

10.2. Causaliteiten

Paul A.M. van Dongen © 2021

Het was in de evolutie zo belangrijk causale verbanden te ontdekken, dat er veel bijgeloof is ontstaan.

Samenvatting

In dit stuk onderzoek ik causale uitspraken in verschillende wetenschappen. De varianten zijn perceptie van causale processen, en causaliteit in de filosofie, in de fysica, in de biologie, in twee varianten van psychologie, en in statistische modellen.

Het brein van mensen werkt zodanig dat het geselecteerde opeenvolgende gebeurtenissen direct, automatisch als 'causaal' interpreteert (= waarneemt). Dit verloopt snel en automatisch, hoewel kunstmatige intelligentie toont dat het detecteren van causale verbanden veel informatieverwerking vergt.

Alleen binnen formele wetenschappen zoals logica en wiskunde, kan men spreken over oorzaak als noodzakelijke en voldoende voorwaarde voor het gevolg.

In empirische wetenschappen daarentegen, is het alleen mogelijk om waarschijnlijkheidsuitspraken te doen. Ik streef naar empirisch toetsbare uitspraken. Daarom gebruik ik causale begrippen alleen voor de wereld van de dingen. Oorzaken zijn toestanden van concrete dingen, of gebeurtenissen tussen concrete dingen. En gevolgen zijn gebeurtenissen tussen concrete dingen. In de fysica is causaal verklaren het herleiden van een voorval uit de begin-toestand van de dingen en de natuurwetten.

Maar in de biologie komen er andere elementen bij: doelmatigheid en doelgerichtheid. We noemen de bouw en werking van levende organismen 'doelmatig', als deze bijdragen tot het overleven of voortplanten van het organisme of zijn verwanten. Doelmatigheid is het product van natuurlijke selectie. Dieren en kunstmatige apparaten vertonen doelgericht gedrag; dat is het product van terugkoppelsystemen die werken op basis van oorzaak/gevolg-ketens. In de levende natuur zijn terugkoppelsystemen het product van natuurlijke selectie. Door de cybernetica van Norbert Wiener kwam er voor het eerst een causale verklaring voor doelgericht gedrag.

In de traditie van het behaviorisme gelden dezelfde regels en beperkingen als voor biologie. Daar gelden oorzaak, gevolg, gedrag, doelmatigheid en doelgerichtheid, en er zijn toetsbare uitspraken mogelijk. Voor anderen is psychologie de wetenschap van belevingen; hier gelden redenen, intenties en doelbewustzijn, terwijl uitspraken dan niet natuurwetenschappelijk getoetst kunnen worden.

In statistische modellen kan men de correlaties tussen variabelen meten, maar daaruit kan men geen oorzakelijk verband concluderen. Causale verbanden zijn alleen vast te stellen uit empirisch onderzoek of uit natuurwetten.

	Samenvatting		5.	Biologie en geneeskunde
1.	Inleiding		5.1.	Filosofie van de biologie
2.	Oorzaak en gevolg in het dagelijks leven		5.2.	Erfelijkheid
2.1.	Perceptie van causale processen		5.3.	Evolutie
2.2.	Causale attributies		5.4.	Ethologie
2.3.	Causaal begrip bij kinderen		5.5.	Natuurwetenschappelijke geneeskunde
3.	Filosofen over causaliteit		6.	Psychologie
3.1.	Formele en empirische wetenschappen		6.1.	Oorzaken en redenen
3.2.	Teleologie		6.2.	Gevolgen, doelen en intenties
3.3.	Empirisch vaststellen van causale verbanden		7.	Causaliteit in theoretische modellen
4.	Fysica en techniek		7.1.	Correlatie en causatie
4.1.	Klassieke mechanica		7.2.	Heritabiliteitsmodellen
4.2.	Relativiteitsleer		7.3.	Sociologische modellen
4.3.	Kwantummechanica		8.	Het verwoorden van causale verbanden
4.4.	Techniek: doelgerichte apparaten		9.	Besluit

1. Inleiding

Al sinds de Oudheid menen sommige westerse filosofen en wetenschappers dat de wereld volledig gedetermineerd is. Zij hangen “*de universele waarheid van het causale principe*” aan. Volgens hen is de taak van de wetenschap om alle processen causaal te verklaren. Met ‘causaal verklaren’ bedoelen zij ‘verklaren zoals in de natuur- en scheikunde gebruikelijk was’. Er zijn hierover drie opmerkingen.

1. Het is de vraag of in de kwantummechanica causaliteit een houdbaar principe is (Bunge 1979).
2. In de biologie is er doelmatige bouw en werking, en doelgericht gedrag; het is de vraag of dit herleid (gereduceerd) kan worden tot fysisch/chemische processen (Kant 1790).
3. Het is de vraag of belevingen (mentale processen) herleid (gereduceerd) kunnen worden tot fysisch/chemische processen.

Het belang van causaliteit

“Onder de vele factoren die het onderzoek gestart en onderhouden hebben op allerlei gebieden van empirisch onderzoek, bieden twee voortdurende interesses van de mens het hoofdmotief voor de wetenschappelijke inspanningen van de mens.

De eerste is praktisch. De mens wil niet alleen overleven in deze wereld, maar ook zijn strategische positie verbeteren. Daarom is het voor hem belangrijk om betrouwbare methoden te vinden om veranderingen in de omgeving te voorzien en, zo mogelijk, deze tot zijn voordeel te beheersen.

De tweede grondreden voor de wetenschappelijke zoektocht van de mens staat los van deze praktische zorgen; het is louter zijn intellectuele nieuwsgierigheid, in zijn diep en volhardend verlangen zichzelf en de wereld te begrijpen.

Deze drang is zo sterk dat mythes verzonnen worden om de kloof te vullen bij gebrek aan meer betrouwbare kennis.” (Hempel 1965, p. 333). Als we grip willen hebben op de situatie, moeten we weten wat de waarschijnlijke gevolgen van onze handelingen zijn. Als we grip op de situatie willen hebben, moeten we dus zicht hebben op causale verbanden. *“Kennis van oorzaken maakt interventie mogelijk om gewenste gevolgen tot stand te brengen.”* (Marini en Singer 1988, p. 348). *“De mensheid dankt zijn macht over de natuur aan zijn inzicht in causaliteit.”* (Lorenz 1950, p. 228).

In dit artikel probeer ik meer helderheid te scheppen in het begrip causaliteit, en dit pas ik toe op het causaliteitsbegrip en causaliteitsonderzoek in verscheidene wetenschappen.

Verschillende causaliteiten

Voor een heldere analyse onderscheiden we (dit is ook de volgorde van de hoofdstukken):

1. perceptie van causale processen,
2. causaliteit in de filosofie,
3. causaliteit in de natuur- en scheikunde,
4. causaliteit in de biologie en geneeskunde,
5. causaliteit in de psychologie,
6. causaliteit in statistische modellen,
7. causale taaluitingen.

2. Oorzaken en gevolgen in het dagelijks leven

De alledaagsheid van oorzaak en gevolg

In het dagelijks leven zijn we omringd door oorzaak/gevolg-ketens. We verwachten dat gevolgen consistent optreden. Als we een schakelaar bij de deur omzetten, gaat het licht aan – en we verwachten dat het licht aangaat. Als dat een zeldzame keer niet gebeurt, gaan we ervan uit dat er een verklaring voor dit falen is: de lamp is kapot, er is een slecht contact, of er wordt tijdelijk geen stroom geleverd. Dan gaan we er niet van uit dat tijdelijk de wet van Ohm en de Maxwell-vergelijkingen niet meer gelden.

Voortdurend geldt: we willen iets doen, doen dit en krijgen de zintuiglijke meldingen van de gevolgen van ons handelen. We draaien een knop aan een apparaat rechtsom en de muziek wordt luider. We drukken een toets in van het toetsenbord en we verwachten dat de computer voorspelbaar reageert. Het regent en de straat wordt nat. Een emmer valt om en de straat wordt nat. We plakken een fietsband en we zien dat deze daarna meestal niet meer leegloopt. De boer zaait, en oogst maanden later.

2.1. Perceptie van causale processen

Het ‘waarnemen van causaliteit’

De Belgische psycholoog Albert Michotte (1946) heeft de waarneming van bewegende stimuli onderzocht. Daarvoor had hij een speciaal apparaat ontwikkeld waarmee hij kunstmatig opgewekte bewegende beelden presenteerde die soms wel, en soms niet aan natuurkundige wetten van bewegende objecten voldeden. In één type experiment zag de proefpersoon twee stilstaande vormen; één vorm gaat bewegen in de richting van de andere, houdt stil bij de andere vorm, waarna de andere vorm in dezelfde richting beweegt (*the launching experiment*; dit is de simpelste en bekendste standaarddemonstratie van mechanische causaliteit). Proefpersonen nemen dit waar als een voorwerp dat tegen een ander voorwerp botst en daardoor dit voorwerp weg-

botst (lanceert). *“In deze omstandigheden dringt de causale indruk zich meteen op.”* (Michotte 1946, p. 19).

Stimulusparameters

Door parameters van de stimuli te manipuleren kon Michotte bij bijna alle proefpersonen een dwingende indruk van causale interactie opwekken, of juist de indruk van geen causaal verband. Als het tweede voorwerp meteen vertrok, nadat het eerste voorwerp aankwam, namen proefpersonen een causaal verband waar. Als het interval korter dan 50 ms was, nam bijna iedereen een causaal verband waar. Als het interval langer dan 120 ms duurde, nam niemand een causaal verband waar. Proefpersonen beleven sommige situaties alsof een voorwerp een ander wegbotst, of een ander voorwerp met zich meeneemt. Er waren ook paradoxale waarnemingen: er was ook een dwingende indruk van causale interactie bij combinaties van stimulusparameters die in werkelijkheid niet kunnen voorkomen (Michotte e.a. 1963, p.71). Michotte concludeert: *“De causale impressie is de waarneming van de werking van een mechanisme kracht.”* (Michotte 1946, p. 226)

Waarneming of attributie?

Michotte heeft de resultaten van een groot aantal experimenten beschreven in het boek *“The perception of causality”*¹. De zegswijze *‘perception of causality’* is een merkwaardige zegswijze. Causaliteit is een abstract begrip, en kan als zodanig niet waargenomen worden. Het enige wat we kunnen waarnemen, zijn toestanden of veranderingen van concrete dingen. Er is een scene gepresenteerd zodat proefpersonen een reeks stimuli waarnemen zoals die causaal konden samenhangen (Bechlivanidis en Lagnado 2016). Bij sommige stimulus-parameters kon Michotte bij bijna alle proefpersonen² een dwingende indruk van causale interactie opwekken.

Een directe waarneming is vaak mede het gevolg van leren. Jonge kinderen leren om het uiterlijk van hun moeder en van dieren te herkennen. Als we dit geleerd hebben, moeten we deze wel direct, automatisch herkennen. Tenminste het voelt alsof we het direct waarne-

men, maar hersenonderzoekers tonen dat dit toch verscheidene milliseconden duurt. Toch voelt het niet als de interpretatie van een gebeurtenis, maar als een directe waarneming. Mensen en dieren zitten nu eenmaal zo in elkaar dat ze bepaalde opeenvolgende gebeurtenissen als causaal beleven. Maar in feite is iedere waarneming van zo'n complexe stimulus een razendsnelle interpretatie (attributie) door de hersenen.

De proeven van Michotte zijn inmiddels de standaardproeven geworden om perceptie van mechanische causaliteit te testen bij baby's, kinderen en volwassenen. *“Sinds de tijd van Hume wordt algemeen geaccepteerd dat opeenvolgende gebeurtenissen die we waarnemen, onafhankelijk van elkaar zijn, en dat we geen causaal verband tussen hen ‘waarnemen’. We hebben hierboven al benadrukt dat de resultaten van ons onderzoek tonen dat dit een foute visie is.”* (Michotte 1946, p. 251). Het is een speciale eigenschap van de hersenen van mensen (en waarschijnlijk ook van veel dieren) dat bepaalde stimulussequenties direct als causaal worden waargenomen.

Het waarnemen van dierlijke bewegingen

Michotte toonde zijn proefpersonen een horizontale (gevulde) rechthoek 5x10 mm. Die rechthoek werd aan de rechterkant groter tot 5x40 mm, daarna stopte de groei, en werd de rechthoek aan de linkerkant kleiner tot 5x10 mm. Dit proces werd enkele malen herhaald. *“Het is amusant deze experimenten voor het eerst uit te voeren met proefpersonen. Nadat ze een tijdje geobserveerd hebben wat er gebeurde in de spleet van het apparaat, zijn ze verrast en zeggen uit zichzelf ‘rups’ of ‘worm’! Ja, de indruk van dierlijke beweging is frappant: ze zien letterlijk een dier kruipen, en ze zien echt een voorwerp dat uit zichzelf beweegt.”* (Michotte 1946, p. 182).

