, en (3) dat de status van kennis verschillend is. In formele wetenschappen zijn bewijzen mogelijk, zodat binnen het stelsel absolute zekerheid mogelijk is. In empirische wetenschappen is experimentele bevestiging het hoogst haalbare, waardoor alleen waarschijnlijkheidsuitspraken mogelijk zijn. Uitspraken in empirische wetenschappen moeten logisch en consistent zijn, maar als de gangbare wiskunde en logica ontoereikend zijn, gebruiken wetenschappers een andere wiskunde, zoals de Riemann-meetkunde, of een andere logica, zoals de kwantum-logica. In formele wetenschappen is 'oneindig' bijvoorbeeld een nuttig begrip, maar in empirische wetenschappen niet. Als formele en empirische wetenschappen strikt worden gescheiden, verdwijnen sommige hardnekkige filosofische problemen, zoals het probleem van inductie en problemen rond het causaliteitsbeginsel.

1. Inleiding
2. Verschillen tussen formele en empirische wetenschappen
 - 2.1. Definitie versus operationalisatie
 - 2.2. Het begrip 'rond'
 - 2.3. Het begrip 'oneindig'
 - 2.4. Schoonheid in de kosmologie
 - 2.5. Het probleem van inductie
 - 2.6. Causaliteit
 - 2.7. Darwinistische evolutie
 - 2.8. Statistiek
3. Als ook wiskunde en logica tekort schieten
4. Besluit

1. Inleiding

Volgens Aristoteles (Metaphysica Mu 10, 1087a14) zijn er twee soorten kennis: er is universele, oneindige kennis over abstracties, en eindige kennis over de concrete dingen. Locke (1689) en Hume (1739, 1748) formuleerden eenzelfde opvatting. Er zijn twee kennisgebieden: een over verbanden tussen concepten (*Relations of Ideas*), en een over feitelijke dingen (*Matters of Fact*). Tot het eerste gebied horen meetkunde, algebra, rekenkunde en logica; hier worden uitspraken bewezen of intuïtief bevestigd. Verbanden worden hier ontdekt door na te denken, ongeacht wat er in het heelal bestaat. Het tweede kennisgebied gaat over feitelijke dingen; hierin wordt kennis vastgesteld door waarneming. In tegenstelling tot de formele wetenschappen is dit geen absoluut zekere kennis: (Hume 1748, section IV, part I).

In dit stuk verdedig ik de visie dat een strikte scheiding tussen formele en empirische wetenschappen tot helderheid leidt. Als deze wetenschappen gescheiden worden, verdwijnen sommige hardnekkige filosofische problemen plotseling.

2. Verschillen tussen formele en empirische wetenschappen

In formele wetenschappen kan er een gesloten systeem van kennis zijn, maar niet in de empirische wetenschappen (Gettier 1963, Luper 2012). Aan de hand van enkele voorbeelden schets ik hoe vragen worden benaderd in formele en empirische wetenschappen. Ik hoop duidelijk te maken dat het voor een helder begrip noodzakelijk is om formele en empirisch wetenschappen volledig te scheiden.

Hume's fork

Latere auteurs (maar niet Hume zelf) hebben tweedelingen in de ideeën van Hume beschreven onder de term *Hume's fork* (Blackburn 1996, Bunnin en Yu 2004). Deze term wordt gebruikt voor verscheidene tweedelingen die niets met elkaar te maken hebben:

- het onderscheid tussen '*Relations of Ideas*' en '*Matters of Fact*'; dit is het onderscheid dat Hume maakt, en dat ik in dit stuk aanhang (als formele en empirische wetenschappen), maar niet als *Hume's fork* benoem;
- het onderscheid tussen '*demonstrative and probable reasoning*';
- het onderscheid tussen '*is*' en '*ought*';
- het '*dilemma of determinism*': onze handelingen zijn hetzij gedetermineerd of random, maar in beide gevallen zijn wij niet verantwoordelijk voor onze handelingen.

Het begrip *Hume's fork* heeft zoveel betekenissen, dat ik afraad dit begrip te gebruiken.

2.1. Definitie versus operationalisatie**Definities in formele en empirische wetenschappen**

De formele wetenschappen wiskunde en logica kunnen zo helder zijn, doordat binnen deze wetenschappen alleen axioma's en helder gedefinieerde begrippen toegelaten worden. Deze begrippen zijn door mensen gemaakt, dus deze mensen konden kiezen alleen strikt gedefinieerde begrippen toe te laten. De wiskundige Pascal verwoordde al dat definities thuis horen in de wiskunde, maar niet in de dagelijkse praktijk. "*want wiskundigen willen deze intuïtieve dingen wiskundig benaderen en maken zich belachelijk omdat ze willen beginnen met definities gevolgd door principes, wat bij deze vorm van denken niet de juiste aanpak is.*" (Pascal en de Graaff 1997). Hierdoor geïnspireerd hebben onder andere Rudolf Carnap (1928) en Mario Bunge (1977) een formele taal ontwikkeld voor empirische wetenschap.

