

INHOUDSOPGAVE

1	Inleiding	1
1.1	Filosofie als denken over denken	3
1.2	Waarom denken over wetenschappelijk denken?	7
1.2.1	Waarom logica?	7
1.2.2	Waarom wetenschapsfilosofie?	10
I	Logica	13
2	Verzamelingen, relaties, functies	15
2.1	Verzamelingen	17
2.2	Binaire relaties	20
2.3	Functies	22
2.4	Niet-binaire relaties	24
3	Zinslogica	27
3.1	Syntaxis	29
3.2	Semantiek	36
3.3	De waarheidstafelmethode	42
3.3.1	De methode voor logische waarheid	42
3.3.2	De methode voor consistentie	49
3.3.3	De methode voor logische geldigheid	51
3.3.4	Partiële waarheidstafels	55
3.4	Bewijsbaarheid	57
4	Predicatenlogica en eerste-ordelogica	63
4.1	Predicatenlogica	65
4.1.1	Syntaxis	65
4.1.2	Semantiek	67

4.2	Eerste-ordeloga	70
4.2.1	Syntaxis	70
4.2.2	Semantiek	75
4.2.3	Bewijsbaarheid	81
II	Geschiedenis van natuurfilosofie en natuurwetenschap	89
5	Natuurfilosofie bij de Grieken	91
5.1	Mythe, mythologie en demythologisering	93
5.2	De vroege Griekse natuurfilosofen	96
5.2.1	Welke oerstof?	96
5.2.2	Verandering of niet?	101
5.2.3	Pluralisme of atomisme	107
5.2.4	Pythagoras: de wiskunde als sleutel	110
5.3	De methodologie en natuurfilosofie van Aristoteles	112
5.3.1	Syllogistiek	112
5.3.2	De beperkingen van de syllogistiek	118
5.3.3	Wetenschap en dialectiek	124
5.3.4	De natuurfilosofie van Aristoteles	128
5.3.5	De ptolemeïsche astronomie	132
6	De wetenschappelijke revolutie	137
6.1	Copernicus en het heliocentrisme	141
6.2	Kepler en de nieuwe astronomie	145
6.3	Galilei en de nieuwe fysica	149
6.4	Descartes en de nieuwe wiskunde	154
6.5	Bacons 'nieuwe instrument'	158
6.6	Newton en het nieuwe paradigma	163
6.6.1	Een nieuw paradigma	163
6.6.2	Wetenschappelijke methodologie	168
6.6.3	Bestaan zwaartekracht en absolute ruimte?	172
6.7	Lavoisier en de revolutie in de chemie	176
III	Wetenschapsfilosofie	181
7	Inferenties, theorieën en observaties	183
7.1	Inferenties: deductie, inductie, abductie	185
7.2	Theorieën	192

7.3	Observaties en experimenten	195
7.3.1	De prioriteit van theorie	196
7.3.2	Detectie	199
7.3.3	Observatiezinnen	202
8	Verificatie en falsificatie	205
8.1	Directe verificatie en falsificatie	207
8.1.1	De basisnoties	207
8.1.2	Grenzen aan directe verificatie en falsificatie	211
8.2	Indirecte verificatie en falsificatie	218
8.2.1	De basisnoties	218
8.2.2	Voorbij de grenzen?	221
8.2.3	Het Quine-Duhem-probleem	223
8.2.4	Ad-hoc-hypotheses	226
8.3	Het verificationisme en falsificationisme	227
9	Waarschijnlijkheid	233
9.1	De waarschijnlijkheidstheorie	235
9.1.1	De waarschijnlijkheid van verzamelingen	235
9.1.2	De waarschijnlijkheid van zinnen	242
9.2	Interpretaties van waarschijnlijkheid	246
9.2.1	Het eindig frequentisme	246
9.2.2	De klassieke interpretatie	250
9.2.3	De subjectieve interpretatie	257
10	Inductie en confirmatie	263
10.1	Twee problemen in verband met inductie	265
10.1.1	Humes probleem	266
10.1.2	Het nieuwe raadsel	270
10.2	De hypothetisch-deductieve confirmatietheorie	273
10.2.1	De theorie	273
10.2.2	Problemen	277
10.3	De bayesiaanse confirmatietheorie	283
10.3.1	Diachrone probabilistische coherentie	284
10.3.2	Probabilistische confirmatie	293
10.3.3	Toepassing: de replicatiecrisis	296
10.3.4	Hypothetisch-deductieve confirmatie opnieuw	301
10.3.5	Inductie opnieuw	306

11 Abductie en verklaringen	311
11.1 Verklaringen	313
11.1.1 De deductief-nomologische theorie	313
11.1.2 Wetten	317
11.1.3 Problemen	320
11.1.4 Probabilistische relevantie	323
11.1.5 Causaliteit	324
11.1.6 Kan wetenschap alles verklaren?	327
11.2 Beste verklaringen	329
11.2.1 Theoretische deugden	329
11.2.2 Incommensurabiliteit	333
11.2.3 Onderdeterminatie	335
11.3 Abductie, deductie en inductie	341
11.4 Abductie en wetenschappelijk realisme	346
12 Wat is wetenschap?	353
12.1 Demarcatie	355
12.2 Het falsifieerbaarheids criterium	357
12.2.1 Inductie, confirmatie en falsifieerbaarheid	357
12.2.2 Pseudowetenschap en echte wetenschap	359
12.2.3 Protowetenschap en echte wetenschap	365
12.2.4 Problemen	367
12.2.5 Gevalstudie: antropogene klimaatopwarming	373
12.3 Meervoudige demarcatiecriteria	379
12.3.1 Gevalstudie: scheppingswetenschap	379
12.3.2 De complexiteit van het wetenschapslandschap	382
12.4 Wetenschap en ethiek	384
Bibliografie	389