Ook de bewegingen van een rond object op een scherm kunnen de indruk geven dat het een bewegend dier is door de volgende patronen: plotseling gaan bewegen, plotseling stoppen, plotseling versnellen, het vermijden van een ander object, het volgen van een ander object, het doorlopen van een grillig traject (Gelman e.a. 1995). Het lijkt alsof deze objecten uit zichzelf bewegen. Het lijkt alsof deze objecten een vrije wil hebben en voortdurend keuzes maken. Mensen en dieren kunnen verrassend goed bewegende 'dieren' in een stilstaande scène ontdekken. Het detecteren van dieren in complexe scènes was in de evolutie al honderden miljoenen jaren van levensbelang om snel prooi- of roofdieren te ontdekken (New e.a. 2007).

¹ Strik genomen, kan men in een exacte wetenschap niet zeggen dat 'proefpersonen waarnemen', maar dat 'proefpersonen rapporteren dat ze waarnemen'.

² Michotte (1946, p. 18) merkt op dat bij hoge uitzondering proefpersonen *“die op een extreem analytische wijze observeren”* geen causale interactie waarnamen, maar uitsluitend twee opeenvolgende bewegingen.

Het waarnemen van causale sociale interacties

De psychologen Heider en Simmel (1944) lieten studenten een animatie-filmpje van 2,5 minuut zien. Dat filmpje is inmiddels beroemd geworden. Het toonde twee bewegende gevulde driehoeken en een bewegende gevulde cirkel, met een grote niet-gevulde rechthoek waarvan een deel als een deur open kon gaan. Het filmpje was expres zo gemaakt dat de bewegingen van de driehoeken en de cirkel als sociale interacties geïnterpreteerd konden worden. Slechts één van de 34 proefpersonen beschreef de scène niet als een sociale interactie, maar als een beweging van geometrische figuren. De overige 33 proefpersonen interpreteerden de bewegingen als acties van levende wezens: meestal als mensen in sociale interacties. Van hen interpreteerden er 19 het animatie-filmpje als een samenhangend verhaal. De proeven van Heider en Simmel zijn inmiddels de standaardproeven geworden om de perceptie van sociale causaliteit te testen. Er is een ander populair animatie-filmpje van sociale interactie (Hamlin e.a. 2007). Afhankelijk van de onderlinge bewegingen van twee figuren, interpreteren kinderen en volwassenen een figuur als hulpvaardig of als hinderend (Premack en Premack 1995). Proefpersonen met autisme zien in het filmpje ongeveer 50% minder vaak een sociale interactie, terwijl ze bij andere testen even vaak mechanische causaliteit zagen (Bowler en Thommen 2000). Kinderen van 1 – 4 jaar oud hoorden 5 verschillende vocalisaties met een emotionele lading (grappig, lekker, opwindend, sympathiek en aanbiddelijk). Vervolgens moesten ze een plaatje aanwijzen met een scène die deze emotionele vocalisaties uitlokte. Vanaf een leeftijd van 2 jaar koppelden kinderen emotionele vocalisaties aan de waarschijnlijke oorzaken ervan (Wu e.a. 2017).

2.2. Causale attributies

Het onderzoeken van causale verbanden

Bij leerexperimenten onderzoeken mensen of dieren wat de gevolgen van hun daden zijn. Een proefpersoon zat voor een scherm en hij kon één van twee toetsten indrukken (de 'actieve proefpersoon'). Vervolgens verscheen op een scherm de mededeling 'score' of 'no score'. Hij kreeg de instructie een manier te vinden waarmee hij zo vaak mogelijk 'score' kregen. In een andere ruimte zat een tweede proefpersoon (de 'toeschouwer'), die dezelfde opdracht had gekregen en een toetsenbord, maar die alleen het scherm van de actieve proefpersoon zag. De actieve proefpersonen kregen de opdracht 5 reeksen problemen op te lossen.

Maar zonder dat zij het wisten, was er bij 3 van de 5 problemen geen verband tussen de toetsen die ze indrukten, en de score (Jenkins en Ward 1965). De kans op beloning was verschillend bij die 3 problemen, bij één was het 50%, bij één 80%, en bij de laatste 13%. Bij de problemen met 80% score meende 72,5% van de actieve proefpersonen dat ze invloed op de uitkomst hadden, en 80% van de toeschouwers. Maar in werkelijkheid hadden ze helemaal geen invloed. Dit is een variant van de illusie van invloed. Bij de 50%-problemen meenden 20% van de proefpersonen dat ze invloed hadden, en bij de 13%-problemen was dit 0%.

Causale attributies bij mensen

Proefpersonen zaten met een computer in een ruimte waarin 40 maal een toon van variabele duur maar maximaal 5 seconden klonk. Ze kregen de opdracht om een combinatie van toetsen te ontdekken om de toon uit te zetten. In feite had de duur van de toon niets te maken met wat de proefpersonen deden. Ongeacht wat ze deden, duurde de laatste 30 tonen slechts 1 seconde. Toch was de helft van de proefpersonen ervan overtuigd dat ze een methode gevonden hadden om de toon uit te zetten, en 90% meende dat ze in principe de toon konden stoppen (Matute 1995). In een tweede experiment waren er steeds paren van proefpersonen die beiden de opdracht kregen een methode te vinden om de toon te stoppen. Van ieder paar had één proefpersoon werkelijk invloed op de duur van de toon; de andere proefpersoon hoorde een even lange toon als zijn partner, terwijl hij op zoek was naar een methode om de toon te bekorten. Ook van de proefpersonen die geen invloed op de toonduur hadden, meende 50-60% dat ze een methode gevonden hadden. Deze proefpersonen ontwikkelden de **illusie van invloed (*illusion of control*)**. Mensen zijn nu eenmaal zo dat ze zelden hun eerdere opvatting kritisch toetsen (*confirmation bias*, hoofdstuk 3.6. en 6.3.). Daardoor blijft de illusie van invloed in stand. In veel andere experimenten is aangetoond dat mensen gemakkelijk de illusie van invloed ontwikkelen: dat is de basis van bijgeloof. Mensen zijn nu eenmaal geneigd om automatisch oorzaken toe te schrijven aan gebeurtenissen (Hassin e.a. 2002).

Causale attributies bij dieren

Als mensen en andere dieren in vergelijkbare experimentele situaties gebracht worden, reageren ze globaal hetzelfde (Dickinson en Shanks 1995, Penn en Povinelli 2007). Als ratten geleerd hebben dat de kans op voedsel groter is nadat ze een pedaal ingedrukt heb-

ben, is er in hun hersenen de representatie gevormd van een causaal verband. Als ratten ziek geworden of gemaakt zijn, nadat ze bepaalde voedsel hebben gegeten, hebben ze geleerd dat voedsel te vermijden (Revusky en Bedarf 1967, hoofdstuk 3.2.): er is in hun hersenen de representatie gevormd van een causaal verband. Bij duiven is bijgeloofgedrag beschreven (Skinner 1948) dat werd beschouwd als een causale misattributie (hoofdstuk 8.1.). Kummer (1995) bespreekt de causale verbanden die dieren, inclusief primaten, hebben geleerd. Een chimpansee die geleerd heeft met symbolentaal te communiceren, kan ontbrekende elementen in causale sequenties aanvullen (Premack en Premack 1994)

Spelen met causaliteitsverwachtingen

Er is een hele amusementssector gebaseerd op causale verwachtingen. Goochelaars en Illusionisten laten het onmogelijke gebeuren. Buiksprekers geven het publiek de indruk dat een levenloze pop spreekt. Bij kunststoten (biljart artistiek) laten biljarters hun biljartballen trajecten beschrijven die mensen fysisch onmogelijk achten. In films van Tati geldt de gebruikelijke causaliteit niet – en dat is juist de grap.

Mensen hebben een intuïtieve fysische verwachting. Als mensen een voorwerp aan een touw boven hun hoofd rondslingeren en het touw loslaten, verwachten veel mensen dat het voorwerp zich recht van hen af beweegt, in plaats van dat het (zoals werkelijk gebeurt) de raaklijn aan de cirkel volgt. Als proefpersonen de opdracht krijgen een bal een kromme boog te laten rollen, proberen sommigen (ook fysici) dat tot stand te brengen, terwijl dat niet kan. Alleen door een bal draaiing ('effect') te geven kunnen voetballers en honkbalpitchers de bal een flauwe bocht laten maken. Bij kunststoten zijn scherpe bochten van een bal wel mogelijk, doordat een biljarter met een keu snellere rotaties van de bal kan veroorzaken, en de bal op een vast oppervlak beweegt.

2.3. Causaal begrip bij kinderen

Ontdekken en waarnemen van causaliteit

Volgens Jean Piaget (1927) leren kinderen causale verbanden door het waarnemen van de gevolgen van de eigen handelingen. Kinderen leren de fysieke gevolgen van het eigen handelen (de gevolgen van grijpen, duwen, trekken), en sociale gevolgen van het eigen handelen (de gevolgen van huilen, slaan, bijten, lachen). Kinderen ontdekken "als ik A doe, gebeurt B." Dit wordt ook anders geformuleerd:

- Als ik A doe, wordt daardoor de kans op B groter.

- Als ik A waarneem, is de kans groter dat ik ook B waarneem.
- Als A gebeurt, is de kans groter dat B gebeurt.

Jonge kinderen leren de gevolgen van eigen acties, en als die gevolgen niet optreden, reageren ze verrast (Gopnik 2010). Een jong kind ontdekt dat de buitenwereld bestaat uit mensen, dieren en levenloze dingen. Levenloze dingen worden door een externe kracht in beweging gezet, terwijl mensen en dieren uit zichzelf bewegen – net zoals het kind zelf. Als dingen uit zichzelf lijken te bewegen, gaan kinderen van 8 - 12 maanden ervan uit dat deze zoets als dieren zijn ('agents', Johnson 2003, Setoh e.a. 2013).

Lois Bloom en haar groep hebben de taaluitingen van kinderen van 2 en 3 jaar onderzocht, en ze ontdekten dat kinderen vroeg causaal begrip hebben. De essentie van veroorzaking is: A is een oorzaak van B, als (1) A en B tezamen voorkomen, (2) A voorafgaat aan B, en (3) A op een of andere manier B produceert. Kinderen verwoordden deze drie elementen consistent. Het voegwoord 'en' drukt uit dat dingen samen gaan; kinderen gebruiken dat rond 26 maanden consistent. Temporele verbanden worden uitgedrukt door de woorden 'toen' of 'en toen'; die gebruiken kinderen rond 28 maanden. De woorden 'daarom' en 'dus' drukken causale verbanden uit; en kinderen beginnen die woorden gemiddeld rond 29 maanden te gebruiken (Hood en Bloom 1979, Bloom e.a. 1980).

Er was discussie of kinderen hun causaal begrip opbouwden uit allerlei losse feitjes en verbanden (*bottom up*), of dat kinderen (*top-down*) een conceptueel causaal verband proberen toe te passen op de wereld. Nu is duidelijk dat beide processen een rol spelen (Kuhn 2012). Kinderen van 7 jaar toetsen causale hypothesen als volwassenen (Tschirgi 1980).

3. Filosofen over causaliteit

3.1. Formele en empirische wetenschappen

Er zijn twee belangrijke stromingen in de filosofie: (1) filosofen, die menen dat oorzaak-/gevolg-ketens alle gebeurtenissen in het heelal bepalen, wat leidt tot een deterministisch wereldbeeld, en (2) filosofen die een deterministisch wereldbeeld verwerpen (zie figuur 7).

3.1.1. Causaliteit in formele wetenschappen

In hoofdstuk 10.1. heb ik een strikte scheiding tussen formele en empirische wetenschappen verdedigd. In de logica is er plaats voor 'nood-

zakelijke en voldoende voorwaarden'. In de natuurwetenschappen zijn er alleen feiten en natuurwetten.