Definities in de wiskunde

De Euclidische meetkunde begint met definities van de kernbegrippen, en vervolgens met axioma's (Euclides 300 BCE). Euclides (en ook de eerdere wiskundigen) kozen ervoor om uitsluitend begrippen te gebruiken die ze precies konden definiëren. De wiskundige methode was het formuleren van precieze definities en axioma's en deze volgens de principes van de logica te verwerken. Voor het leveren van bewijzen was de wiskunde zeer succesvol; daarom meende men dat de wiskundige methode de gouden weg naar 'de waarheid' was. Volgens Galilei (1623): "*is natuurfilosofie geschreven in dat grote boek dat steeds voor onze ogen is – ik bedoel het universum – maar we kunnen het niet begrijpen als we niet eerst de taal leren en de symbolen grijpen waarin het geschreven is. Het boek is geschreven in de taal van de wiskunde, en de symbolen zijn driehoeken, cirkels en andere meetkundige vormen, zonder welke we niet een enkel woord ervan konden begrijpen, en zouden we doel-*

loos door een donker doolhof lopen." (Galilei en Drake 1957).

Op het einde van zijn leven is Einstein gestopt met het aanpassen van zijn formules aan empirische bevindingen, maar zocht hij vooral de schoonheid van simpele formules. "*Ik ben begonnen met een skeptisch empirisme [...] maar door het probleem van de zwaartekracht ben ik [...] iemand geworden die de enige betrouwbare bron van Waarheid in wiskundige eenvoud zoekt.*" (Bodanis 2016, p.206).

Het Duhem-Quine probleem

Experimenten om een hypothese te toetsen kunnen theoretisch geen definitief uitsluitel geven, want een hypothese hangt altijd samen met andere hypothesen, en de manier om deze te toetsen is hypothetisch. Het is daarom onmogelijk een hypothese te testen door een zogenaamd 'cruciaal experiment'. Maar hier bespreekt men het testen van hypothesen alsof dit formele wetenschap betreft. Binnen een empirische wetenschap is dit geen steekhoudende kritiek, omdat men binnen een empirische wetenschap accepteert dat alleen waarschijnlijkheidsuitspraken mogelijk zijn.

Begrippen in het dagelijks leven en in empirische wetenschappen

In het dagelijks leven gebruiken we veel woorden in hun alledaagse betekenis. In het dagelijks leven bekommeren we ons niet over de precieze betekenis van woorden. Hierover waren Darwin en Wittgenstein het eens. Darwin besprak het begrip 'instinct': "*Ik ga niet proberen het woord instinct te definiëren [...] maar iedereen weet wat bedoeld wordt met [...]*". (Darwin 1859, ch.7). Wittgenstein besprak de betekenis van het begrip 'spel'. Hij vond geen algemeen geldende definitie, maar hij zei: we hebben geen definitie, en we hebben geen definitie nodig, want ook zonder definitie gebruiken we het woord met succes (Wittgenstein en Anscombe 1953 §116).

In het dagelijks leven kan men hiermee leven, maar niet in empirische wetenschappen. De

essentie van uitspraken in een empirische wetenschap is dat uitspraken afgewezen kunnen worden op basis van observaties of logica. Uitspraken in de natuurwetenschap moeten toetsbaar zijn. Maar het grote probleem is dat wetenschappers geen overeenstemming bereiken over de definitie van kernbegrippen (hoofdstuk 7.1.).

Operationalisatie in de natuurkunde

Uitspraken in de natuurkunde moeten toetsbaar zijn: *“alle termen moeten gereduceerd kunnen worden tot observatietaal.”* (Carnap 1936, 1937). ‘Meten is weten’, maar meten is niet altijd eenvoudig. De fysicus Percy Williams Bridgman deed onderzoek bij drukken die zo hoog waren dat ze met de gebruikelijke methodes niet gemeten konden worden, en dat de gebruikelijke drukmeters (manometers) kapot gingen. Bridgman stelde nieuwe experimentele methoden voor om die hoge drukken toch te schatten: we moeten een methode (een operatie) hebben om het concept te meten of vast te stellen (Bridgman 1927)¹. Dat is operationalisatie en dat geldt algemeen. Bijvoorbeeld: we kunnen niet definiëren wat ‘lengte’ is, maar er zijn verscheidene methoden om zeer kleine, middelmatige en zeer grote lengtes te meten. Hetzelfde geldt voor zeer lage of zeer hoge temperaturen, of zeer korte of zeer lange tijdsintervallen. De uitkomst van die metingen moet door een mens waargenomen worden, dus een beleving of een mentale gebeurtenis. Maar de basis voor empirische wetenschappen zijn intersubjectieve waarnemingen. Dit zijn steeds ‘operationele omschrijvingen’ (ook wel ten onrechte ‘operationele definities’ genoemd). *“... operationisme kan zijn bedoelde gunstige effecten alleen hebben als de betekenis van ‘operationeel’ in zijn toepassing beperkt wordt tot de definitie (ik zou zeggen ‘omschrijving’, Pvd) van empirische concepten.”* (Feigl 1945, p. 252). Operationalisatie van concepten in de natuurkunde is zo gebruikelijk, dat men daar nauwelijks een aparte term voor gebruikt.

Operationalisatie in de biologie

Het soortbegrip is een kernbegrip in de biologie. Ideaaltypisch wordt uitgemaakt of groepen individuen tot dezelfde soort behoren door te testen of ze onderling gekruist kunnen worden met vruchtbare nakomelingen. Dat is een operationalisatie van het soortbegrip. Maar zoals altijd in de biologie, zijn er veel uitzonderingen. Uitgaande van het soortbegrip zijn er lijsten opgesteld om dieren- of plantensoorten opera-

tioneel te determineren. In dit boek geef ik verder operationalisaties voor de begrippen ‘erfelijk’ en ‘instinctief’ (hoofdstuk 3.1.).

Operationalisatie in de geneeskunde

Bij medische diagnoses gebruikt men standaard operationalisaties. Diagnostische criteria zijn een lijst van observaties; als voldoende observaties positief worden beoordeeld is de diagnose gerechtvaardigd.