Voorwoord

De Romeinse redenaar Cicero (106-43 v.Chr.) vertelt in zijn *Tusculanae disputationes* (5.8-5.9) de volgende anekdote over de Griekse filosoof en wiskundige Pythagoras (ca. 570 - ca. 490 v.Chr.). Leon, de tiran van Phlius, bewonderde Pythagoras om zijn vindingrijkheid en welsprekendheid. Hij vroeg hem welke specifieke kunst of kunde hij als de zijne beschouwde. Pythagoras antwoordde dat hij geen enkele kunst of kunde als de zijne beschouwde, maar dat hij een filosoof was. Leon had nog nooit gehoord van 'een filosoof' en vroeg Pythagoras wat dit betekende, en waarin een dergelijk persoon verschilt van andere mensen. Pythagoras vergeleek daarop het leven met de panhelleense spelen, waarvan de Olympische spelen de bekendste zijn. Sommigen gaan er naartoe om te wedijveren voor een prijs. Ze zijn op zoek naar faam. Anderen gaan er naartoe om waren te verkopen. Ze zijn op zoek naar winst. De besten gaan er naartoe om te kijken wat er gebeurt en hoe het gebeurt. Ze zijn op zoek naar wijsheid. Zij zijn de filosofen.

De metafoor van Pythagoras heeft een tekortkoming. Ze suggereert dat in de zoektocht naar wijsheid we slechts passieve toeschouwers zijn. De Oostenrijkse filosoof Karl Popper (1902-1994) legt het verschil uit aan de hand van twee metaforen. Je kan de geest opvatten als een emmer of als een zoeklicht. Volgens het beeld van de geest als een emmer wordt onze geest passief gevuld door perceptie, zoals de emmer door water. Volgens het beeld van de geest als een zoeklicht verwerft onze geest kennis door zich tijdens de perceptie actief op iets te richten, zoals een zoeklicht in het donker zaken zichtbaar maakt. Waarop het zoeklicht niet gericht wordt, wordt ook niet gezien. Op de omslag van dit boek worden beide metaforen gecombineerd. Er zijn toeschouwers en er is een schijnwerper.

Dankwoord

Michael Wyckmans heeft het gehele boek zeer grondig nagelezen en mij bijzonder waardevolle raad verstrekt. Mijn collega prof. dr. Pieter d'Hoine heeft hoofdstuk 5 grondig nagelezen en mij zijn erg nuttige opmerkingen bezorgd.

Marie Vanhoutte en Nina Waegemans hebben als uitgever en redacteur mij in elk stadium van het publicatieproces heel professioneel begeleid.

1

INLEIDING

1.1. Filosofie als denken over denken

Aanvankelijk vertelden mensen verhalen over goden, halfgoden en helden die in een soort van oertijd handelingen gesteld hebben die verklaren hoe de wereld en de mens tot stand gekomen zijn en die het uitzicht van de wereld en de maatschappij bepaald hebben. De mensen vertelden mythes. Toen vond de Griekse natuurfilosofische revolutie plaats. Verklaringen waarin een beroep gedaan werd op goddelijke wezens werden vervangen door fysische verklaringen. De Griekse natuurfilosofen speculeerden lustig over de natuur. Hun speculaties probeerden ze te onderbouwen met rationele argumenten, waartegenover ze een kritische ingesteldheid ontwikkelden en waarover zij in debat gingen. In hoofdstuk 5 wordt hierop ingegaan.

De grootste Griekse natuurfilosoof, Aristoteles, ontwikkelde een wereldbeeld dat, met steun van de katholieke kerk, eeuwenlang het denken over de natuur en de hemel zou domineren. Daarna vond een tweede belangrijke revolutie plaats. Het aristotelische wereldbeeld werd verlaten. De natuurfilosofie werd vervangen door natuurwetenschap, waarin wiskunde en experimenten centraal kwamen te staan. In hoofdstuk 6 wordt dit verhaal verteld.

Zowel Aristoteles als de reuzen van de wetenschappelijke revolutie beperkten zich niet tot het nadenken over de natuur. Ze dachten ook na over het denken over de natuur zelf (par. 5.3.3, 6.5 en 6.6.2). Denken over de wereld of delen daarvan kan omschreven worden als ‘eerste-ordedenken’. Denken over denken over de wereld of delen daarvan kan dan omschreven worden als ‘tweede-ordedenken’ of ‘meta-denken’. Deze activiteit karakteriseert de hedendaagse filosofie zeer goed. Filosofie werd door Quinton (2005, p. 666) als volgt gedefinieerd:

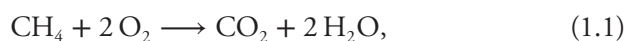
The shortest definition, and it is quite a good one, is that philosophy is thinking about thinking. That brings out the generally second-order character of the subject, as reflective thought about particular kinds of thinking — formation of beliefs, claims to knowledge — about the world or large parts of it.

Het lijkt geen twijfel dat belangrijke onderdelen van filosofie vallen onder tweede-ordedenken. Beschouw bijvoorbeeld het volgende argument:

1. Iridium is een metaal.
2. Alle metalen geleiden elektriciteit.
3. Bijgevolg geleidt iridium elektriciteit.

Het onderwerp van het bovenstaande argument behoort tot de chemie: het argument heeft betrekking op iridium (Ir) en metalen. Maar je kan het argument zelf ook tot onderwerp van reflectie maken door je de vraag te stellen of het een goed argument is en, zo ja, welke eigenschap het tot een goed argument maakt. Dit is het onderwerp van de *logica*, die voornamelijk in deel I aan bod komt. In de logica zijn goede argumenten geldige argumenten. Een argument is geldig als en slechts als de waarheid van de conclusie noodzakelijk volgt uit de waarheid van premissen. Met andere woorden, een argument is geldig als en slechts als het onmogelijk is dat de premissen waar zijn en de conclusie onwaar is. Er is dan geen speld te krijgen tussen de conclusie en de premissen. Deze karakterisering is natuurlijk enigszins vaag, omdat de noties van ‘noodzakelijk’ en ‘mogelijk’ niet precies gemaakt werden. Dit vind je verderop in het boek terug (par. 3.2, 4.1.2 en 4.2.2).