Causaal determinisme

Demokritos concludeerde dat de wereld bestaat uit kleine ondeelbare deeltjes (atomen) die voortdurend in beweging zijn. Deze bewegingen volgen botsingswetten, waardoor alle toekomstige bewegingen vastliggen. In navolging van Demokritos hingen de Stoïcijnen een deterministisch wereldbeeld aan. In deze traditie definieerde Galileo Galilei (1623) *“de doeltreffende oorzaak (‘efficient cause’) als de noodzakelijke en voldoende voorwaarde voor het optreden van iets: dat, en niets anders, moet oorzaak genoemd worden, bij de aanwezigheid waarvan het gevolg altijd optreedt, en bij de verwijdering waarvan het gevolg verdwijnt,”* (geciteerd uit Bunge 1979, p. 33). Pierre-Simon Laplace heeft dit gegeneraliseerd tot een deterministisch wereldbeeld. *“We kunnen de huidige toestand van het heelal beschouwen als het gevolg van het verleden en als de oorzaak van de toekomst. Als er een intelligentie zou zijn die, op een gegeven moment, alle krachten zou kennen die op de materie inwerken, alsook de exacte situatie van elk onderdeel van alle materie, dan zou deze alle bewegingen van de grootste hemellichamen tot het kleinste atoom kunnen omvatten, en zou er niets meer onzeker zijn voor deze intelligentie; het verleden net als de toekomst worden voor hem zichtbaar gemaakt.”* (Wikipedia). Laplace erkende dat wij mensen on-eindig ver van zo'n superieure geest af staan; daarom kunnen we alleen waarschijnlijkheidsuitspraken doen. Het begrip 'noodzakelijke en voldoende voorwaarde' is een eigen leven gaan leiden in de hoop dat mensen iets met zekerheid kunnen voorspellen.

Latere filosofische verfijningen

De Schotse filosoof David Hume (1739, 1748) wilde zich strikt baseren op waarnemen: er zijn wel opeenvolgende gebeurtenissen, maar er is geen noodzaak dat de ene gebeurtenis op de andere volgt. *“Hume ... beweerde dat veroorzaking een ‘opvatting’ is afgeleid van geobserveerde verbanden tussen empirische voorwerpen.”* (Marini en Singer 1988, p. 366). Er is geen dwingende noodzaak dat het verwachte gevolg inderdaad optreedt. Dat geldt ook voor een wilsact. Bij een wilsact willen we iets doen, voeren de handelingen uit, en ontvangen de zintuiglijke terugkoppeling van die handelingen. Zelfs dan is er geen noodzakelijke connectie tussen de wilsact en de daarna volgende gebeurtenissen. Dat zegt Hume terecht, zoals neurologen weten bij slachtoffers van

een beroerte, of bij mensen die in water onderkoeld raken: hun wilsact leidt niet tot bewegingen. Er is geen noodzaak dat een gevolg optreedt.

Ludwig Wittgenstein (1922) benadrukte dat het begrip 'noodzakelijke voorwaarde' uitsluitend in de logica een correct begrip is. *“(6.37). Een noodzaak waardoor een ding zou moeten gebeuren, omdat er iets anders gebeurd is, bestaat niet. Alleen een logische noodzakelijkheid bestaat.”* (5.135) *Op geen enkele manier kan uit het bestaan van een toestand het bestaan van een daarvan totaal verschillende toestand worden afgeleid.* (5.136) *Een causaal verband dat een dergelijke conclusie zou kunnen rechtvaardigen, bestaat niet.* (5.1361) *De gebeurtenissen van de toekomst kunnen wij niet uit de tegenwoordige afleiden. Het geloof aan het causaal verband is bijgeloof.”* (6.36311) *Dat de zon morgen zal opgaan, is een hypothese; en dat betekent: we weten niet of zij zal opgaan.”* (Wittgenstein en Hermans 1975). Iedere uitspraak over de toekomst is een hypothese.

De filosoof John Leslie Mackie (1965) probeerde logische formuleringen toe te passen in voorbeelden ontleend aan concrete situaties. We willen bijvoorbeeld vaststellen wat de brand in een huis veroorzaakt heeft. Dan komen we in de problemen met de strikte logica van noodzakelijke en voldoende voorwaarden. Stel: iemand concludeert dat de brand veroorzaakt is door kortsluiting. Maar kortsluiting is geen noodzakelijke voorwaarde voor brand, want brand kan door allerlei andere gebeurtenissen veroorzaakt worden. Kortsluiting is ook geen voldoende voorwaarde, want als er behalve kortsluiting ook een goed werkende zekerheid geweest was, of onbrandbare materialen, was er geen brand ontstaan. *“De kortsluiting die naar verluid de brand had veroorzaakt, is dus een onmisbaar onderdeel van een complexe voldoende (maar niet noodzakelijke) voorwaarde voor de brand. Dus in dit geval is het bekend dat de zogenaamde oorzaak is een onvoldoende maar noodzakelijk onderdeel van de situatie die op zichzelf niet-noodzakelijk maar voldoende voor het resultaat is.”* (INUS, Mackie 1965).

Voor Mario Bunge (1979) is veroorzaken *“to produce”* en causaliteit is *“production of”* (an effect). Na enkele analyses formuleerde hij het causaal principe als: *“Als C gebeurt, dan (en slechts dan) is E er altijd door geproduceerd.”*

Verzet tegen causaliteit

Er zijn altijd aanhangers en bestrijders geweest van het causaal determinisme. Dit was de discussie over vrijheid en determinisme; het was een discussie over levenshouding. Epicu-

rus (341 - 270 BCE) meende dat sommige atomen van hun baan konden afwijken, zoals dieren dat kunnen als een daad van 'vrije wil' (vergelijk sectie 2.1.).

De econoom en filosoof William Stanley Jevons (1874) was van mening dat het begrip oorzaak alleen maar tot verwarring leidt. Het woord 'oorzaak' *"werkt dus als een toverspreuk en gooit het helderste verstand in verwarring"* (Jevons 1874, p. 221). Volgens de statisticus Karl Pearson is causaliteit een *"fetish"*. *"Ik geloof dat de wet van causaliteit, net zoals zoveel dat voor filosofen door de beugel kan, een overblijfsel uit een voorbije tijd is, die net als het koningschap alleen overleeft, omdat men ten onrechte gelooft dat het geen kwaad kan."* (Russell 1918, p. 171). Volgens Wittgenstein (1922, 5.1361) *"Het geloof aan het causaal verband is bijgeloof."* Volgens Stephen Toulmin (1953) is causaliteit een *"myth"*.

Overigens vind ik dit vrijblijvend gepraat van filosofen. Stel: de bovenstaande filosofen werden met een praktisch probleem geconfronteerd (een lekkage aan hun huis, een defect aan hun rijtuig of auto, een elektrische storing); dan zouden ze een reparateur inhuren die op basis van deskundigheid de oorzaak van het probleem onderzocht en dat verhielp – en ieder van deze filosofen was bereid daarvoor te betalen. Ik denk dat ze causaliteit 'bijgeloof' of een 'mythe' noemden uit een hartgrondige afkeer van causaal determinisme. Volgens mij is er alleen plaats voor causaal determinisme in formele wetenschappen (hoofdstuk 10.1.).

3.1.2. Causaliteit in empirische wetenschappen

Noodzakelijke en voldoende voorwaarden in empirische wetenschappen?

Albert Michotte heeft onderzocht wanneer proefpersonen bewegende beelden wel en niet als causaal waarnamen (sectie 2.1.). Hij nam afstand van het causaliteitsprincipe. *"Let wel: het gaat hier uitsluitend over het gewone idee van causaliteit, d.i. de 'productie' van de ene gebeurtenis door de andere. We houden ons hier niet bezig met het wetenschappelijk of filosofisch concept, en zeker niet met 'het causaliteitsprincipe'."* (Michotte 1946, p. 251). Michotte (1946, p. 251-262) worstelde met het begrip 'noodzakelijke voorwaarde', maar als men formele en empirische wetenschappen strikt scheidt (hoofdstuk 10.1.), is dat probleem verdwenen. Binnen de natuurwetenschap is het causaliteitsbeginsel een spelregel: een afspraak welke verklaringen geaccepteerd worden, en welke niet (Hospers 1967). In de natuurwetenschap staat waarneming voorop, en soms neemt men iets onverwachts waar. In

de natuurwetenschap is geen plaats voor noodzakelijke of voldoende voorwaarden.³ Spitz en Wolf (1946, p. 77) zochten naar *"de noodzakelijke en voldoende kenmerken van een stimulus die een glimlach oproept."* De psychotherapeut Carl Rogers (1957) publiceerde een artikel met de titel *"De noodzakelijke en voldoende voorwaarden voor persoonlijkheidsverandering door therapie"*, in de hoop dat hij zelfs zo iets ambitieus als verandering van persoonlijkheid door psychotherapie deterministisch kon benaderen. Ook veel andere auteurs spreken in termen van causaal determinisme. *"Dus, terwijl oorlog een noodzakelijke voorwaarde kan zijn voor het ontstaan van de staat, het is geen voldoende voorwaarde."* (Carneiro 1970, p. 734).

Mackie (1965) beschreef zijn theoretische INUS-concept aan de hand van het ontstaan van een brand. Maar zijn logische analyse is niet relevant voor forensisch onderzoek naar feitelijke branden. Het meest duidelijke succesverhaal van causale analyses van zeldzame onverwachte gebeurtenissen komt uit de luchtvaart. Alle vliegtuigongevallen worden wetenschappelijk onderzocht en de resultaten van dit onderzoek worden systematisch gebruikt om vliegtuigen veiliger te maken en piloten te instrueren. Het succes hiervan is ongekend: vliegen is het veiligste vervoer. Niemand praat over noodzakelijke en voldoende voorwaarden voor vliegen of neerstorten, maar wel over de concrete oorzaken van een concreet ongeluk. In empirische wetenschappen is er geen plaats voor noodzakelijke en voldoende voorwaarden.

Causaal verklaren

Carl Gustav Hempel (1965) heeft het begrip 'causaal verklaren' geanalyseerd. Er is een reeks gebeurtenissen met concrete dingen. 'Causaal verklaren' is dan die reeks gebeurtenissen herleiden tot de begintoestand en natuurwetten. Dit is volgens Hempel (1965) de essentie van wetenschappelijk verklaren: beschrijven waarom volgens natuurwetten het ene feit op het andere volgt. Dit noemde hij *covering-law explanation*. Daarmee heeft Hempel de essentie van causaal verklaren in een empirische wetenschap of in het dagelijks leven verwoord. Causaal verklaren is het toepassen van natuurwetten op feiten. Feiten zijn gebeurtenissen van objecten (inclusief personen) uit het verleden die betrouwbaar vastgesteld zijn, d.i. met wetenschappelijke metho-

³ Hiermee neem ik expliciet afstand van mijn eerdere interpretatie van het begrip oorzaak als voldoende voorwaarde (van Dongen en Van den Bercken 1981).

den. Met dezelfde natuurwetten kun je ook toekomstige toestanden van objecten voorstellen. Of die toekomstige toestand optreedt, is een hypothese. Als die hypothese bevestigd wordt, is dat een ondersteuning van de natuurwet. Als die hypothese niet bevestigd wordt, gaat men op zoek naar feiten en wetmatigheden die het optreden van de afwijkende gebeurtenis wel causaal kunnen verklaren.

3.2. Teleologie

'Telos' bij Aristoteles

In het denken van Aristoteles hebben alle dingen en processen een telos⁴, die de bron van alle beweging is. Iedere beweging is 'omwille van iets'. Het begrip 'telos' kan niet in een moderne (Nederlandse of Engelse) term vertaald worden. Het betekent een mengeling van eindpunt, eindbestemming, doel⁵ of intentie. Ik geef voorbeelden.

1. Het telos van een steen die losgelaten wordt, is de bodem te bereiken. Het telos van een rivier is de zee te bereiken. In moderne terminologie verwijst telos hier naar het gevolg van een causaal proces.
2. Het telos van een eikel is een eik te worden. Het telos van een baby is een volwassen mens te worden. In moderne terminologie verwijst telos hier naar het gevolg van biologische groeiprocessen, die – volgens de huidige natuurwetenschap - causale processen zijn.
3. Het telos van een wandeling is gezond te worden. In moderne terminologie is telos hier de intentie van degene die de handeling uitvoert.