Operationalisatie in de psychologie

In de natuurkunde, scheikunde, biologie en in medisch diagnose is de operationalisatie-procedure zo gebruikelijk geworden, dat het niet eens meer zo genoemd wordt. Maar in de psychologie ligt het begrip ‘operationalisatie’ gevoelig (Moore 1985, Bickard 2001, Feest 2005). In de psychologie heeft het alle kenmerken van een ideologie, een -isme (Ebenstein 1954), gerelateerd aan logisch positivisme en behaviorisme.

De psychologen Stevens (1935), Tolman (1937), Boring (1945) en Skinner (1945) beschouwden operationalisaties als een exact wetenschappelijk alternatief voor de ‘subjectieve psychologie’, die uitging van belevingen. Een operationalisatie is *“spreken over: (1) de eigen observaties, (2) de manipulaties en berekeningen om deze observaties te doen, (3) de logische en wiskundige stappen tussen de eerdere en latere uitspraken, en (4) niets anders.”* (Skinner 1945, p. 270, zijn nadruk). *“Kort gezegd, alle empirische psychologen moeten hun concepten operationaliseren. En alle empirische psychologen moeten hun resultaten verdedigen door hun conceptuele vooronderstellingen en hun data te openbaren. Zo beschouwd, lijkt de hele discussie erover te gaan of psychologie überhaupt een empirische wetenschap kan zijn.”* (Feest 2005, p. 145.). Een wetenschap kan alleen vooruit gaan, als foute uitspraken geëlimineerd kunnen worden, d.w.z. dat de uitspraken toetsbaar moeten zijn, en operationalisatie is daartoe een methode. In dit boek geef ik onder andere operationalisaties voor de begrippen ‘aangeleerd’ (hoofdstuk 3.2.), ‘erfelijk’ en ‘instinctief’ (hoofdstuk 3.1.). Dankzij die operationalisaties kon ik langdurige wetenschappelijke problemen zoals het *nature/nurture*-probleem echt oplossen. Het beroemdste voorbeeld van een operationalisatie in de psychologie is het gebruik van IQ voor intelligentie.

¹ Een beroemde kernuitspraak van Bridgman (1927, p. 5) is: *“the concept is synonymous with the corresponding set of operations.”* Maar

Skinner (1945, p. 270) merkt terecht op dat dit niet letterlijk juist kan zijn.

2.2. Het begrip 'rond'

'Rond' in de wiskunde

In de wiskunde zijn de uitspraken 'een cirkel is rond' en 'een bol is rond' waar; ze zijn per definitie waar. Immers, een cirkel is gedefinieerd als de verzameling van punten in 2 dimensies die een gelijke afstand tot een punt hebben; en een bol is gedefinieerd als de verzameling van punten in 3 dimensies die een gelijke afstand tot een punt hebben. Een cirkel en een bol zijn volmaakt rond: er kan per definitie geen enkele afwijking zijn.

'De aarde is rond'

Stel men doet de uitspraak 'de aarde is rond'. Dit is complexer dan men op het eerste moment zou denken.

Aarde. Wat bedoel je met 'aarde'? Is het alleen de vaste grond, of reken je het water mee? Of reken je ook de dampkring mee? En zo ja, tot welke verdunning reken je de lucht mee? Voor het verdere betoog reken ik de vaste grond en het water mee, maar dat is natuurlijke een arbitraire keuze.

Empirie. Hoe stel je vast dat de aarde rond is. De Griekse astronoom Eratosthenes heeft op 21 juni rond 240 BCE de middagschaduw van loodrechte stokken in Aswan en Alexandrië opgemeten. Daaruit concludeerde hij dat de aarde een bol was met een omtrek van 252.000 stadia (= 46.100 km). Al ongeveer 500 jaar kunnen mensen met schepen om de aarde reizen. Nu zijn ruimtevluichten mogelijk en hebben we foto's van de aarde gezien vanuit de ruimte. We zien op foto's dat de aarde rond is.

Rond: Hoe groot mag de afwijking zijn, zodat je nog van 'rond' kunt spreken? Aan de polen is de straal van de aarde 21,38 km korter dan aan de evenaar; dat is een afwijking van 0,24%. De hoogste berg, de Mount Everest, is 8,85 km boven zeeniveau; dat is een afwijking van 0,14%. De vraag is dan: is de aarde minder rond dan een biljartbal? De diameter van een biljartbal is 61,5 mm, dus de afwijkingen aan de polen en de Mount Everest zouden voor een biljartbal respectievelijk afwijkingen van 210 μm en 90 μm zijn. Voor een dure wedstrijd biljartbal is de diametertolerantie 50 μm (Wikipedia). Dus: de aarde is net niet zo rond als een wedstrijd biljartbal, maar wel ronder dan de biljartballen waar ik meestal mee speel.

Terwijl in de wiskunde definities en perfectie mogelijk zijn, moet men in empirische wetenschappen afspreken welke afwijkingen nog acceptabel zijn.

2.3. Het begrip 'oneindig'

Oneindig in de wiskunde

Het begrip 'oneindig' heeft twee uitersten: oneindig groot en oneindig klein.

Oneindig klein. Gottfried Leibniz (1684) en Isaac Newton (1687) ontwikkelden de differentiaal- en integraalberekening door wiskundige figuren op te bouwen uit rechthoeken waarvan de breedte naar 0 nadert (d.i. oneindig klein is). Dat is de infinitesimaal rekening.