Voor een tweede voorbeeld moet je je voorstellen dat je in de achttiende eeuw een hele reeks chemische reacties bestudeert. Zo ga je bijvoorbeeld de massa van methaan- en zuurstofgas voorafgaand aan verbranding meten en meet je ook de massa van het koolzuurgas en het water na verbranding. Telkens meet je de massa van de reagentia en de massa van de reactieproducten bij verschillende chemische reacties, waarbij je er zorg voor draagt dat de massa van alle reactieproducten (inclusief de vrijkomende gassen) gewogen wordt. Keer op keer stel je experimenteel vast dat de totale massa van de reactieproducten gelijk is aan de totale massa van de reagentia. Vervolgens ga je veralgemenen tot de conclusie dat altijd en overal de totale massa van de reactieproducten gelijk is aan de totale massa van de reagentia. Dit is een voorbeeld van *inductief* redeneren, dat aan bod komt in hoofdstuk 10. We springen nu naar de negentiende eeuw en we gaan op zoek naar een verklaring voor de wet van behoud van massa bij chemische reacties. Zo zou je kunnen denken dat de reactieproducten samengesteld zijn uit verschillende soorten van atomen, waarbij elke soort haar eigen massa heeft. Het behoud van massa bij chemische reacties wordt verklaard vanuit de hypothese dat het aantal en de soorten atomen bij een chemische reactie constant blijven. De verbranding van methaangas met behulp van zuurstofgas ga je nu als volgt analyseren:



waarbij CH₄ het methaangas is, O₂ het zuurstofgas, CO₂ het koolzuurgas en H₂O het water. De atomen C (koolstof), H (waterstof) en O (zuurstof) komen zowel voor als na de verbranding voor en er zijn geen andere soorten atomen bijgekomen. Het aantal atomen voor en na de reactie is hetzelfde: 4 keer H, 4 keer O en 2 keer C. Nadat je de alternatieve verklaringen bestudeerd hebt, besluit je dat dit de beste verklaring is. Dit is een voorbeeld van *abductief* redeneren, dat aan bod komt in hoofdstuk 11. Stel nu dat we in de eenentwintigste eeuw erin slagen om massa's van stoffen veel nauwkeuriger te meten. We stellen vast dat er bij sommige chemische reacties een miniem verschil is in de massa van de reactieproducten en de reagentia. We concluderen op basis van die tegenvoorbeelden dat de wet van behoud van massa bij chemische reacties strikt genomen niet waar is. Dit is een voorbeeld van *deductief* redeneren, dat aan bod komt in hoofdstuk 8. De drie genoemde types van redeneren worden bestudeerd in de *wetenschapsfilosofie*, dat in deel III behandeld wordt.

De karakterisering van filosofie door Quinton is een goed vertrekpunt en ze sluit heel goed aan bij de inhoud van deze tekst. Ze is evenwel geen volledige karakterisering van filosofie. Quinton (2005, p. 666) voegt aan de eerste 'definitie' van filosofie een tweede definitie toe:

A more detailed, but still uncontroversially comprehensive, definition is that philosophy is rationally critical thinking, of a more or less systematic kind about the general nature of the world (metaphysics or theory of existence), the justification of belief (epistemology or theory of knowledge), and the conduct of life (ethics or theory of value).

Epistemologie is een tak van filosofie waarin vragen zoals de volgende aan bod komen (Steup & Neta, 2020):

- Wat is kennis?
- Wat is rechtvaardiging?
- Wat is de structuur van kennis en rechtvaardiging?
- Wat zijn de bronnen van kennis en rechtvaardiging?
- Wat zijn de limieten van kennis en rechtvaardiging?

Een groot deel van deel III kan begrepen worden als epistemologie toegepast op wetenschappelijke kennis en rechtvaardiging. Een belangrijke

voorwaarde voor kennis is dat er overtuiging is. Als men niet overtuigd is dat de kat op het kussen slaapt, dan weet men niet dat de kat op het kussen slaapt. In hoofdstuk 10 wordt er gesproken over volle en gedeeltelijke overtuigingen. Deductieve, inductieve of abductieve redeneringen geven redenen om (geheel of gedeeltelijk) te geloven in (de waarheid of de waarschijnlijkheid van) een wetenschappelijke hypothese. Vragen over de structuur komen aan bod wanneer we het hebben over oneindige ketens van wetenschappelijke, geldige argumenten of verklaringen (par. 5.3.3 en 11.1.6). Een belangrijke bron van kennis en rechtvaardiging zijn observaties, waarover in hoofdstuk 7 gesproken wordt. De epistemologie worstelt vaak met scepticisme of de stellingname dat we geen redenen hebben om te geloven in iets waarin we normaal wel geloven. Kunnen we bijvoorbeeld weten dat we niet in *The Matrix* (dat wil zeggen een virtuele realiteit) leven, indien onze waarnemingen niet zouden verschillen van onze waarnemingen indien we niet in *The Matrix* leefden? Twee vormen van scepticisme, waaronder scepticisme op basis van *Matrix*-achtige scenario's, komen in paragraaf 11.2.3 aan bod in een wetenschapsfilosofische context. In het licht van wetenschapsfilosofie als toegepaste epistemologie, zouden we naast denken-over-denken ook kunnen spreken over *metacognitie* of kennis over kennis.