“Het is fout en misleidend om telos door 'purpose' te vertalen, want dit Engels woord betekent 'vooruitziend' en 'intentie'. Voor Aristoteles vertonen de 'purposes' van mensen vooruitzicht en intentie, en zij vormen een deel van 'doeloorzaken'. Maar de ideeën van Aristoteles werden in de Middeleeuwen aan de heersende religieuze opvattingen aangepast, toen alle natuurprocessen als gevolg beschouwd werden van de Goddelijke Voorzienigheid. Voor Aristoteles komen 'purposes' en 'intenties' alleen voor in het handelen van mensen, en niet in de wereld daarbuiten. [...] De natuur is onbetwist teleologisch; haar processen zijn vol 'einden', telè, die behaald worden, en conclusies die alsmaar bereikt worden. Zelfs God heeft geen 'purpose' volgens Aristoteles, al-

leen mensen hebben 'purposes'!” (Randall 1960, p. 125).

Vaak wordt telos vertaald door 'doeloorzaak', alsof er omgekeerde causaliteit is, maar dat komt door een foute interpretatie van Aristoteles door de Kerkvaders, die meenden dat God een bedoeling had met de schepping. *“Voor Aristoteles, zijn 'einden', doeloorzaken en uitkomsten fundamenteel in het begrijpen van processen, maar zij 'doen' nooit iets. Einden handelen niet of werken niet, zij zijn nooit een doeltreffende of bewegende oorzaak (causa efficiens). Alleen beweging kan iets 'doen' of iets 'laten' plaatsvinden.”* (Randall 1960, p. 128).

Aristoteles: 4 vragen

Volgens Aristoteles (Metaphysica, boek 5, 1031a) zijn alle dingen en processen gekarakteriseerd door het antwoord op 4 vragen (zie tekstkader “De tekst van Aristoteles”). De Latijnse term voor de antwoorden hierop is ook vermeld.

1. Waaruit bestaat het (de 'materiële oorzaak', *causa materialis*)?
2. Wat is de vorm (de 'formele oorzaak' *causa formalis*)?
3. Wie of wat heeft het geproduceerd (de 'doeltreffende oorzaak' of 'bewegende oorzaak', *causa efficiens*)?
4. Waartoe is het er, of waar gaat het heen (de 'doeloorzaak', *causa finalis*)?

De antwoorden op deze vragen worden vaak de 4 'oorzaken' genoemd, maar uit de omschrijvingen blijkt dat dit niet overeenstemt met het moderne begrip 'oorzaak'. De 'efficient cause' wordt wel – ten onrechte - op één lijn gesteld met het moderne begrip 'oorzaak'. Aristoteles geeft voorbeelden van de *efficient cause*: (1) de man die advies gaf, (2) de vader van een kind, (3) dat wat produceert, (4) dat wat doet veranderen. Omdat er een groot cultureel verschil is tussen het huidige westers denken en het denken in het oude Griekenland en het oude Rome kunnen de begrippen 'action' of 'causa' niet in Nederlands of Engels vertaald worden. Het werd in het Nederlands wel 'vertaald' door 'oorzaak' of 'reden', en in het Engels door 'cause' of 'reason'; maar dat was de oorzaak van veel misverstand (sectie 6.1.).

Aristoteles bekritiseerde Demokritos. *“Het wor-dingsproces volgt en is er ter wille van het wezen, maar het wezen volgt niet het wor-dingsproces. De oude natuurfilosofen hadden de tegenovergestelde mening, omdat ze niet inzagen dat er meerdere oorzaken zijn en alleen oog hadden voor de materiële en bewegende oorzaak – en deze ook niet van elkaar*

⁴ Hiervan is het woord 'teleologie' afgeleid.

⁵ Tot sectie 6.2. van dit hoofdstuk gebruik ik het woord 'doel' in een vóórwetenschappelijke betekenis. In sectie 6.2. onderscheid ik 'goal' (= fysiek doel) en 'purpose' (= mentaal doel).

De tekst van Aristoteles (340 BCE, *Metaphysica*, boek 5, 1031a): “αἴτιον λέγεται ἓνα μὲν τρόπον ἐξ οὗ γίγνεται τι ἐνυπάρχοντος, οἷον ὁ χαλκὸς τοῦ ἀνδριάντος καὶ ὁ ἄργυρος τῆς φιάλης καὶ τὰ τοῦτων γένη: ἄλλον δὲ τὸ εἶδος καὶ τὸ παράδειγμα, τοῦτο δ' ἐστὶν ὁ λόγος τοῦ τί ἦν εἶναι καὶ τὰ τοῦτου γένη (οἷον τοῦ διὰ πασῶν τὸ δύο πρὸς ἓν καὶ ὅλως ὁ ἀριθμὸς) καὶ τὰ μέρη τὰ ἐν τῷ λόγῳ. ἔτι ὅθεν ἡ ἀρχὴ τῆς μεταβολῆς ἢ πρώτη ἢ τῆς ἡρεμῆσεως, οἷον ὁ βουλεύσας αἴτιος, καὶ ὁ πατὴρ τοῦ τέκνου καὶ ὅλως τὸ ποιοῦν τοῦ ποιουμένου καὶ τὸ μεταβλητικὸν τοῦ μεταβάλλοντος. ἔτι ὡς τὸ τέλος: τοῦτο δ' ἐστὶ τὸ οὐ ἕνεκα, οἷον τοῦ περιπατεῖν ἢ ὑγίεια. διὰ τί γὰρ περιπατεῖ; φαμέν. ἵνα ὑγιαίνῃ. καὶ εἰπόντες οὕτως οἰόμεθα ἀποδεδωκέναι τὸ αἴτιον. καὶ ὅσα δὴ κινήσαντος ἄλλου μεταξύ γίγνεται τοῦ τέλους, οἷον τῆς ὑγιείας ἢ ἰσχυασία ἢ ἡ κάθαρσις ἢ τὰ φάρμακα ἢ τὰ ὄργανα: πάντα γὰρ ταῦτα τοῦ τέλους ἕνεκά ἐστι, διαφέρει δὲ ἀλλήλων ὡς ὄντα τὰ μὲν ὄργανα τὰ δ' ἔργα.”

De precieze en kale zinnen van Aristoteles kunnen niet correct in helder, modern Engels of Nederlands vertaald worden, maar Ross en Schomakers doen een moedige poging. “*Oorzaak wordt genoemd: (1) Op één manier dat waaruit iets ontstaat en dat daar zelf in voorkomt; in deze zin is brons oorzaak van een beeld, zilver van een schaal en zijn ook de soorten waaronder zij vallen oorzaak. (2) Op een andere manier de vorm en het voorbeeld, en dat is de omschrijving van het wat-was-er-te zijn?, de soorten waaronder die valt (zo is het octaaf de verhouding twee staat tot één en in het algemeen het getal de oorzaak), en de delen van die omschrijving. (3) Vervolgens de oorsprong van het (eerste) begin van verandering of van stilstand, zoals iemand die een beslissing neemt een oorzaak is, een vader oorzaak van zijn kind is en in het algemeen iets dat bewerkstelligt oorzaak is van wat bewerkstelligd wordt, en iets dat een verandering teweegbrengt van dat wat verandert. (4) Verder is er de oorzaak in de zin van doel en verwezenlijking; dat is het omwille waarvan, zoals gezondheid dat van wandelen is. Waarom zou iemand wandelingen maken? Voor zijn gezondheid zeggen we dan en met dat antwoord geloven we de oorzaak aangegeven te hebben. Ook dat wat als een middel tot een doel dient, terwijl iets anders het in beweging brengt, zoals een dieet, purgeren, medicijnen en instrumenten, zijn oorzaak van gezondheid. In alle gevallen zijn ze omwille van het doel, maar ze verschillen in zoverre ze daar in het ene geval als instrumenten, en in het andere als handelingen bij betrokken zijn.*” (Aristoteles en Schomakers 2005, p. 441).

onderscheidend – terwijl ze de formele en finale oorzaak buiten beschouwing lieten” (Aristoteles, de *generatione animalium*, 778b5-10). (Aristoteles en Ferwerda 2005).

De betekenis van het huidige begrip 'oorzaak' is gevormd door eeuwenlange betekenisverschuiving en betekenisanalyse. In dit hoofdstuk probeer ik het begrip 'oorzaak' helderder te krijgen.

Er zijn geen definitieve einddoelen

In de processen van de levenloze natuur en van het leven gaat alles door, en zijn er geen definitieve einddoelen. De eikel wordt weliswaar een eik, maar de eik sterft, (1) vergaat en wordt voedsel voor andere planten, of (2) hij eindigt (tijdelijk) als deur of tafel. Een dinosaurius komt uit het ei, groeit, sterft en vergaat. Een dinosaurius komt uit het ei, groeit, sterft en zijn botten blijven in het steen en worden niet door mensen ontdekt. Een dinosaurius komt uit het ei, groeit, sterft en zijn botten worden door mensen ontdekt, en komen terecht in het *Museum of Natural History* in New York, maar de kans dat dat museum over een miljard jaar nog bestaat, is ongeveer nul. Volgens de Tweede Hoofdwet van de Thermodynamica neem de entropie voortdurend toe, tot de 'hittedood van het heelal', maar dat zal de komende 10 miljard jaar niet gebeuren. De huidige mensen zullen dat niet meemaken. Je kunt eventueel

de hittedood het eindpunt (of het einddoel) van alles en iedereen noemen.

Vormen van teleologie

*“Teleologie, opgevat als de doelloorzaak van Aristoteles, is altijd de geest, het niet-verklaarde mysterie geweest dat de biologie tijdens zijn hele geschiedenis achtervolgd heeft. De onloochenbare doelgerichtheid van biologische structuren en functies heeft veel pogingen tot een mechanische verklaring van levende verschijnselen gefrustreerd.”*⁶ (Randall 1960, p. 128). In de levende natuur komen veel doel-

⁶ Ik ben niet gelukkig met deze laatste zin, maar als men fysische en mentale processen onderscheidt, is het probleem opeens verdwenen. Ik zou zeggen: “Veel biologische processen zijn onloochenbaar gericht op een *goal*; deze kunnen gereduceerd worden tot causale processen, en ze zijn een product van natuurlijke selectie. De onloochenbare ‘*goal-directness*’ van mijn brein is een product is van terugkoppelsystemen; deze zijn een product van natuurlijke selectie, en kunnen (in principe) tot causale processen worden gereduceerd. De onloochenbare ‘*purposiveness*’ van mijzelf is een mentaal proces dat (in ieder geval voorlopig) niet tot causale processen kan worden gereduceerd.”

matige en doelgerichte (*goal-oriented*) processen voor (zie de secties 5.3.2. en 5.4.2.).

Processen in de levenloze natuur die tot een tijdelijk eindpunt leiden, maar waarbij het bereiken van het eindpunt causaal verklaard kan worden, worden wel 'teleologisch' genoemd (Mayr 1992, 1998, Allen en Bekoff 1995). Dat betreft de volgende processen:

1. causale processen (zgn. 'teleomatisch'),
2. doelmatige producten van natuurlijke selectie,
3. doelgericht gedrag van dieren,
4. doelgericht gedrag van mensen,
5. intenties van mensen als bewust proces,
6. achterwaartse veroorzaking,
7. vitalisme,
8. gerichte evolutie.

Wetenschappers voeren een felle strijd of teleologische verklaringen toelaatbaar zijn als wetenschappelijke verklaring (Ayala 1970, Wimsatt 1972, Nagel 1977, Brandon 1981, Mayr 1992, 1998, Ghiselin 2002, Sehon 2013). Hieronder verdedig ik het standpunt dat de eerste 4 varianten (in principe) causaal verklaard kunnen worden, en de laatste 4 fundamenteel niet.

3.3. Empirisch vaststellen van causale verbanden

Oorzaak is een begrip uit de empirie

"Het woord *oorzaak*, zoals gebruikt in het dagelijks leven, houdt **alleen maar** een regelmatige opeenvolging in, want **niets anders** wordt gebruikt om zinnen te verifiëren waarin dit woord voorkomt⁷." (Schlick 1932). "Ik zal zeker niet een of andere 'causaliteitstheorie' voorstellen, want ik geloof dat er niet zo iets kan bestaan. Er zijn geen theorieën en hypothesen in de filosofie: de natuurwetenschappen bestaan uit hypothesen, en ik geloof dat filosofie iets anders is dan natuurwetenschap." (Schlick 1932).

Het aantonen van oorzaak en gevolg

Onderzoeksstrategieën voor het vaststellen van causale verbanden zijn observatie en interventie.

- **Observatie.** Om te beginnen zijn twee observaties belangrijk. (1) De hypothetische oorzaak en het hypothetische gevolg moeten gecorreleerd zijn. (2) De hypothetische oorzaak moet voorafgaan aan het hypothetische gevolg. Door observaties alleen kan men correlaties en temporele verbanden aantonen, maar om tot een

causaal verband te concluderen, moet er een natuurwet zijn dat de hypothetische oorzaak het hypothetische gevolg 'produceert'.