Oneindig groot. Georg Cantor (1883) heeft de verzamelingenleer ontwikkeld. De verzameling van natuurlijke getallen (0, 1, 2, 3, 4, ...) is oneindig. Dat is logisch noodzakelijk, omdat je aan het (tot dan toe) hoogste getal altijd een getal kunt toevoegen dat 1 hoger is. Ook de verzamelingen van de gehele getallen en de reële getallen zijn oneindig, maar groter dan de verzameling van natuurlijke getallen. Want tussen twee opeenvolgende gehele getallen liggen nog oneindig veel getalwaarden. In de wiskunde zijn de infinitesimaal rekening en oneindige getalreeksen nu geaccepteerde begrippen. In het algemeen vindt men 'oneindig' in de wiskunde een nuttig begrip. Al zijn er wiskundigen, zoals Wildberger, die het begrip 'oneindig' uit de wiskunde willen bannen (Gelter 2013).

Oneindig in de fysica

Geen enkele gemeten waarde is oneindig.

Tijd. Algemeen gaat men ervan uit dat de Big Bang 13,8 Gya (miljard jaar geleden) plaatsvond. Over gebeurtenissen voorafgaande aan de Big Bang kan men geen uitspraak doen. Dus het is zinloos te vragen "of het heelal altijd bestaan heeft" (= oneindig oud is). Ook over de toekomst van het heelal kan men geen onderbouwde uitspraak doen; hooguit kan men de uitzetting van het heelal extrapoleren.

Lengte. Algemeen gaat men er nu van uit dat het heelal niet oneindig uitgestrekt is, maar dat de maximale afstand in het heelal 13,8 miljard lichtjaar (= $1,3 \times 10^{26}$ m) is.

Snelheid. Een conclusie uit de relativiteitstheorie is dat niets sneller kan gaan dan de lichtsnelheid.

Meetonzekerheid. De meest nauwkeurige atoomklok kan toenames in tijd tot maximaal 17 decimale eenheden meten. Het is dus niet oneindig nauwkeurig.

Computers. Voor iedere computer is er een maximaal geheel getal dat deze computer kan verwerken. Als men toch hier een waarde aan toevoegt, reageert de computer met een 'overflow error' of zet hij de waarde op 0.

'Oneindig' in modellen over het dagelijks leven

De Petersburg paradox. Het volgende kansspel wordt voorgesteld. "Je wordt uitgenodigd om een spel te spelen waarin je herhaaldelijk een munt opgooit. Als je kop gooit, krijg je \$2. En de opbrengst verdubbelt bij iedere opeenvolgende keer dat je kop gooit. Het spel eindigt zodra je munt gooit. Hoeveel ben je bereid te betalen om dat spel te spelen?" (Kahneman 2011, p. 468). Een rationele speler is bereid het bedrag te betalen gelijk aan de verwachtingswaarde van het te winnen bedrag. Je kun berekenen dat de verwachtingswaarde oneindig is. Ofwel: een rationele speler is bereid elk willekeurig bedrag betalen, zelfs bijv. een miljoen euro. Maar de meeste mensen willen hooguit een paar euro betalen om dit spel te spelen (Kahneman 2011).

Het Hilbert's Hotel. De Duitse wiskundige David Hilbert (1862 - 1943) heeft de paradox van het Grand Hotel geformuleerd. Dat is een hotel met een oneindig aantal kamers, die alle bezet zijn. Maar als er nieuwe gasten komen, kunnen zij toch ieder een eigen kamer krijgen. Zelfs als een oneindig aantal nieuwe gasten komt (Hilbert 1926).

Parallele universums. Een alternatief voor de Kopenhagen-interpretatie van de kwantummechanica is dat er gelijktijdig oneindig veel werelden bestaan: een multiverse of parallelle universa (Everett 1957, DeWitt en Graham 1973). De consequenties van deze interpretatie zijn gekmakend.

'Oneindig' is een begrip dat past in formele wetenschappen zoals wiskunde en logica. Maar in het dagelijks leven of in empirische wetenschappen is 'oneindig' ongepast. Als men het begrip 'oneindig' toch toepast op dingen, leidt dat tot absurditeiten en verwarring. Het is beter formele en empirische wetenschappen volledig gescheiden te houden.

2.4. Schoonheid in de kosmologie

Pythagoras: 'De harmonie der sferen'

Pythagoras (ca 572 - ca 500 BCE) was een Grieks wiskundige en filosoof met belangstelling voor muziek. Hij ging uit van de getallenleer als uitgangspunt voor schoonheid. Dat paste hij toe op de muziek als de lengte van een snaar van een lier. Hij definieerde het octaaf als het interval tussen de toon van een snaar en de toon van een snaar met de halve lengte met gelijke spanning. Binnen het octaaf definieerde hij intervallen van snaarlengtes die harmonieuze klanken opleverden. Dit principe van harmonie paste hij ook toe op de bewegingen van hemellichamen: de aarde, planeten, maan en zon. Deze zouden zich in precieze

cirkelvormige banen rond een centraal vuur bewegen. Omdat de stralen van deze banen zich zouden verhouden als de tonen in het octaaf, brengen de hemellichamen muziek voort, een 'hemelse symfonie' of de 'harmonie der sferen'.