De andere twee takken van filosofie, namelijk metafysica en ethiek, lijken minder goed te passen bij de eerste definitie gegeven door Quinton. *Metafysica* is een tak van de filosofie waarin vragen zoals de volgende aan bod komen (Van Inwagen & Sullivan, 2020):

- Wat zijn mogelijkheden?
- Wat zijn ruimte en tijd?
- Zijn objecten identiek aan de materie waaruit ze samengesteld zijn? Blijven objecten bestaan na verandering?
- Wat is causaliteit? Bestaat vrije wil?
- Wat is de relatie tussen het mentale en het fysieke?
- Wat zijn soorten? Bestaan soorten?

Metafysische vragen komen minder prominent aan bod in dit boek, maar in paragraaf 11.1.5 komt de notie van causaliteit ter sprake, in paragraaf 6.6.3 gaat het over de substantialiteit van ruimte en in paragraaf 11.2.3 gaat het over de conventionaliteit van de structuur van ruimte. De term 'metafysisch' wordt soms ook gebruikt in de zin van 'voorbij de zintuiglijk waarneembare fenomenen'. Bijvoorbeeld: de idee dat God de

wereld geschapen heeft maar verder niet ingrijpt, is een metafysisch idee in die betekenis. Ook metafysica in die zin wordt af en toe besproken (par. 6.6.3, 6.7 en 11.2.1). Het zal de lezer ondertussen allicht niet verbazen dat er ook *meta-metafysica* bestaat. Een belangrijke vraag die daarin aan bod komt, is of metafysische kennis überhaupt mogelijk is en, zo ja, wat er de mogelijkhedenvoorwaarden voor zijn.

Ethiek is de leer van goed, slecht of beter handelen in het leven. Bijvoorbeeld: is het redden van het leven van tien gezonde kinderen door één oude, zieke persoon te doden een goede of slechte handeling? Ethiek komt in deze tekst niet aan bod. Hoewel ethiek niet goed past in de eerste definitie van Quinton, doet *meta-ethiek* dat wel. De meta-ethiek is immers denken over ethisch denken of spreken. Bijvoorbeeld, verschilt de uitspraak dat de ‘Rechtvaardigen onder de Volkeren’ (dat wil zeggen niet-joden die joden geholpen hebben tijdens de Holocaust) goede daden gesteld hebben wezenlijk van de uitspraak dat je Duvel een lekker bier vindt? in paragraaf 12.4 wordt een meta-ethisch thema aangeraakt. Dat thema is relevant voor de verhouding tussen wetenschap en ethiek.

1.2. **Waarom denken over wetenschappelijk denken?**

In deze paragraaf gaan we over tot ‘derde-ordedenken’, aangezien we ons de vraag stellen waarom we zouden moeten denken over wetenschappelijk denken. In paragraaf 1.2.1 wordt een korte motivatie gegeven voor het bestuderen van logica en in paragraaf 1.2.2 wordt een korte motivatie gegeven voor het bestuderen van wetenschapsfilosofie.

1.2.1. **WAAROM LOGICA?**

Filosofen hebben een cruciale rol gespeeld in de ontwikkeling van logica: van het eerste systeem van logica, de syllogistiek, door Aristoteles (par. 5.3.1), over de hedendaagse eerste-ordelogica door Frege, Russell en Tarski (par. 4.2.2 en 5.3.2) tot de modale logica door Kripke. De logica wordt vaak toegepast in wiskunde en computerwetenschappen. De ontwikkeling van eerste-ordelogica werd onder meer gestuurd door een verlangen om wiskundige redeneringen en bewijzen te kunnen controleren op hun geldigheid. Ook als een wiskundige redenering of bewijs soms sprongen

maakt, is het de norm dat men de gaten zou moeten kunnen opvullen en dat het resultaat een geldig argument is. Het programmeren van computers is een latere ontwikkeling, maar in programmeren staan instructies van de vorm ‘als . . . , dan . . . , anders . . . ’ centraal. Dat is net het type uitspraak dat bestudeerd wordt in de zinslogica. Meer in het algemeen is het zo dat programmeertalen onder meer gebruikmaken van de operatoren van de taal van de zinslogica (par. 3.1) en de kwantoren van de taal van eerste-orde logica (par. 4.2.1).

Logische stellingen over wat er al dan niet bewezen of berekend kan worden, zijn fundamenteel voor de grondslagen van wiskunde en informatica. In dit boek wordt ingegaan op de relevantie van de stelling van Church (stel. 4.4). Door de doorgedreven mathematisering van de wetenschappen sinds de wetenschappelijke revolutie en door het toenemende belang van informatica als een hulpwetenschap voor de natuurwetenschappen, is logica indirect ook van groot belang voor die laatste. Deductief, logisch redeneren wordt ook rechtstreeks gebruikt in de wetenschappelijke praktijk, zoals in het afleiden van de onwaarheid van een algemene uitspraak uit een tegenvoorbeeld. Als sommige van onze theorieën over de bevestiging van hypothesen door observaties (th. 10.2) en de verklaring van particuliere of algemene feiten op basis van wetten (th. 11.1) kloppen, dan heeft deductief, logisch redeneren ook een rol te spelen in inductief en abductief redeneren.

Mensen kunnen van zichzelf denken dat ze sterk zijn in logisch redeneren, zonder dat ze formele logica bestudeerd hebben, maar dat klopt niet altijd. Beschouw vier kaarten. Op één kant van elke kaart staat een letter, terwijl op de andere kant een cijfer staat. Dit is wat we zien:



Denk nu na over de volgende uitspraak:

Als een kaart een klinker heeft op de ene kant, dan heeft ze een even getal op de andere kant.