- **Interventies** zijn nodig om causale verbanden aan te tonen; na manipulatie van de hypothetische oorzaak, moet het hypothetische gevolg in de voorspelde richting veranderen (zie bijvoorbeeld sectie 8.2).

Probabilistische veroorzaking

Karl Pearson⁸ (1892) stelde voor om "*causaliteit*" te vervangen door "*associatie*". "*Als we de oorzaak veranderen, verandert ook het verschijnsel, maar niet altijd in dezelfde mate; het verandert, maar er zit variatie in de verandering. Hoe minder variatie er in de verandering zit, hoe preciezer de oorzaak het verschijnsel definieert, hoe nauwer we de associatie of correlatie kunnen vaststellen. Het is dit concept van correlatie tussen twee gebeurtenissen, die alle relaties omvat van absolute onafhankelijkheid tot absolute afhankelijkheid; dat is de bredere categorie waarmee we het woord 'causaliteit' vervangen. [...] Veel filosofen vinden het idee van indeterministische veroorzaking contra-intuïtief. Ja, het woord 'causaliteit' wordt soms gebruikt als synoniem voor determinisme.*" (Hitchcock 1993).

Als er een vast (gedetermineerd) verband is tussen oorzaak en gevolg, dan is de kans op het gevolg (E) gegeven de oorzaak (C) 100%, ofwel $p(E|C) = 1$.

Hypothese-toetsen en voorwaardelijke kansen (volgens Bayes)

Bij traditioneel onderzoek test men hypothesen. Bijvoorbeeld: men heeft de hypothese dat een nieuw molecuule een effectief geneesmiddel is bij ziekte Z, of dat vrouwen beter scoren dan mannen op test Y. Dit zijn de onderzoekshypothesen (H_e) dat er een verschil is. Dan formuleert men de 'nulhypothese' (H_0) dat er geen verschil is, en men 'probeert de nulhypothese te verwerpen'. Men verzamelt data (D) en men berekent hoe groot de kans op de nulhypothese is gegeven de data - d.i. $p(H_0|D)$. Maar eigenlijk is men niet geïnteresseerd in de kansen op de nulhypothese. We zijn geïnteresseerd in de kans dat de onderzoekshypothese bevestigd wordt. Of de kans dat het geneesmiddel effectief is gegeven de data. Of in de kans op een effect, gegeven de oorzaak. De statistiek volgens Bayes is speciaal ontwikkeld om voorwaardelijke kansen te berekenen

⁷ Hier ben ik het niet mee eens: ook natuurwetten worden gebruikt om causale zinnen te verifiëren.

⁸ Hij is een grondlegger van statistiek als wetenschappelijke discipline. Hij introduceerde o.a. de begrippen standaard deviatie, histogram, Gaussverdeling en correlatiecoëfficiënt.

op basis van data (Bayes en Price 1763, Rubin 1978, Hernán 2004).

Voor een deterministisch verband geldt $p(E|C) = 1$. Maar in empirische wetenschappen hebben we vaak onvolledige kennis, en in het dagelijks leven gebeurt niet altijd wat we verwachten. Dan geldt: $p(E|C') < 1,0$. We noemen C' alleen dan een oorzaak van E als $p(E|C') > p(E|\text{non-}C')$, en als bovendien aan enkele andere voorwaarden is voldaan (Hernán 2004, zie secties 4. en 8.). We zullen later (sectie 5.5.1.) een voorbeeld zien van een belangrijke oorzaak/gevolg-connectie, waarbij geldt: $p(E|C') < 0,01$.

4. Fysica en techniek

4.1. Klassieke mechanica

Verscheidene processen in de levenloze natuur leiden door natuurwetten min of meer voorspelbaar tot een nieuwe toestand. We hebben te maken met altijd voortgaande processen; het is kunstmatig om hierin één toestand als 'eindpunt' te benoemen.

Basale kwantitatieve causale wetten

Zolang er mensen zijn, hebben ze altijd een vóórwetenschappelijk idee gehad van kracht, en daaraan gekoppeld beweging en causaliteit (als ze iets wilden verplaatsen, trekken of duwden ze). Na veel onderzoek, onder andere door Galileo, heeft Newton (1687) drie bewegingswetten geformuleerd.

1. Een lichaam waarop geen krachten werken verkeert in rust of volgt een eenparige, rechte beweging.
2. Als een kracht op een lichaam werkt, wordt het lichaam eenparig versneld, waarbij de versnelling (a) gelijk is aan de kracht (F) gedeeld door de massa (m): $a = F/m$ ⁹.
3. De krachten die twee lichamen op elkaar uitoefenen, zijn even groot en tegengesteld van richting (de aarde trekt even hard aan mij, als ik aan de aarde).

Newton heeft als eerste massa en kracht exact gedefinieerd. De tweede wet van Newton is de eerste kwantitatieve causale wet. De kracht op een ding met een zekere massa veroorzaakt een versnelling van dat ding. In de fysica zijn fundamentele krachten geïdentificeerd: niet alleen gravitatie, maar ook elektromagnetisme en de sterke en zwakke wisselwerking.

In de fysica zijn toestanden of gebeurtenissen van dingen (materie of energie) oorzaak van

latere toestanden of gebeurtenissen van (andere of dezelfde) dingen.

Bewegingen van hemellichamen

In 1821 werd vastgesteld dat de planeet Uranus afweek van de baan die eerder berekend was. De hypothese was dat een zware planeet die afwijkingen veroorzaakte. Op 1 juni 1846 publiceerde Le Verrier zijn berekeningen van de plaats waar volgens hem die nieuwe planeet zou moeten staan. Op 23 september 1846 werd die planeet inderdaad op de voorspelde positie aangetroffen. De nieuwe planeet werd Neptunus genoemd. De ontdekking van de planeet Neptunus was een grote triomf voor de natuurwetenschap en het causaliteitsdenken. Een ander sterk voorbeeld van de kracht van de natuurwetenschap en het causaliteitsbeginsel is dat wetenschappers zons- en maansverduisteringen in detail jaren tevoren kunnen voorspellen. In beide voorbeelden was het systeem zo goed bekend dat het als een gedetermineerd systeem kon worden beschouwd.

In de fysica zien we sterke voorbeelden van het toepassen van kwantitatieve natuurwetten om verschijnselen te verklaren en te voorspellen. Ook bijvoorbeeld de zeer voorspelbare werking van digitale computers is in overeenstemming met oorzaak/gevolg-ketens.

4.2. Relativiteitstheorie

Door de relativiteitstheorie is het formuleren van toetsbare zinnen moeilijker geworden, doordat begrippen die vertrouwd zijn uit ons macroscopisch waarnemen, niet altijd van toepassing zijn. Tijd en ruimte blijken relatief te zijn, en gelijktijdigheid kan niet gedefinieerd worden. Maar als men bij de berekeningen rekening houdt met de relativiteitstheorie, zijn precieze voorspellingen mogelijk.

Interacties sneller dan het licht?

In de natuurkunde geldt het *principle of locality* dat een voorwerp uitsluitend direct beïnvloed kan worden door zijn directe omgeving. Dat is door een botsing of door een lokaal krachtenveld, bijvoorbeeld gravitatie of elektromagnetisch. Volgens de speciale relativiteitstheorie kan niets dat energie of impulsmoment bevat, sneller gaan dan licht in het vacuüm. Volgens de speciale relativiteitstheorie kunnen fysische invloeden niet sneller reizen dan het licht. Ook volgens de speciale relativiteitstheorie is de 'gelijktijdigheid' van twee gebeurtenissen afhankelijk van de observator (Einstein 1907). Maar bij causaliteit is het essentieel dat de oorzaak voorafgaat aan het gevolg. Ook bij een gebogen ruimtetijd zou de oorzaak moeten vooraf-

⁹ De gangbare formulering is $F = m \cdot a$, maar ik geef er de voorkeur aan om de afhankelijke variabele vóór het =teken te plaatsen en de onafhankelijke variabelen erachter: $a = F/m$.

gaan aan het gevolg. Een gebeurtenis op een zekere plaats kan niet sneller dan het licht een gebeurtenis op een andere plaats beïnvloeden. Algemeen gaat men ervan uit dat ook 'informatie' niet sneller kan reizen dan de lichtsnelheid, maar onduidelijk is volgens welke wetmatigheid dat zou gelden.

4.3. Kwantummechanica

De Kopenhagen-interpretatie

Door de kwantummechanica is het formuleren van toetsbare zinnen moeilijker geworden, doordat begrippen, zoals oorzaak, gevolg en tijd, die vertrouwd zijn uit ons macroscopisch waarnemen, niet altijd van toepassing zijn (Ball 2017). Volgens de Kopenhagen-interpretatie van de kwantummechanica (Stapp 1972, Howard 2004) is de wereld op de schaal van kwanten en elementaire deeltjes wezenlijk onbepaald (Bunge 1979). Einstein is het daar nooit mee eens geweest: *"U gelooft in een God die dobbelt, maar ik in volledige wet en orde in een wereld die objectief bestaat, en die ik probeer te vatten, op een wild speculatieve manier."* (Albert Einstein aan Max Born, Sept 1944, *'The Born-Einstein Letters'*). Einstein heeft de Einstein-Podolsky-Rosen paradox geformuleerd om aan te tonen dat de kwantummechanica onjuist moest zijn (Einstein e.a. 1935). *"De kwantummechanica kan niet juist zijn, want anders leven we wel in een erg vreemde wereld."* Experimentele toetsing toonde echter dat de kwantummechanica vooralsnog juist lijkt (Aspect e.a. 1982). Inderdaad: we leven in een bizarre wereld, die niet begrijpelijk of invoelbaar is vanuit onze macroscopische ervaring, en die strijdig is met de klassieke logica. Toen een hoogleraar theoretische natuurkunde gevraagd werd of hij kwantummechanica begreep, was zijn antwoord: *"Nee ik begrijp het niet, maar ik ben er inmiddels aan gewend."* Als de wereld op microschaal wezenlijk onbepaald is, kan de wereld op macroschaal niet gedetermineerd zijn. We kunnen natuurlijk niet uitsluiten dat in de toekomst wetmatigheden worden ontdekt die de wezenlijke onbepaaldheid uit de kwantummechanica onderuit halen. Maar op dit moment is de theorie dat processen op microschaal wezenlijk onbepaald zijn, breed geaccepteerd.

4.4. Techniek: doelgerichte apparaten

Terugkoppelsystemen

Terugkoppeling is bij uitstek de methode om een doel te bereiken. Een teruggekoppeld systeem heeft een ingebouwd doel, detecteert de actuele toestand, vergelijkt deze met dat doel, en genereert corrigerende output in de

richting van dat doel. Terugkoppelsystemen zijn doelgericht om de gestuurde parameter binnen gespecificeerde grenzen te houden. We onderscheiden:

- regelsystemen in de levende natuur; in dat geval is natuurlijke selectie de *'cause d'être'* van het regelsysteem¹⁰;
- regelsystemen die door mensen gemaakt zijn; in dat geval is het doel van de ontwerper/maker de *'raison d'être'* van het regelsysteem.

Een kamerverwarmingssysteem met thermostat is doelgericht. Een kruisraket is doelgericht. Een schaker doet doelgericht zetten. De cybernetica (Wiener 1948) beschrijft hoe men apparaten kan maken die automatisch doelgerichte output genereren. Maar al lang voordat er een wetenschappelijke cybernetica bestond, paste men dergelijke principes toe.

Simpele terugkoppelsystemen

Een oud voorbeeld van een terugkoppelsysteem dat door een mens gemaakt is, is een thermostaatverwarming met kwik voor een broedmachine gemaakt rond 1620 door de Nederlandse uitvinder Cornelis Drebbel (Tierie 1932). Een ander bekend voorbeeld is de centrifugaal regelaar in de stoommachine van Watt uit 1788. Dat is een constructie rond een draaiende as; de constructie is zodanig dat er minder energie aan de as wordt toegevoerd, als de as te snel draait. Daarmee wordt het toerental automatisch geregeld. Dit zijn voorbeelden van vrij simpele terugkoppelsystemen die door mensen gemaakt zijn. De maker van deze systemen had de intentie (sectie 6.2.) een regelsysteem te maken dat aan het doel van de maker beantwoordde. Deze terugkoppelsystemen genereren doelgerichte output, uitsluitend door causale processen, zoals door de maker bedacht. Een intentie van de maker/ontwerper van deze apparaten was de reden dat ze gemaakt zijn; dat was hun *raison d'être*.