De schoonheid van de natuurwetten

Nu weten we (1) dat de planeten rond de zon bewegen in elliptische en niet cirkelvormige banen, (2) dat de afstanden van hun banen zich niet verhouden als de tonen in een octaaf, (3) dat de bewegingen beïnvloed worden door de aantrekkingskracht van andere hemellichamen, en (4) dat door de aantrekkingskrachten van andere planeten de banen van planeten afwijken van cirkels of ellipsen. De fraaie wiskundige 'harmonie der sferen' van Pythagoras, en de ellipsen van Kepler worden nu vervangen door de empirisch waargenomen 'rommelige' bewegingen van de planeten. Nu geldt de schoonheid van de gravitatiewetten, die de rommelige banen van planeten fraai beschrijven. Kleine afwijkingen van regelmatige planetenbanen leidde tot de ontdekking van nieuwe planeten. In empirische wetenschappen gaat men uit van de natuurwetten - en ook dat is schoonheid.

2.5. Het probleem van inductie

Logica

Het basisschema van een syllogisme, zoals ontwikkeld door Aristoteles (*analytica priora*), is:

- Voor alle A geldt B
- C is een A
- Dus: voor C geldt B.

Binnen de logica is dit perfect in orde. In hoofdstuk 3.6. zijn voorbeelden van, en toetsen voor syllogismen besproken. Gelden deze begrippen uit de logica ook voor empirische wetenschappen en het dagelijks leven?

Het 'probleem van inductie'

Het probleem van inductie is de vraag of de basisregel van de logica ook toepasbaar is op het dagelijks leven. Dit wordt vaak besproken aan de hand van de vragen "Zijn alle mensen sterfelijk?" of "Zijn alle zwanen wit?"

Sterfelijkheid. De vraag "Zijn alle mensen sterfelijk?" is een foute vraag in een empirische wetenschap. Uitspraken met "alle" zijn fout in een empirische wetenschap. Je kunt immers niet alle exemplaren onderzoeken, en je kunt niet zeker weten of je inderdaad alle exemplaren hebt onderzocht (zolang je zelf nog in leven bent). In empirische wetenschappen is de goede vraag: "Wat is de levensverwachting van mensen?" In Nederland was in 2007 de

gemiddelde levensverwachting voor mannen 78 jaar en voor vrouwen 82 jaar. Alle voldoende onderzochte mensen waren inderdaad sterfelijk. Voorlopig is de hoogste leeftijd voor een mens 120 jaar en 237 dagen (*Guinness Book of Records*, 1994). Dat u en ik sterfelijk zijn, zijn hypothesen. Een speciaal geval zijn de ongeveer 160 personen die in de VS diepgevroren zijn met de bedoeling hen te zijner tijd te laten ontdooien zodat ze verder kunnen leven. Of zij ooit echt tot gezond leven gewekt zullen worden, is een hypothese.

Zwarte zwanen. Ook de vraag "Zijn alle zwanen wit?" is een foute vraag in een empirische wetenschap. De goede vraag is bijvoorbeeld: "Welke kleuren hebben Knobbelzwanen en Zwarte zwanen?" 'Knobbelzwaan' (*Cygnus olor*) en 'Zwarte zwaan' (*Cygnus atratus*) zijn soortnamen van zwanen; die schrijf ik hier met hoofdletters. Uiteindelijk kan determinatie of DNA-onderzoek gebruikt worden om de soortnaam van een onderzocht individu vast te stellen. De onderzochte wilde Knobbelzwanen zijn wit, en de onderzochte wilde Australische Zwarte zwanen zijn zwart. Kwekers kunnen proberen om zwarte Knobbelzwanen en witte Zwarte zwanen te kweken.

Als het onderscheid tussen formele en empirische wetenschappen als een fundamenteel onderscheid in kennis geaccepteerd is, verdwijnt het "probleem van inductie" als sneeuw voor de zon. In het dagelijks leven en in empirische wetenschappen kunnen we alleen waarschijnlijkheids-, inductieve uitspraken doen. In een empirische wetenschap zijn uitspraken als "alle A zijn B" onjuiste uitspraken. Het probleem van inductie is niet opgelost, maar geëlimineerd.

Het woord 'specifiek' kan men beter niet in empirische wetenschappen en het dagelijks leven gebruiken. Monoklonale antilichamen krijgen vaak het epitheton ornans 'specifiek', maar ook monoklonale antilichamen zijn niet specifiek, maar men kan hooguit hun selectiviteit voor verschillende antigenen meten (van Dongen e.a. 1986).

2.6. Causaliteit

De opvattingen over causaliteit zijn uitgebreid besproken in hoofdstuk 10.2.

Causaliteit in formele wetenschappen

Causaal determinisme is alleen van toepassing in formele wetenschappen. Dan kan men stellen dat een oorzaak de noodzakelijke en voldoende voorwaarde is voor een gebeurtenis die we 'effect' noemen. De begrippen noodzakelijke en voldoende voorwaarden zijn alleen

van toepassing in formele wetenschappen. Absoluut zekere kennis is alleen mogelijk in formele wetenschappen en niet in empirische wetenschappen en in het dagelijks leven.

Causaliteit in empirische wetenschappen

Gebeurtenissen uit het verleden. Causaal verklaren van gebeurtenissen uit het verleden is deze gebeurtenissen herleiden uit de begin-toestand van de dingen en de natuurwetten (Hempel 1965). Dat lukt vaak. Als een computer niet voorspelbaar werkt, zoekt een reparateur de oorzaak in kapotte hard- of software, en nooit in falende natuurwetten. Een causale analyse is de start van de reparatie van ieder kapot ding.

Toekomstige gebeurtenissen. De waarschijnlijkheid (of kans) op een toekomstige waarneming op basis van eerdere waarnemingen is besproken door Bayes en Price (1763). Dit is uitgewerkt door Laplace (1812) tot wat we nu het 'Theorema van Bayes' noemen. Hij besprak dat aan de hand van de vraag "Wat is de kans dat de zon morgen opgaat?" Dat kan men op verschillende manieren benaderen.