Welke kaart(en) moet je omdraaien om na te gaan of de bovenstaande uitspraak waar is? Het juiste antwoord luidt dat je zowel de eerste kaart als de laatste kaart moet omdraaien. Door de eerste kaart om te draaien, kan je

nagaan of er een even getal op de ommezijde staat. Indien dat niet het geval is, dan is de bovenstaande uitspraak onwaar. Door de laatste kaart om te draaien, kan je nagaan of er een klinker op de ommezijde staat. Indien dat het geval is, dan is de bovenstaande uitspraak onwaar. Uit psychologisch onderzoek uitgevoerd door Wason (1968) blijkt dat vele mensen niet zo goed zijn in het beantwoorden van deze vraag. Een belangrijke bevinding is dat mensen slechter zijn in het logisch redeneren wanneer de toepassingen abstract, arbitrair of onvertrouwd zijn, terwijl ze beter zijn wanneer de toepassingen betrekking hebben op sociale normen of op situaties waarbij fysieke schade vermeden moet worden (Kaufman e.a., 2010). De studie van formele logica kan helpen om beter te worden in het logisch redeneren in het geval van abstracte en onvertrouwde toepassingen.

Beschouw nu de volgende vier argumenten voor een tweede voorbeeld:

Voorbeeld 1.1 (Argument A).

1. Geen politiehond is gemeen.
2. Sommige zeer goed getrainde honden zijn gemeen.
3. Dus sommige zeer goed getrainde honden zijn geen politiehonden.

Voorbeeld 1.2 (Argument B).

1. Geen verslavend ding is goedkoop.
2. Sommige sigaretten zijn goedkoop.
3. Dus sommige verslavende dingen zijn geen sigaretten.

Voorbeeld 1.3 (Argument C).

1. Geen miljonair is een harde werker.
2. Sommige rijke mensen zijn harde werkers.
3. Dus sommige miljonairs zijn geen rijke mensen.

Voorbeeld 1.4 (Argument D).

1. Geen voedzaam ding is goedkoop.
2. Sommige vitaminetabletten zijn goedkoop.
3. Dus sommige vitaminetabletten zijn niet voedzaam.

Argumenten A en D zijn geldig, terwijl argumenten B en C ongeldig zijn. Argumenten A en B hebben een plausibele conclusie, terwijl argumenten C en D een implausibele conclusie hebben. Psychologisch onderzoek uitgevoerd door Evans e.a. (1983) toont aan dat we ons vaak laten leiden door de *(im)plausibiliteit* van de *conclusies* van argumenten, wanneer ons gevraagd wordt om in te schatten of een argument geldig is. Dit is een voorbeeld van een *bias* of vooroordeel, meer bepaald een *beliefs bias*. Een dergelijke *bias* kan ons misleiden en weg van de waarheid leiden. De studie van formele logica leidt tot kennis van technieken waarmee argumenten correct geëvalueerd kunnen worden.

1.2.2. WAAROM WETENSCHAPSFILOSOFIE?

Door wetenschapsfilosofie te studeren kan je inzicht verwerven in de natuur, veronderstellingen, mogelijkheden en beperkingen van wetenschap. Daarmee kan je ook vooroordelen en misverstanden over wetenschap uit de weg ruimen. Bij afwezigheid van systematische, kritische en rationele reflectie op wetenschap krijg je alleen maar vooroordelen en misverstanden over wetenschap in de plaats. En er leven vooroordelen over wetenschap onder wetenschappers zelf en onder studenten die opgeleid worden om wetenschapper te worden. Horsten e.a. (2007, p. 19) geven mee wat volgens hen het grootste misverstand over wetenschap is:

De grootste vergissing bestaat erin te denken dat wetenschap bestaat in het onbevooroordeeld verzamelen van empirische feiten waaruit dan de wetenschappelijke wetten rigoureuus en met zekerheid worden afgeleid.

In deel III wordt dit misverstand uit de weg geruimd.

Naast de negatieve rol bij het vermijden van vooroordelen en misverstanden heeft wetenschapsfilosofie ook een positieve rol te vervullen. Ik noem kort vier punten waarbij dat het geval is. Ten eerste kan wetenschapsfilosofie helpen meer inzicht te verwerven in wat wetenschap is en hoe ze zich onderscheidt van onder meer pseudowetenschap, dat wil zeggen niet-wetenschap die zich voordoet als wetenschap (hfdst. 12). Die laatste vraag heeft een groot maatschappelijk belang, zoals blijkt uit de volgende voorbeelden (Hansson, 2017):

- Hoe kunnen we effectieve gezondheidszorg gebaseerd op echt wetenschappelijk onderzoek onderscheiden van ineffectieve gezondheidszorg gebaseerd op pseudowetenschap?
- Hoe kunnen we echte wetenschappelijke expertise, waarop wetten en vonnissen gebaseerd worden, onderscheiden van pseudowetenschappelijke expertise?
- Hoe kunnen we garanderen dat studenten een echte wetenschappelijke opleiding krijgen in plaats van een training in pseudowetenschap?
- Hoe kunnen we in publieke debatten ervoor zorgen dat burgers en de pers onderscheid kunnen maken tussen echte wetenschappelijke controverse en pseudowetenschappelijke ruis?

Aan het einde van dit boek zou je beter gewapend moeten zijn om na te denken over vragen zoals de bovenstaande. In paragraaf 12.3.1 wordt het geval van scheppingswetenschap besproken. Ten tweede kan wetenschapsfilosofie helpen om goede van slechte wetenschap te onderscheiden. In paragraaf 10.3.3 wordt er ingegaan op de replicatiecrisis in sommige takken van de wetenschap: gepubliceerde experimentele resultaten kunnen vaak niet bevestigd worden in nieuwe experimentele studies. Een filosofische theorie over de bevestiging van een hypothese door empirisch bewijsmateriaal kan helpen om licht te werpen op een oorzaak van de replicatiecrisis en op mogelijke oplossingen daarvoor. Dit is van groot belang voor het publiek vertrouwen in wetenschap. Ten derde kan inzicht in wetenschappelijk denken helpen om het debat te voeren met wetenschapssceptici, die twijfel zaaien over wetenschappelijke theorieën en hypothesen. In paragraaf 12.2.5 komt het debat over antropogene klimaatopwarming, dat grote maatschappelijke, economische en politieke consequenties heeft, aan bod. Ten vierde kan wetenschapsfilosofie helpen om overdreven optimisme met betrekking tot wat wetenschap vermag, te vermijden. Er zijn logische grenzen aan logisch redeneren binnen natuurwetenschap (par. 8.3). Natuurwetenschap heeft aannames nodig over hoe de werkelijkheid fundamenteel is (par. 10.1.1, 10.3.5 en 11.2.1). Misschien kan niet alles wetenschappelijk verklaard worden (par. 11.1.6). Het is een open vraag of onze beste wetenschappelijke theorieën waar zijn en of de entiteiten waarvan ze het bestaan postuleren, ook daadwerkelijk bestaan (par. 11.4).