Intelligente apparaten

Onderzoekers van kunstmatige intelligentie proberen systemen te maken die oplossingen voor nieuwe problemen vinden. We kunnen een systeem alleen dan 'intelligent' noemen als het gericht is op een gespecificeerd doel, en dat doel (meestal) behaalt. Een schaakcomputer is een intelligent systeem dat het doel 'de wedstrijd winnen' nastreeft. Er zijn voortbewegende robots gemaakt die een ingesteld doel in een onvoorspelbare omgeving bereiken – uitsluitend op basis van causale

¹⁰ Zie sectie 6.1. voor het onderscheid tussen 'oorzaak' en 'reden'.

processen (Saffiotti e.a. 1993). De zelfrijdende auto is een goed voorbeeld van een kunstmatig, doelgericht, intelligent systeem dat gelijktijdig verscheidene doelen nastreeft. Bij een zelfrijdende auto selecteert de gebruiker een einddoel, terwijl de computer van de auto informatie heeft over zijn huidige positie en het stratenvanplan. De zelfrijdende auto moet niet alleen zijn eindbestemming bereiken, maar ook zonder botsingen met auto's, voetgangers en objecten. De auto moet de verkeersregels volgen en binnen een acceptabele (haalbare) tijd het doel bereiken. De zelfrijdende auto moet dus gelijktijdig een aantal doelen nastreven in een variabele, onvoorspelbare omgeving. De zelfrijdende auto werkt uitsluitend door causale processen.

5. Biologie en geneeskunde

5.1. Filosofie van de biologie

5.1.1. Causaliteit en doelmatigheid in de biologie

Doelmatige processen

De biologie is een andere wetenschap dan natuurkunde of scheikunde (Ayala en Dobzhansky 1974, Mayr 1988). In de natuur- en scheikunde zijn directe causale verbanden de acceptabele verklaringen. Maar in de biologie hebben we ook te maken met doelmatige onderdelen zoals DNA, enzymen en organen, en met doelgericht gedrag. In een natuurwetenschappelijke biologie probeert men het ontstaan en de werking van die doelmatige organen en doelgerichte gedragingen causaal te verklaren. Het overkoepelende biologische 'doel' is het overleven of voortplanten van het individu of zijn verwanten, of eigenlijk het verbreiden van de onderliggende zelfzuchtige allelen.

Emergente eigenschappen - reductie

In de biologie zijn de systemen complexer dan in de fysica. Biologische verschijnselen kunnen op verschillende niveaus causaal verklaard worden: het moleculaire, cellulaire, orgaan- of organisme-niveau ¹¹.

- Op het moleculaire niveau hebben we te maken met enzymen, ionkanalen, receptoren, neurotransmitters en hormonen. De werking van deze moleculen kan (in princi-

pe) causaal verklaard worden. Een ionkanaal heeft de eigenschap dat het open of gesloten kan zijn. De werking van cellen wordt veroorzaakt door de werking van de moleculen van die cellen.

- Cellulair niveau. Een zenuwcel kan vuren (actiepotentialen afgeven), en een spiercel kan samentrekken. Dit noemt men 'emergente eigenschappen' van zenuw- en spiercellen: deze eigenschappen 'ontstaan' op cellulair niveau. Ze komen niet voor op een lager (moleculair) niveau, maar kunnen wel in principe vanuit dat lagere niveau causaal verklaard worden. Als bepaalde ionkanalen (in dit geval spanningsgevoelige natriumkanalen) van een zenuwcel open gaan, stromen natriumionen de cel binnen, de cel wordt gedepolariseerd, en gaat vuren.
- Op organisme niveau: een dier kan lopen, hollen of liggen, op basis van de spieractiviteit. Spieren kunnen niet lopen, dieren wel. 'Lopen' is een emergente toestand van een organisme, die in principe causaal verklaard kan worden door de werking van spieren (dus op orgaaniveau).

Ik zeg 'in principe' want in de praktijk weten we nog steeds te weinig details op een lager niveau. Er is nog steeds veel onverklaarde variatie.

5.1.2. Vitalisme

Processen in de natuur- en scheikunde kunnen causaal verklaard worden (behalve onderdelen van de kwantummechanica). Maar is er een adequate fysisch/chemische verklaring voor schijnbaar doelgerichte processen in de biologie, zoals groei, voortplanten en gedrag? Volgens sommigen streven organismen door een niet-fysisch principe naar groei, ontwikkeling, overleven en voortplanten.

Henri Bergson (1907) heeft een scheppende levenskracht van organismes gepostuleerd en uitgewerkt tot het *élan vital*, dat niet fysisch of chemisch is. Bergson doet ook uitspraken over instinct, intuïtie en intellect, maar deze zijn verwoord in magische zinnen (hoofdstuk 7.3.), dus daar valt niets toetsbaars over te zeggen.

Ivan Pavlov (1928) wilde gedrag uitsluitend fysiologisch te verklaren, maar hij postuleerde toch de doelreflex (*reflex of purpose*) en de vrijheidsreflex (*reflex of freedom*), die niet eenvoudig causaal verklaard kunnen worden. Men associeert het woord 'reflex' met causale processen, maar dat wordt een probleem bij de doelreflex of de vrijheidsreflex.

¹¹ De keuze van niveaus is belangrijk. Ik raad iedereen aan om niveaus zo te kiezen dat processen op één niveau een causale verklaring vormen voor processen op één niveau hoger (van Dongen en Van den Bercken 1981).

Ook de fysioloog **Claude Bernard** meende dat in de levende natuur speciale, niet-fysische processen (*l'élan vital*) een rol spelen: "We geven toe dat levensverschijnselen verbonden zijn aan fysisch-chemische gebeurtenissen, maar daardoor wordt het essentiële niet verklaard; want geen toevallig samengaan van fysisch-chemische processen construeert een organisme volgens plan en design (dat tevoren voorzien is) en wekt de bewonderenswaardig ondergeschiktheid en de harmonieuze overeenstemming van de levensprocessen op. [...] Determinisme kan niets anders zijn dan fysisch-chemisch determinisme. De vitale kracht en het leven behoren tot de metafysische wereld." (Bernard geciteerd uit Mayr 1988, p. 30). Volgens mij is een vitalistisch principe niet nodig om levensprocessen te verklaren. Voorlopig ga ik door met het spel om causale verklaringen voor levensprocessen te zoeken.

5.2. Erfelijkheid

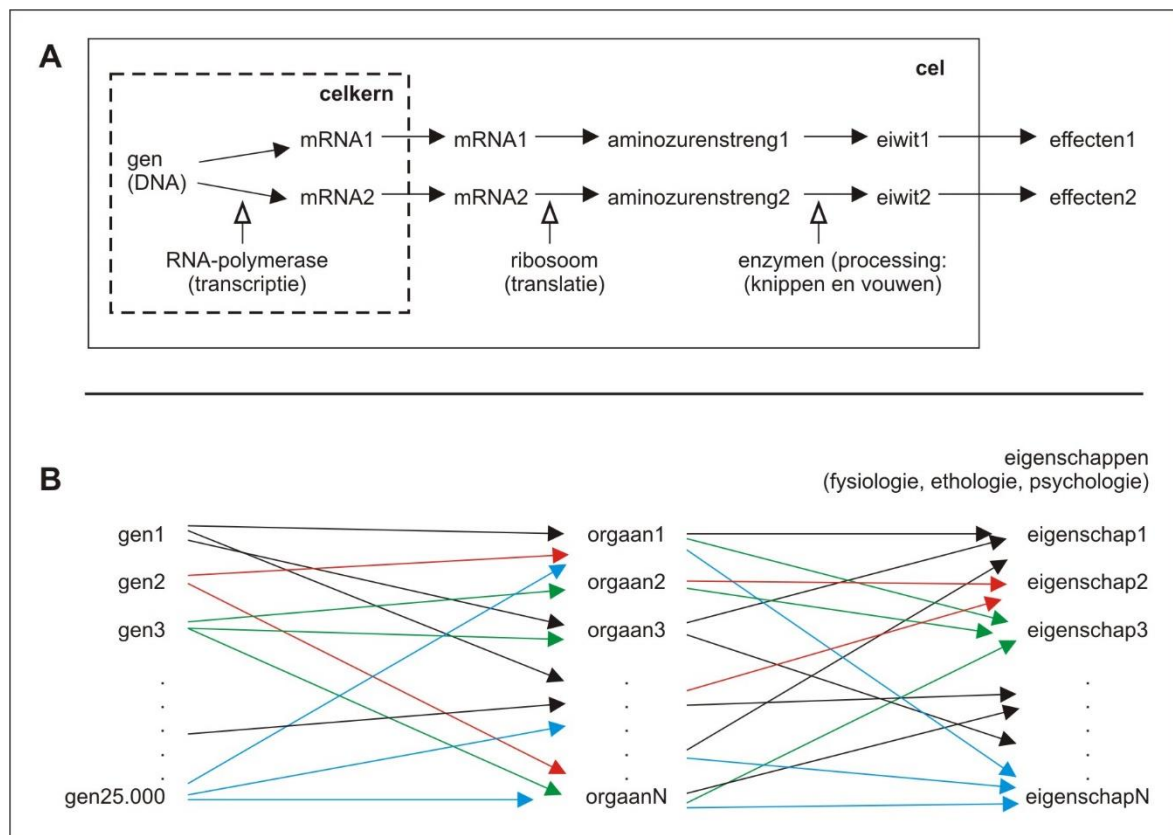
Erfelijkheid en causaliteit

Biochemie. Op moleculair niveau zijn de causale genetische verbanden in principe goed te

overzien (figuur 1A). In de celkern wordt door het enzym RNA-polymerase een mRNA-kopie van een gen (DNA) gemaakt (transcriptie = 'overschrijven'). Deze mRNA-kopie wordt uit de celkern naar het cytoplasma getransporteerd. In het cytoplasma zitten ribosomen die de mRNA-kopie vertalen tot een eiwit (translatie = 'vertalen'). Aanvankelijk meende men dat één gen de synthese van één eiwit veroorzaakte. Maar van één gen kunnen verschillende delen 'afgelezen' worden tot verschillende mRNA-moleculen (splittingsvarianten).

Als het eiwit eenmaal gevormd is, kunnen er door enzymen stukken van het eiwit afgeknipt worden, en kan het eiwit op verschillende manieren gevouwen worden.

Fysiologie, ethologie of psychologie. Afzonderlijke genen komen tot expressie in allerlei weefsels en organen. De effecten van deze genen hangen af van deze weefsels en organen: daardoor heeft één gen veel verschillende effecten op orgaanniveau. In de fysiologie, ethologie of psychologie onderscheidt men veel eigenschappen van levende organismen. Met *genome-wide association studies* (GWAS, hoofdstuk 3.1.) zijn er tientallen of honderden



Figuur 1. Schematisch overzicht van de effecten van genen. A. Een relatief simpel schema hoe een gen leidt tot de productie van eiwitten met de effecten van die eiwitten. B. De complexiteit: er zijn zo'n 25.000 genen die in allerlei organen tot expressie komen, en dit leidt tot allerlei eigenschappen van het organisme. Het verband tussen genen en eigenschap is vaak onontwarbaar.