1. Opvolgingsregel: als de zon de afgelopen 10.000 opeenvolgende dagen opgekomen is, dan is volgens Laplace de kans dat de zon morgen opkomt $10.001/10.002$ (= 99,9900020%).
2. Natuurwet: maar Laplace betoogde ook dat de kans dat de zon morgen opgaat, groter is dan bovenstaande berekening, want er is geen natuurverschijnsel bekend dat de bewegingen van aarde en zon kan verstoren.
3. Hume (1739, 1748) betoogde dat er hooguit regelmatige opeenvolgingen tussen twee gebeurtenissen zijn, maar geen noodzaak (of zekerheid) dat het gevolg altijd optreedt: er kan altijd iets anders gebeuren. In werkelijkheid zijn er alleen verwachte en onverwachte gebeurtenissen. Bij experimenten en in het dagelijks leven kunnen er altijd onverwachte of onbekende gebeurtenissen optreden. Ook Wittgenstein (1922, 6.36311) deelt deze mening: "Dat de zon morgen zal opgaan, is een hypothese; en dat betekent: we weten niet of zij zal opgaan." Iedere uitspraak over de toekomst is een hypothese. De verwarring rond het begrip oorzaak heeft twee oorzaken.

- Men onderscheidt onvoldoende 'reden' als mentaal proces en 'oorzaak' als fysiek proces (hoofdstuk 10.3.).
- Als men een strikt onderscheid maakt tussen formele wetenschappen en de empirie, wordt het begrip 'oorzaak' verrassend helder (hoofdstuk 10.2.).

2.7. Darwinistische evolutie

De formele basis van Darwinisme: tautologisch

De evolutietheorie van Darwin (1859) heeft dwingende logica. (1) Levende organismen krijgen meer nakomelingen dan op lange termijn kunnen overleven door een tekort aan natuurlijke hulpbronnen (Malthus 1798). (2) Er is enige variatie tussen deze nakomelingen. (3) Een deel van deze variatie wordt overgedragen op het nageslacht. (4) De kans op overleven en het krijgen van nakomelingen hangt af van deze variatie. Deze premissen leiden (in een theoretische wereld) onvermijdelijk tot evolutie. Maar er is geen dwingende noodzaak dat iets in de wereld van de dingen beantwoordt aan deze logische premissen. Alleen in de wereld van de logica is er plaats voor dwingende noodzaak. Kort door de bocht is het Darwinisme wel samengevat als “*struggle for life*” en “*survival of the fittest*”. ‘Fitness’ is een complex en lastig definieerbaar begrip: men kan spreken over de fitness van een individu of de fitness van een gen (Brommer 2004, Roff 2008). Fitness van genen leidt tot de simpelste en meest elegante modellen. Maar als het meest fitte gen dat gen is dat overleeft, is ‘survival of the fittest’ tautologisch. Dat is maar goed ook: de basis van een acceptabele theorie moet (op zijn minst) logisch consistent zijn (= tautologisch, Van Dongen en Vossen 1984, Ayala 2009).

Empirisch toetsen van Darwinistische ideeën

Zoals iedere theorie in empirische wetenschappen dient het Darwinisme empirisch getoetst te worden. Twee aspecten van het Darwinisme dienen empirisch getoetst te worden: afstammingslijnen en het mechanisme van evolutie.

Toetsen van afstammingslijnen. Kwantitatief het best onderbouwd zijn stambomen op grond van biochemische gegevens (DNA). Een kritische toets van afstammingslijnen is of de DNA-gegevens overeenstemmen met de gegevens van fossielen. Die overeenstemming is zo goed dat de afstammingslijnen bevestigd zijn (van Dongen en Vossen 1984). Tegenwoordig vormen DNA-vergelijkingen en niet fossielen de gouden standaard om afstammingslijnen vast te stellen.

Toetsen van het mechanisme. In 1859 meende Darwin dat ook verworven eigenschappen op de latere generatie worden overgedragen. In zijn latere werk heeft hij zijn ideeën over erfelijkheid uitgewerkt, om een natuurwetenschappelijke hypothese te formuleren hoe verworven eigenschappen overgeërfd

kunnen worden. Die ideeën zijn inmiddels verworpen en vergeten omdat ze uitgingen van foute ‘feiten’.

Als men theorieën over het mechanisme van Darwinistische evolutie wil toetsen, moeten de volgende vragen empirisch beantwoord worden:

1. Is de betreffende eigenschap erfelijk? En in welke mate?
2. Heeft de betreffende eigenschap invloed op het aantal (overlevende) nakomelingen?
3. Verandert de frequentie van genen voor de eigenschap in de populatie in de loop der generaties?

4. Hoe komt dit tot stand (causale verklaring)? Het meest beroemde voorbeeld van een causale verklaring van darwinistische evolutie is wel het industrieel melanisme van de berken-spanner (een vlindertje, Huxley 1942). Ondanks de plausibiliteit en de populariteit van dit voorbeeld, is pas in 2012 empirisch bevestigd dat dit echt adaptatie is (hoofdstuk 3.1.). Een voorbeeld van Darwinistische evolutie is het ontstaan van resistentie bij ziekteverwekkende bacteriën en virussen tegen antibiotica en virusremmers. Bij het ontstaan van resistentie zijn steeds de eerste 3 vragen beantwoord, en in veel gevallen weet men ook welke genen een rol spelen (Briggs en Fratamico 1999). Ook denkt men tegenwoordig algemeen dat aanpassingen (adaptatie) niet in alle gevallen het ontstaan van eigenschappen verklaren, maar dat het ‘toeval’ soms een rol speelt, en dat neutrale mutaties frequent zijn.