Scan de QR-code om jezelf te toetsen.

I

LOGICA

2

VERZAMELINGEN, RELATIES, FUNCTIES

In paragraaf 2.1 wordt een elementaire inleiding gegeven op de notie van een verzameling. Voortbouwend daarop, wordt in paragraaf 2.2 hetzelfde gedaan voor de notie van een binaire relatie. Dat vormt in paragraaf 2.3 dan weer het vertrekpunt voor een elementaire inleiding tot een bijzondere soort van binaire relaties, namelijk de functies. In paragraaf 2.4 wordt ingegaan op ternaire relaties en andere relaties met meer plaatsen.¹

1 Dit hoofdstuk is grotendeels gebaseerd op Halbach (2010, hfdst. 1).

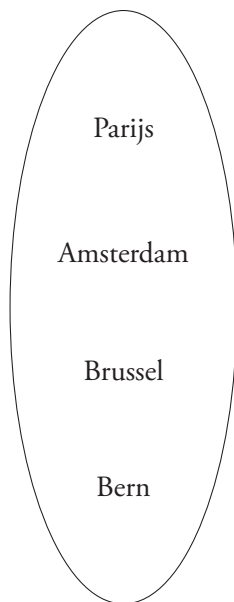
2.1. Verzamelingen

Enkele basisnoties zijn de noties van een verzameling, een element en het element zijn van een verzameling. We noteren een verzameling met behulp van gekrulde haakjes: { aan de linkerkant en } aan de rechterkant. Een verzameling kan elementen hebben. Indien a een element is van een verzameling A wordt dit als volgt genoteerd: $a \in A$. We kunnen in dat geval ook zeggen dat verzameling A het element a bevat. Met behulp van de gekrulde haakjes kan je ook het volgende schrijven: $\{\dots a \dots\}$, waarbij \dots aangeeft dat er eventueel nog elementen in de verzameling zitten.

Voorbeeld 2.1 (Verzameling).

$$\text{Brussel} \in \{\text{Parijs, Amsterdam, Brussel, Bern}\}$$

Sommige verzamelingen kunnen visueel voorgesteld worden met behulp van ovaal of cirkels (fig. 2.1). We kunnen een verzameling ook beschrijven door de voorwaarden te beschrijven waaraan elementen van die verzameling moeten voldoen. ‘De verzameling van alle x waarvoor geldt



Figuur 2.1: Verzameling

dat ...' wordt als volgt genoteerd:

$$\{x \mid x \text{ is } \dots\},$$

waarbij ... vervangen wordt door een bepaalde beschrijving. Het symbool x is een variabele (par. 4.2.1).

Voorbeeld 2.2 (Beschrijving van een verzameling).

$$\{x \mid x \text{ is een West-Europese hoofdstad die ik bezocht heb}\}$$

Er bestaat een lege verzameling, $\{\}$. Soms wordt ook het volgende symbool gebruikt: \emptyset . De lege verzameling bevat geen enkel element:

$$\text{voor alle } x, x \notin \emptyset.$$

Dus Brussel $\notin \emptyset$.

Twee verzamelingen, A en B , zijn identiek als en slechts als A en B dezelfde elementen bevatten (met andere woorden, voor alle x , $x \in A$ als en slechts als $x \in B$).

Voorbeeld 2.3 (Identieke verzamelingen).

$$\begin{aligned} \{\text{Parijs, Amsterdam, Brussel, Bern}\} = \\ \{\text{Bern, Brussel, Parijs, Amsterdam}\} \end{aligned}$$

Merk op dat de volgorde van de opgesomde elementen niet uitmaakt.

Enkele belangrijke verzamelingtheoretische noties zijn die van een deelverzameling, de vereniging van verzamelingen en de doorsnede van verzamelingen.

Definitie 2.1 (Deelverzameling). Verzameling A is een deelverzameling van verzameling B , genoteerd $A \subseteq B$, als en slechts als, voor alle x , indien $x \in A$, dan $x \in B$.

Voorbeeld 2.4 (Deelverzameling). De verzameling van alle hoofdsteden uit de Lage Landen die ik bezocht heb, is een deelverzameling van de verzameling van alle West-Europese hoofdsteden die ik bezocht heb.

Merk ook op dat elke verzameling ook een deelverzameling is van zichzelf: als $x \in A$, dan $x \in A$. Wanneer A een deelverzameling is van B maar verschilt van B , dan spreken we over een ‘eigenlijke deelverzameling’, genoteerd $A \subset B$.