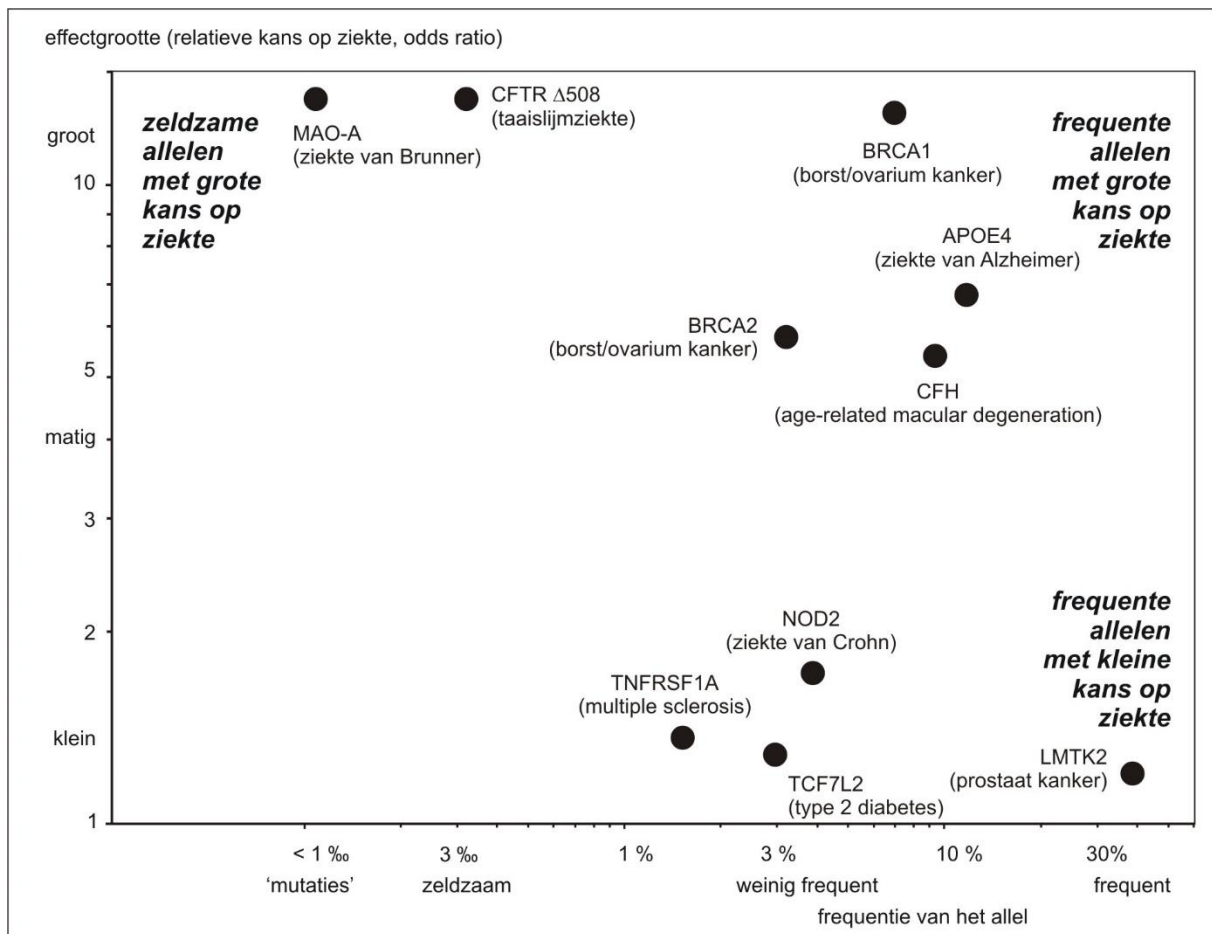
kandidaat-genen gevonden voor afzonderlijke eigenschappen zoals lichaamslengte, IQ of autisme. Eén afzonderlijk allel heeft zoveel effecten, en één afzonderlijke eigenschap wordt door zoveel genen beïnvloed, dat we de verbanden voorlopig niet kunnen overzien (figuur 1B).

Genen geassocieerd met ziektes

In 1989 is het eerste gen gekloond waarvan allelen een ziekte veroorzaakten. Als mensen homozygoot zijn voor foute allelen van dit gen, dan krijgen ze taaislijmziekte (*cystic fibrosis*, Riordan e.a. 1989). De onderzoekers hebben de nucleotiden-volgorde vastgesteld van het allel dat de ziekte veroorzaakt, en van het allel bij gezonde personen. Daarmee kenden ze ook de aminozuurvolgorde van het intacte en het afwijkende eiwit. Dit is een gen voor een bepaald chloride-kanaal; bij varianten van dit gen ontstaan afwijkende chloride-kanalen, en daardoor uiteindelijk de symptomen van taaislijmziekte. Geïnspireerd door dit succes is een jacht ontstaan naar 'het gen' voor allerlei ziek-

tes. Bij sommige ziektes zijn de relevante genen ontdekt (figuur 2). In deze gevallen is een variant van één gen een oorzaak van één ziekte; dat zijn monogene ziektes. Bij sommige allelen is de kans op ziekte bij homozygoten zeer groot (bijna 100%), bijvoorbeeld voor taaislijmziekte en een variant van borstkanker. Dan kan men de causale keten tussen het allel en de ziekte ontrafelen. Andere genen vergroten de kans op de betrokken ziekte in meer of mindere mate. Dat geldt bijvoorbeeld voor beroertes (Majersik 2017)..

Dan is het zaak andere factoren (genen of in de omgeving) te ontdekken die de kans op de betreffende ziekte vergroten. Aandoeningen zoals schizofrenie en autisme hebben een hoge heritabiliteit. Daarom dacht men vrij eenvoudig de allelen voor schizofrenie of autisme te kunnen vinden met koppelings- of *linkage* onderzoeken. Men selecteerde een plausibel gen, en onderzocht of allelen daarvan geassocieerd waren met de ziekte.



Figuur 2. Voorbeelden van 10 allelen die ziektes veroorzaken. Er zijn grote verschillen in de frequentie van deze allelen enerzijds, en de effectgrootte, d.i. de relatieve kans dat een drager de ziekte krijgt (figuur van Bush en Moore 2012, met aanvullingen Brunner e.a. 1993).

Het gevolg was een enorme toevloed van publicaties waarin associaties tussen genen en ziektes geclaimd werden (Pulit e.a. 2014). Deze resultaten bleken echter slecht reproduceerbaar. Van 166 gepubliceerde associaties werden er slechts 6 (3,6%) gerepliceerd (Hirschhorn e.a. 2002).

Sinds 2011 gebruikt men een nieuwe onderzoeksmethode, *next-generation sequencing*, waarmee efficiënter allelen die stoornissen veroorzaken, ontdekt kunnen worden. Men zoekt individuen met een stoornis in populaties met relatief veel inteelt. Daarmee kan men genen ontdekken die een rol spelen bij recessieve autosomale stoornissen (Najmabadi e.a. 2011, Musante en Ropers 2014).

Genome-wide association studies (GWAS)

Tegenwoordig kan men de associatie tussen allelen en eigenschappen van levende organismen onderzoeken in enorme DNA-data-bestanden. Dit noemt men *genome-wide association studies* (GWAS, Haines e.a. 2005, Bush en Moore 2012). Hierin bestudeert men van zeer veel genen de bekende varianten, inclusief afzonderlijke nucleotide-variaties (*single-nucleotide polymorphism*, SNP)¹². Met GWAS worden allelen gevonden die geassocieerd zijn met ziektes of eigenschappen van mensen (Bush en Moore 2012, Zaitlen e.a. 2013). Alleen bij uitzondering vindt men een overzichtelijk aantal gen-varianten die een aanzienlijk deel van het erfelijk gevolg kunnen verklaren. Maar in de meeste gevallen vindt men tientallen tot honderden mogelijk relevante allelen, die ieder afzonderlijk een geringe invloed hebben. *“The meest plausibele verklaring voor deze mislukking is dat de effectgrootte van afzonderlijke genetische varianten zo klein is dat de gangbare experimentele steekproeven te klein zijn om dit te detecteren.”* (Benyamin e.a. 2014, p. 254). Vaak kan maar een klein deel (3% - 30%) van de traditionele heritabiliteit verklaard worden door alle afzonderlijke ontdekte allelen tezamen. Die ontbrekende informatie wordt *missing heritability* genoemd (Zuk e.a. 2012, Zaitlen e.a. 2013). Er wordt gezocht naar een verklaring voor de

missing heritability (Sanna e.a. 2011, Golan e.a. 2014, Zaitlen e.a. 2014, Ge e.a. 2015, Zhu e.a. 2015).

Nu het volledige genoom van de mens beschreven is, hoopten onderzoekers dat we snel een causaal inzicht zouden krijgen in allerlei processen en eigenschappen van mensen. Het is gelukt om een goed overzicht te krijgen van allerlei moleculen, zoals receptoren, ionkanalen en enzymen, die door afzonderlijke genen veroorzaakt worden. Allerlei mutaties in deze genen leiden tot duidelijke afwijkingen. Maar het verband tussen deze moleculen en bekende eigenschappen en ziektes van mensen en dieren is te complex. Terwijl de heritabiliteit van bijvoorbeeld lichaamslengte, IQ, schizofrenie en taalvaardigheid groot is, zijn hierbij zoveel genen betrokken dat de causale verbanden tussen de genen en de eigenschappen niet eenvoudig ontrafeld kunnen worden.

5.3. Evolutie

5.3.1. Natuurwetenschappelijke evolutie

De gen-centrische visie

Charles Darwin (1859) heeft een theorie geformuleerd over hoe dieren en planten geleidelijk veranderen en uiteindelijk zoveel veranderen dat nieuwe soorten ontstaan, uitsluitend door natuurlijke processen, zonder interventie van een kweker of schepper. De theorie van Darwin gaat uitsluitend over eigenschappen die minstens gedeeltelijk erfelijk zijn. Darwinistische evolutie kan alleen begrepen worden vanuit de erfelijkheidsleer (Fisher 1930, Dobzhansky 1937, 1955). Evolutie is het veranderen van de frequenties van genen. Door een toevalsproces (mutatie) ontstaat een variant van een gen. Dan zijn er twee varianten van dit gen (allelen). Elk van deze allelen kan leiden tot het ontstaan van andere eigenschappen van het organisme. In de evolutiewetenschap formuleert men hypothesen waardoor de ene eigenschap in een bepaalde omgeving leidt tot een grotere kans op overleven of nakomelingen dan de andere. Bijvoorbeeld dat een donkere vlinder in een industrieel vervuilde omgeving minder opvalt en daardoor een kleinere kans heeft opgegeten te worden (hoofdstuk 3.1.). De causale verklaring waardoor natuurlijke selectie eigenschap A bevordert heeft ten koste van niet-A, noemt men vaak de ‘functie’ van eigenschap A, maar ik geef er de voorkeur aan dit het ‘evolutionair voordeel’ te noemen (hoofdstuk 4.1.). In het verleden stond het overleven en voortplanten van individuen centraal. Nu staat eerder het verbreiden van allelen centraal (Fisher 1930, Dobzhansky 1937, 1955); dat heeft geleid tot het idee van verwan-

¹² Vaak worden miljoenen allelen in de genomen van 100.000-den individuen getest. Als men hierin een grenswaarde voor statistische significantie stelt op $p < 0,05$, vindt men altijd zeer veel statistisch significante verbanden, maar verreweg de meest daarvan zijn ongetwijfeld vals-positief. Barsh e.a. (2012) stelden $p < 0,000005$ als grenswaarde in hun onderzoek. We bereiken het moment dat er te weinig mensen op aarde leven voor relevant GWAS-onderzoek.

tenselectie (Maynard Smith 1964, E.O. Wilson 1975), en het idee van 'zelfzuchtige genen' (hoofdstuk 4.1., Dawkins 1976). Volgens mij is er geen natuurwetenschappelijk alternatief voor de gen-centrische visie op evolutie (Williams 1985, hoofdstuk 4.1.).

Toeval

Volgens nieuwe versies van het Darwinisme veranderen alle frequenties niet alleen door selectie, maar ook door toevalsprocessen ('genetic drift'); die nu eenmaal een rol spelen bij overleven en voortplanten. Eigenschappen die door *genetic drift* in de populatie frequent zijn geworden, zijn niet speciaal voordelig. Dergelijke eigenschappen zijn niet 'aangepast' (of *adapted*). Er is geen causale verklaring in Darwinistische termen voor het ontstaan van die eigenschappen. Immers 'toeval' is geen causale verklaring, al volgen toevalsprocessen wel statistische wetmatigheden.

Sociale insecten - groepsselectie?

Een volk honingbijen bestaat uit enkele vruchtbare individuen (de koningin en darren) en een groot aantal onvruchtbare individuen (de werkers). Hoe kunnen door natuurlijke selectie onvruchtbare individuen ontstaan, die immers hun eigenschappen niet op nageslacht kunnen overdragen? Darwin (1859) erkende dat dit misschien wel de doodssteek vormde voor zijn theorie van evolutie door natuurlijke selectie. Dit probleem geldt ook voor andere eusociale soorten zoals mieren, termieten en naakte molratten.

E.O. Wilson (1975, 2008), E.O. Wilson en Hölldobler (2005), D.S. Wilson en E.O. Wilson (2007) en Nowak e.a. (2010) stelden groepsselectie voor om het probleem van het ontstaan van eusociale soorten te verklaren (hoofdstuk 4.1.). Maar deze 'verklaring' geeft meer problemen dan ze oplost. Immers: "*Groepsselectie is niet in overeenstemming met bekende processen van natuurlijke selectie.*" (Trivers 1971, p. 44)¹³. In hoofdstuk 4.1. presenteer ik 'Mijn oplossing voor de evolutie van eusociale insecten'.