De theoretische grondslag van Darwins theorie van evolutie door natuurlijke selectie is logisch consistent (= tautologisch), en dat moet bij een acceptabele theorie inderdaad het geval zijn. Maar elementen van Darwins theorie zijn wel degelijk falsifieerbaar, en elementen van de erfelijkheidstheorie van Darwin zijn op empirische gronden verworpen.

2.8. Statistiek

Statistiek als wiskundig formalisme

Statistiek was aanvankelijk een formele wiskundige wetenschap. Wiskundigen zoals Laplace, Gauss en Fisher construeerden formele verdelingen op basis van aannames.

Toepassing van de statistiek in empirische wetenschap

In de empirische wetenschap speelt statistiek een cruciale rol. In traditioneel onderzoek heeft de onderzoeker een hypothese (H_0) waarvan hij hoopt dat deze correct is. Zo'n hypothese kan zijn dat er verschil is tussen groepen, of dat een interventie succes heeft. Om dit te

toetsen formuleert hij een nulhypothese (H_0), die het omgekeerde is van de onderzoekshypothese, bijvoorbeeld: geen verschil. Hij hoopt de nulhypothese te verwerpen. De onderzoeker verzamelt resultaten en doet daar berekening aan, zodat hij een p-waarde krijgt. Er zijn verscheidene foutieve interpretaties van een p-waarde:

- De p-waarde is de kans dat de empirische resultaten aan toeval toegeschreven moeten worden.
- De p-waarde is de kans dat de empirische resultaten ontstaan bij replicatie.
- De p-waarde is de kans dat de onderzoekshypothese waar is, d.i. $p(H_e|R)=1$ (waarin H_e = de onderzoekshypothese, en R = de behaalde resultaten)

De juiste interpretatie van p-waarde is: de p-waarde is de kans om de gevonden waarden te krijgen, gegeven dat de nulhypothese waar is ($p(R|H_0)$). *“Maar er is in de praktijk geen methode dat we absoluut zeker kunnen zijn dat de nulhypothese waar is. Als we dat zeker konden weten, zouden we nooit testen voor statistische significantie.”* (Carver 1978, p. 383). Eigenlijk is de onderzoeker geïnteresseerd in de kans dat zijn hypothese juist is, gegeven de onderzoeksresultaten (dus $p(H_e|R)$), maar dat berekent men met Bayesiaanse kansberekening.

3. Als ook wiskunde en logica tekort schieten

De theoretische grondslag van empirische wetenschappen

“Natuurkunde is geschreven in de taal van wiskunde” (Galilei 1623). Men kan alle empirische wetenschappen ook theoretisch benaderen. Zo zijn er bijvoorbeeld theoretische natuurkunde en theoretische biologie. Uitspraken in deze theoretische wetenschappen worden beoordeeld op hun logische consistentie en hun schoonheid. Zo waren de speciale en algemene relativiteitstheorie aanvankelijk theoretische constructies, maar zij werden later ondersteund door waarnemingen. Ook kan men een formele taal ontwikkelen om de logica van empirische wetenschappen te beschrijven, zoals Bunge (1977) heeft gedaan. Het is met theoretische wetenschappen als met boekhouden: de sommen moeten kloppen, maar dat is geen garantie voor overeenstemming met de wereld van de dingen.

Meetkunde en relativiteitsleer

De oudste meetkunde is de meetkunde volgens Euclides van Alexandrië (ca. 300 BCE). Het vijfde postulaat in de Euclidische meetkunde stelt dat parallelle lijnen elkaar niet

snijden. Nikolai Ivanovich Lobachevsky (1823), Janos Bolyai (1831), en Carl Friedrich Gauss (1832) verwierpen onafhankelijk van elkaar rond 1830 het parallellijnen-postulaat, en formuleerden de principes van een niet-Euclidische meetkunde. In 1854 werkte Bernhard Riemann dit uit tot de Riemann-meetkunde. Een conclusie van de algemene relativiteitstheorie was dat de tijd-ruimte gekromd is (Einstein 1916). De Riemann-meetkunde (en niet de Euclidische meetkunde) was geschikt voor meetkundige beschrijvingen in een gekromde tijd-ruimte. Als empirie toont dat de gangbare meetkunde tekortschiet, dan kiezen wetenschappers gewoon een andere meetkunde.

Logica en kwantummechanica

Conclusies uit de kwantummechanica zijn onder andere (1) dat er geen waarnemer-onafhankelijke werkelijkheid is, en (2) dat er een fundamentele onzekerheid is over de plaats en snelheid van een deeltje. Einstein heeft de Einstein–Podolsky–Rosen paradox geformuleerd om aan te tonen dat de kwantummechanica onjuist moest zijn (Einstein e.a. 1935). Experimentele toetsing toonde het tegenovergestelde (Aspect e.a. 1982): vooralsnog zijn voorspellingen op basis van de kwantummechanica in overeenstemming met latere observaties. We moeten concluderen dat we in een bizarre wereld leven die niet invoelbaar of te begrijpen is vanuit onze macroscopische ervaring, en die strijdig is met de klassieke logica. Daarom ontwierpen Birkhoff en Von Neumann (1936) de kwantum logica. Putnam (1968) ondersteunde dit in zijn artikel *“Is logic empirical?”* Als empirie toont dat de gangbare logica tekortschiet, dan ontwerpen wetenschappers gewoon een andere logica.