Definitie 2.2 (Vereniging van verzamelingen). De vereniging van de verzamelingen A en B , genoteerd $A \cup B$, is gelijk aan:

$$\{x \mid x \in A \text{ of } x \in B\}.$$

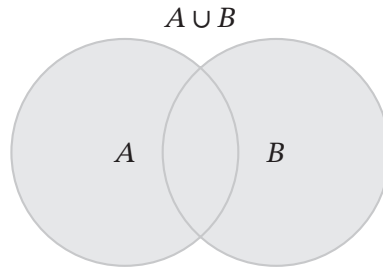
Voorbeeld 2.5 (Vereniging van verzamelingen). De vereniging van de verzameling van alle West-Europese hoofdsteden die ik bezocht heb en de verzameling van alle Zuid-Europese hoofdsteden (Lissabon, Madrid, Rome) die ik bezocht heb, bevat exact de volgende elementen: Parijs, Amsterdam, Brussel, Bern, Lissabon, Madrid, Rome.

Definitie 2.3 (Doorsnede van verzamelingen). De doorsnede van de verzamelingen A en B , genoteerd $A \cap B$, is gelijk aan:

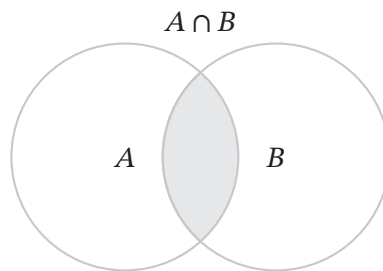
$$\{x \mid x \in A \text{ en } x \in B\}.$$

Voorbeeld 2.6 (Doorsnede van verzamelingen). De doorsnede van de verzameling van alle West-Europese hoofdsteden die ik bezocht heb en de verzameling van alle steden waarin ik gewoond heb, bevat exact de volgende elementen: Brussel.

Definitie 2.2 en definitie 2.3 worden geïllustreerd in respectievelijk figuur 2.2 en figuur 2.3.



Figuur 2.2: Vereniging van verzamelingen



Figuur 2.3: Doorsnede van verzamelingen

2.2. Binaire relaties

Sommige uitdrukkingen zijn zogeheten eenplaatsige predicaten (par. 4.1.1). Dat wil zeggen dat ze met één naam gecombineerd moeten worden om een zin te vormen.

Voorbeeld 2.7 (Eenplaatsig predicat).

- Eenplaatsig predicat: ‘... is een stad’.
- Zin gevormd door combinatie van een eenplaatsig predicat met een naam: ‘Brussel is een stad.’

Eenplaatsige predicaten kunnen gebruikt worden om verzamelingen van individuele objecten te beschrijven. Sommige uitdrukkingen zijn zogeheten tweepplaatsige predicaten (par. 4.1.1). Dat wil zeggen dat ze met twee namen gecombineerd moeten worden om een zin te vormen.

Parijs \longrightarrow Brussel

Figuur 2.4: Geordend paar

Voorbeeld 2.8 (Tweeplaatsig predicaat).

- Tweeplaatsig predicaat: ‘... is een grotere stad dan ...’.
- Zin gevormd door combinatie van een tweeplaatsig predicaat met twee namen: ‘Parijs is een grotere stad dan Brussel.’

Tweeplaatsige predicaten kunnen gebruikt worden om verzamelingen van *geordende paren* te beschrijven. We noteren een geordend paar met behulp van vishaakjes: \langle aan de linkerkant en \rangle aan de rechterkant. Het geordende paar met de elementen a, b wordt dan als volgt genoteerd: $\langle a, b \rangle$.²

Voorbeeld 2.9 (Geordend paar). $\langle \text{Parijs, Brussel} \rangle$

Sommige geordende paren kunnen visueel voorgesteld worden met behulp van pijlen (fig. 2.4).

Twee geordende paren, $\langle x, y \rangle$ en $\langle x_1, y_1 \rangle$, zijn identiek als en slechts als $x = x_1$ en $y = y_1$.³ Merk op dat de identiteitsvoorwaarde voor geordende paren verschilt van de identiteitsvoorwaarde voor verzamelingen:

$\{\text{Parijs, Brussel}\}$

en

$\{\text{Brussel, Parijs}\}$

zijn dezelfde verzameling, terwijl

$\langle \text{Parijs, Brussel} \rangle$

2 Men kan niet om het even welk tweeplaatsig predicaat gebruiken, want anders kan men contradicties afleiden. In de paradox van Russell wordt het tweeplaatsige predicaat $x \notin x$ gebruikt om een contradictie af te leiden. Stel dat $\{x \mid x \notin x\}$ bestaat. Dan $a \in \{x \mid x \notin x\}$ als en slechts als $a \notin \{x \mid x \notin x\}$.

3 Men kan het geordende paar $\langle a, b \rangle$ definiëren als de verzameling $\{\{a\}, \{a, b\}\}$. De identiteitsvoorwaarde voor geordende paren volgt dan uit de identiteitsvoorwaarde voor verzamelingen.

en

$\langle \text{Brussel, Parijs} \rangle$

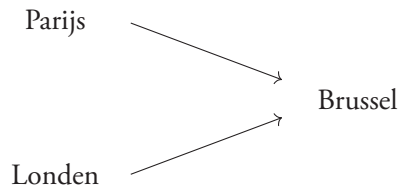
verschillende geordende paren zijn.

Met behulp van de noties van een verzameling en een geordend paar kan de notie van een binaire relatie gedefinieerd worden.

Definitie 2.4 (Binaire relatie). Een verzameling is een binaire relatie als en slechts als ze uitsluitend geordende paren bevat.

Voorbeeld 2.10 (Binaire relatie). $\{\langle \text{Parijs, Brussel} \rangle, \langle \text{Londen, Brussel} \rangle, \dots\}$

Sommige binaire relaties kunnen visueel voorgesteld worden met behulp van pijldiagrammen (fig. 2.5).

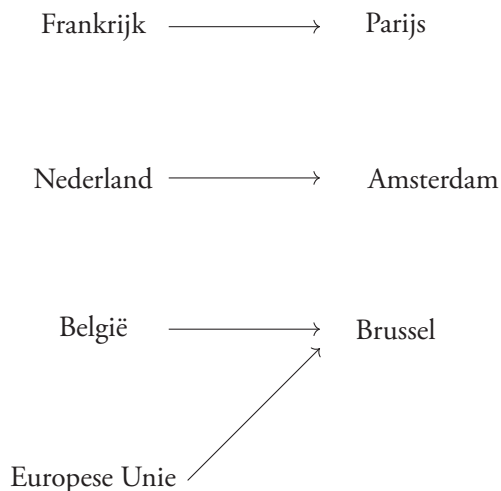


Figuur 2.5: Binaire relatie

2.3. Functies

Met behulp van de notie van een binaire relatie kan de notie van een functie gedefinieerd worden.

Definitie 2.5 (Functie). Een binaire relatie f is een functie als en slechts als, voor alle x, y, z , als $\langle x, y \rangle \in f$ en $\langle x, z \rangle \in f$, dan $y = z$.



Figuur 2.6: Functie

Voorbeeld 2.11 (Functie). $\{\langle x, y \rangle \mid \text{de hoofdstad van } x \text{ is } y\}$
 $\{\langle \text{Frankrijk, Parijs} \rangle, \langle \text{Nederland, Amsterdam} \rangle, \langle \text{België, Brussel} \rangle,$
 $\langle \text{Europese Unie, Brussel} \rangle, \dots\}$

Sommige functies kunnen visueel voorgesteld worden (fig. 2.6). Merk op dat uit de definitie van een functie volgt dat uit elk element juist één pijl mag vertrekken.

Definitie 2.6 (Domein van een functie). Het domein van een functie f is gelijk aan:

$$\{x \mid \text{er is een } y \text{ zodanig dat } \langle x, y \rangle \in f\}.$$

Voorbeeld 2.12 (Domein van een functie). Neem voorbeeld 2.11 als uitgangspunt. Het domein is gelijk aan:

$$\{\text{Frankrijk, Nederland, België, Europese Unie, } \dots\}.$$

Definitie 2.7 (Bereik van een functie). Het bereik van een functie f is gelijk aan:

$$\{x \mid \text{er is een } y \text{ zodanig dat } \langle y, x \rangle \in f\}.$$

Voorbeeld 2.13 (Bereik van een functie). Neem voorbeeld 2.11 als uitgangspunt. Het bereik is gelijk aan:

$$\{\text{Parijs, Amsterdam, Brussel, } \dots\}.$$

Definitie 2.8 (Codomein van een functie). Een codomein van een functie f is een verzameling die het bereik van f als deelverzameling heeft.

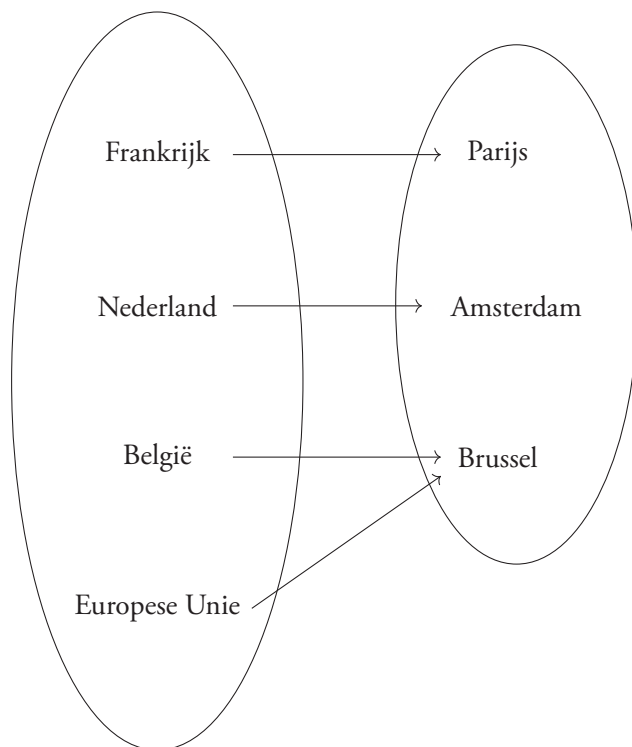
Merk op dat het bereik van een functie f ook een codomein van f is. Als A het domein van een functie f is en als B een codomein van f is, wordt dit genoteerd als volgt: $f : A \rightarrow B$. Het domein en een codomein van een functie kunnen soms visueel voorgesteld worden aan de hand van ovals of cirkels en pijlen (fig. 2.7).

Als x behoort tot het domein van een functie f , dan noteren we de unieke y zodanig dat $\langle x, y \rangle \in f$ als volgt: $f(x)$. Men spreekt in dit verband ook over de ‘functiewaarde’.

Voorbeeld 2.14 (Functiewaarde). Neem voorbeeld 2.11 als uitgangspunt. Dan is $f(\text{België}) = \text{Brussel}$.

2.4. Niet-binaire relaties

Sommige uitdrukkingen zijn zogeheten drieplaatsige predicaten (par. 4.1.1). Dat wil zeggen dat ze met drie namen gecombineerd moeten worden om een zin te vormen.



Figuur 2.7: Domein en bereik van een functie

Voorbeeld 2.15 (Drieplaatsig predicaat).

- Drieplaatsig predicaat: ‘... is verder gelegen van ... dan van ...’.
- Zin gevormd door de combinatie van een drieplaatsig predicaat met drie namen: ‘Parijs is verder gelegen van Antwerpen dan van Brussel.’

Drieplaatsige predicaten kunnen gebruikt worden om verzamelingen van *geordende drietallen* te beschrijven. We noteren een geordend drietal met behulp van vishaakjes: \langle aan de linkerkant en \rangle aan de rechterkant. Het geordende drietal met de elementen a , b , c wordt dan als volgt genoteerd: $\langle a, b, c \rangle$.

Voorbeeld 2.16 (Geordend drietal). \langle Parijs, Antwerpen, Brussel \rangle