4. Conclusies

Aristoteles, Hume, Carnap

In dit stuk onderschrijf ik de conclusies van Aristoteles en Hume (1739, 1748) dat een helder begrip alleen mogelijk is als empirische en formele wetenschappen volledig gescheiden worden. Ook Carnap onderschreef deze conclusie: *“Het belangrijkste inzicht dat ik gewonnen heb van het werk (van Wittgenstein), was het inzicht dat de waarheid van logische uitspraken uitsluitend gebaseerd is op hun logische structuur en op de betekenis van de termen. Uitspraken in de logica zijn onder alle denkbare omstandigheden waar, dus hun waarheid is onafhankelijk van de eventuele feiten van de wereld. Aan de andere kant volgt hieruit dat deze uitspraken niets zeggen over de wereld, en dus geen feitelijke inhoud hebben.”* (Carnap 1963, p.25). Natuurlijk moeten

de formuleringen in empirische wetenschappen logisch en consistent zijn, maar als wiskunde of logica tekort schiet, kiezen of maken empirische wetenschappers wel een andere wiskunde of een andere logica.

Kennis in formele en empirische wetenschappen

In het zelfgekozen denkkader van de wiskundes en de logica's kan men van veel uitspraken met zekerheid zeggen dat ze 'waar' of 'onwaar' zijn. Eerder heb ik verdedigd om de predicaten 'waar', 'onwaar' en 'bewezen' uitsluitend te gebruiken in de formele wetenschappen (Van Dongen en Vossen 1984).

In empirische wetenschappen is de situatie fundamenteel anders. Hier gaat men uit van een wereld buiten de mens, die door mensen ontdekt kan worden.

Op basis van herhaalde observaties besluit men:

- welke **observaties** correct zijn – ofwel door onafhankelijke observatoren bevestigd (dit noemt men wel *'reliable'*),
- welke **hypotheses** bevestigd worden, dat is: de voorspellingen op basis van een hypothese stemmen overeen met observaties (dit noemt men wel *'validated'*),
- welke **theorieën** bevestigd worden, dat is: de theorieën die zodanig zijn dat ze leiden tot hypothesen die bevestigd zijn.

In empirische wetenschappen is alle kennis waarschijnlijkheidskennis, maar in sommige gevallen is de kans dat een uitspraak 'juist' is, heel klein of heel groot. Hier verdedig ik het standpunt dat de formele en empirische wetenschappen *Nonoverlapping Magisteria* zijn (Gould 1997), al biedt de wiskunde een handzame taal voor de natuurwetenschappen.

Vermijd 'waarheid'

Locke was skeptisch over het begrip 'waarheid': er is wellicht "... *reden om te vermoeden dat er hetzij helemaal niet zoiets als waarheid is, of dat de mensheid niet genoeg middelen heeft om daar zekere kennis over te bereiken.*" (Locke 1689, 1, 1, 2).

Men kan exacte definities van 'de waarheid' proberen zoals:

- De verzameling van alle bewezen stellingen in wiskunde en logica (maar welke wiskunde en welke logica, en wat te doen met nog onbewezen stellingen?).

- De verzameling van alle natuurwetten (maar dat zou dan moeten zijn: 'alle natuurwetten die niet in de toekomst bijgesteld worden, en alle natuurwetten die in de toekomst ontdekt worden...')
- De verzameling van alle feiten... (maar dat zou dan moeten zijn: 'alle feiten die niet in de toekomst bijgesteld worden...')

Ieder van deze definities heeft op zich al problemen, en verder gebruikt niemand het woord 'de waarheid' in die betekenissen.

Het gebruik van het woord 'de waarheid' leidt tot spraakverwarring, niet-toetsbare uitspraken (hoofdstuk 7.3), en opschepperij van de spreker die 'de waarheid in pacht heeft'. Ook 'waarheidsvinding' door justitie leidt niet altijd tot getoetste kennis; en er zijn juridische principes die de waarheidsvinding belemmeren (zoals het recht van de verdachte om te zwijgen en 'ontoelaatbaar bewijs').

Ik heb aanbevolen (van Dongen en Vossen 1984) om het bijvoeglijk naamwoord 'waar' uitsluitend te gebruiken voor bewezen stellingen in de wiskunde of logica. Verder raad ik aan om het zelfstandig naamwoord 'waarheid' niet meer te gebruiken. De term 'waarheid' leidt alleen maar tot nonsens en opschepperij, behalve als je spreekt over een inmiddels opgeheven communistische krant.

In de praktijk wordt het woord 'waarheid' vooral gebruikt in "ik zal hem eens de waarheid vertellen", En dan BETEKENT 'waarheid' het 'subjectieve negatieve oordeel over een afwezige ander'. (Bedenk dat, als je nog een keer het woord 'waarheid' wil gebruiken...)

Scheid empirische en formele wetenschappen

In dit stuk heb ik verdedigd dat empirische waarneming, en nadenken over empirische waarnemingen, de enige methode is om kennis over de wereld te verwerven. Dit standpunt is het empirisme. Als men heldere, toetsbare uitspraken wil doen, raad ik aan om empirische en formele wetenschappen te scheiden, maar delen van de taal en logica van formele wetenschappen toe te passen op observaties. In beide soorten wetenschappen gelden andere spelregels en is de status van kennis fundamenteel anders. In empirische wetenschappen maakt men de tactische keuze om zich te beperken tot algemeen observeerbare gebeurtenissen.