¹³ Door het accepteren van groepsselectie heeft men causaliteit als algemeen verklarende principe opgegeven. Ik bespreek groepsselectie in hoofdstuk 4.1.

5.3.2. Natuurlijke selectie produceert doelmatigheid en doelgerichtheid

Aristoteles en Immanuel Kant

Het is in de levende natuur opvallend dat de bouw en werking van delen van levende organismen doelmatig zijn, en met 'doelmatig' bedoelt men dat ze bijdragen tot overleven of voortplanten van het individu en zijn verwanten.

Aristoteles ging ervan uit dat alles in de levende natuur 'ergens goed voor is': "*Alles dat afhangt van de werking van de natuur is van nature zo goed als het maar kan zijn.*" (Nicomachean Ethics I.1099b22). De instincten voor eten, drinken en zelfbescherming 'dienen' voor het overleven van het individu. De instincten voor seks en moederzorg 'dienen' voor 'het overleven van de soort'.

Ook Immanuel Kant (1790) ging ervan uit dat alles in de levende natuur doelmatig (*zweckmäßig*¹⁴) is: "*Alles in de wereld is ergens goed voor, en niets is er voor niets. De mens is gerechtvaardigd, en zelfs verplicht, door het voorbeeld dat de natuur aan haar organische producten geeft, van de natuur en de natuurwetten niets anders te verwachten dan wat volledig doelmatig is.*" (Kant 1790, § 67, p. 379). Als voorbeeld noemde hij de bouw van een vogel, zijn holle botten, de vleugels voor voortbeweging en de staart voor sturen. Kant claimde dat het onmogelijk is deze doelmatigheid door causale processen te verklaren. Dat noemde hij 'teleologie', die in zijn denken fundamenteel niet-fysisch/chemisch is¹⁵.

Toen Kant zijn theorie formuleerde was er nog geen wetenschappelijke evolutieleer (Darwin 1859). Daarom kon Kant niet weten dat er een natuurwetenschappelijke verklaring zou komen voor het ontstaan van doelmatige moleculen, cellen, organen en gedragingen. Toen Kant zijn theorie formuleerde was er nog geen wetenschappelijke cybernetica (Wiener 1948). Daarom kon Kant niet weten dat er een natuurwetenschappelijke verklaring is voor het ontstaan van doelgericht gedrag van dieren, mensen en machines. Bovendien was er in de tijd van Kant geen uitgewerkt begrippenkader over fysische en mentale processen.

¹⁴ Zie het tekstkader 'Het vertalen van een tekst van Kant (1790)'.

¹⁵ Ook voor Du Bois-Reymond (1872) was de vraag "*Waardoor is het doel in de natuur ontstaan?*" een van de grootste wetenschappelijke vragen.

Natuurlijke selectie als causale verklaring voor het ontstaan van doelmatige processen

De evolutietheorie van Darwin (1859) biedt een causale verklaring voor het ontstaan van allerlei doelmatige eigenschappen van levende organismen. Door toevallige mutaties ontstaat variatie, en door natuurlijke selectie worden allelen geëlimineerd die overleven of voortplanten belemmeren. Er blijven allelen over die overleven of voortplanten bevorderen. Natuurlijke selectie selecteert niet alleen de allelen die het eigen overleven of voortplanten bevorderen, maar ook allelen die ten voordele van verwanten werken. Dat noemt men 'verwantenselectie'. Door natuurlijke selectie bevorderen organismen het overleven of voortplanten van zichzelf of verwanten. We kunnen alleen achteraf concluderen of een ding of een proces doelmatig was. Achteraf wordt dit 'doelmatig', 'functioneel', 'adaptief' of 'evolutionair voordelig' genoemd. De 'doelmatigheid' van de levende natuur is geen sturende kracht, maar het gevolg van de eliminatie van minder geschikte eigenschappen.

Het was de vraag in hoeverre natuurlijke selectie en verwantenselectie een verklaring bieden voor verschijnselen in de biologie, psychologie, sociologie en antropologie. Tabel 1 geeft een overzicht van items die volgens mij al dan niet door natuurlijke selectie of verwantenselectie verklaard kunnen worden.

Terugkoppelsystemen als causale verklaring voor doelgerichte processen

Veel doelmatige activiteiten van organismen komen tot stand via terugkoppelsystemen. Binnen organismen zijn er veel terugkoppelsystemen, die bijvoorbeeld de lichaamstemperatuur redelijk constant houden. Bij een terugkoppelsysteem is er een gestuurde parameter. Het systeem werkt zodanig dat de gestuurde parameter binnen vooraf ingestelde waardes blijft (of komt). Voor een buitenstaander zijn dit doelgerichte processen. Mayr (1992) geeft voorbeelden van doelmatige processen in de levende natuur, die het gevolg zijn van de werking van een programma: bijvoorbeeld: een volgroeid orgaan (in de ontwikkeling), een fysiologisch proces, het bereiken van een gebied (bij migratie) of het uitvoeren van de 'eindhandeling'.

Causale en teleologische zinnen in de biologie

Biologen worden getraind om causale zinnen te formuleren. "*Biologen waren een tijd lang bereid te zeggen dat een schildpad naar het strand kwam en haar eieren legde, maar zij weigerden te zeggen dat ze naar het strand*

kwam om haar eieren te leggen. Dit terughoudend woordgebruik was bedoeld als een verwerping van teleologie..." (Pittendrigh 1958, p. 303). Nagel (1961) claimt dat hij iedere teleologische formulering in de biologie kan transformeren in een causale formulering zonder verlies van inhoud. Maar Ayala (1970, p. 12) werpt tegen dat een teleologische uitspraak wezenlijk iets meer zegt dan de equivalente niet-teleologische uitspraak. Volgens Ayala zijn teleologische uitspraken van toepassing in de biologie en cybernetica. In de biologie en cybernetica benoemt een teleologische uitspraak de oorzaak waardoor het ding of het proces ontstaan is: het is de '*cause d'être*'. Is dan de uitspraak '*een zeeschildpad ging naar de kust om eieren te leggen*' een niet-acceptabele uitspraak in een natuurwetenschappelijke biologie? Als het zinsdeel '*ging naar de kust om eieren te leggen*' verwijst naar een 'doeloorzaak' of naar een mentale intentie, dan is de uitspraak niet acceptabel in een natuurwetenschappelijke biologie. Maar als het zinsdeel '*ging naar de kust om eieren te leggen*' een korte uitdrukking is voor '*ging naar de kust en legt eieren, wat evolutionair voordelig is*', dan is de uitspraak acceptabel, maar leidt gemakkelijk tot verkeerde interpretaties.

Veel biologen formuleren teleologisch

Er is een andere reden dat biologen teleologisch formuleren. Omdat alleen onze belevingen voor ons toegankelijk zijn (hoofdstuk 10.3.), is het 't gemakkelijkst om ons gedrag te beschrijven in termen van intenties. Mensen denken teleologisch, voordat ze over oorzaken en gevolgen hebben nagedacht. "*De menselijke geest is intrinsiek teleologisch. We kunnen het niet helpen dat we geloven dat bewegende, complexe en mooie objecten een purpose moeten hebben.*" (Jolly 1988, p. 363). Speciaal biologen zijn geneigd teleologische verklaringen te formuleren. "*Teleologie is als een minnares voor een bioloog: zonder haar kan hij niet leven, maar hij wil niet met haar in het openbaar gezien worden.*" (toegeschreven aan Haldane).¹⁶

¹⁶ "*Teleologie is als een echtgenote voor een psycholoog: hij wil niet met haar in het openbaar gezien worden.*" (ontleend aan Paul Timmermans).

Tabel 1. Een overzicht van de onderwerpen die volgens mij al dan niet door verwantenselectie causaal verklaard kunnen worden (zie ook Abbott e.a. 2011).

item	verklaard door verwantenselectie	reden of alternatief
Verzorgen van eigen kinderen	ja	
Verdedigen van eigen kinderen	ja	
Verliefdheid als gevoel	nee	mentaal *
Verliefdheid als oorzaak van gedrag	ja	
Jaloezie als oorzaak van gedrag	ja	
Jaloezie als gevoel	nee	mentaal
Monogamie bij sommige soorten	ja	
Polygynie bij sommige soorten	ja	
Polyandrie bij sommige soorten	ja	
Extra-pair paringen (overspel)	ja	
Vriendschap (als relatie)	ja	
Vriendschap (als gevoel)	nee	mentaal
Liefde	twijfelachtig	te vaag
Adoptie	twijfelachtig	
Prosociaal gedrag	ja	
Gevoelens	nee	mentaal
Zelfmoord	nee	mentaal, historie, cultuur
Monogamie als voorgeschreven verplichting	nee	historie, culturele variant
Bruidschat, bruidsprijs	twijfelachtig	historie, culturele variant
Machtsverhoudingen (dominantie)	ja	
Groepsvorming	ja	
Eusocialiteit	twijfelachtig	lopende discussie
Inteeltvermijding	ja	
Nepotisme	ja	
Racisme	ja	
Regionaal chauvinisme	ja	
Groepscentrisme	ja	
Territorium	ja	
Bondgenootschappen	ja	
Vriendschappen (als gedrag)	ja	
Vriendschappen (als gevoel)	nee	mentaal
<i>In-group / out-group</i> tegenstellingen	ja	
Leersystemen	ja	
Vorming van natie-staten	misschien indirect	historie, culturele variant
Wetsregels	misschien indirect	historie, culturele variant
Geboortebeperving	nee	mentaal, intelligente keuze
Demografische transitie	nee	mentaal, historie
Dominante mensen krijgen meer kinderen	ja	
Intelligente mensen krijgen minder kinderen	onzeker	mentaal, intelligente keuze
Ontstaan van cultuur	ja	
Concrete culturen	nee	historie, culturele variant
Ontstaan van taal in het algemeen	ja	
Ontstaan van verschillende dialecten	indirect	erfelijke leersystemen
Ontstaan van verschillende talen	indirect	erfelijke leersystemen
Moreel gedrag	ja	
Morele regels	misschien indirect	historie, culturele variant
Religie	misschien indirect	historie, culturele variant

* Met 'mentaal' bedoel ik dat volgens interactionistische denkers mentale gebeurtenissen een oorzaak kunnen zijn van fysieke gebeurtenissen (hoofdstuk 10.3.).

Het vertalen van een tekst van Kant (1790)

In beide gangbare Engelse vertalingen van de *Kritik der Urteilskraft* van Kant (Kant en Meredith 1987, Kant en Gruyer 2000) wordt juist een kernbegrip foutief vertaald. 'Zweckmäßig' wordt vertaald door 'purposive'. Dat is te betreuren. 'Purposive' verwijst naar bewuste intenties, als mentaal proces. Maar Kant verwierp expliciet de interpretatie dat 'zweckmäßig' verwijst naar 'absichtlich-wirkende Ursachen' (Kant 1790, § 61; 'intentionally acting causes', Kant en Guyer 2000, p. 234).

In sectie 6.2. heb ik voorgesteld het Nederlandse woord 'doel' in het Engels te vertalen in 'goal' voor fysische processen en in 'purpose' voor mentale processen. Het Duitse 'zweckmäßig' wordt direct in het Nederlands vertaald door 'doelmatig', maar in het Engels is er geen voor de hand liggende term voor. Het woord 'functional' geeft meer problemen dan oplossingen (van Dongen en Van den Bercken 1981).

Nederlands	doelmatig	doelgericht
Duits	zweckmäßig	zielgerichtet
Engels	(working), (functional) (useful)	goal-oriented

Beperkte doelmatigheid

We moeten de doelmatigheid van onderdelen van levende organismen niet overdrijven, zoals Aristoteles en Kant dat in bovenstaande citaten doen. Darwinistische evolutie is lapwerk ('tinkering', Jacob 1977, Flicek 2013). Het uitgangsmateriaal is het genoom van een soort in een bepaalde tijd. Dat genoom is nooit perfect, maar goed genoeg om in de strijd met concurrenten niet geëlimineerd te zijn. In ieder genoom zitten allerlei allelen voor erfelijk recessieve ziektes. Als in een genoom een mutatie optreedt, is de kans het grootst dat die mutatie een verslechtering is. Immers, een toevallige verandering in een complex, redelijk afgesteld systeem is meestal een achteruitgang. Niet alle eigenschappen zijn ergens goed voor; die hebben dan geen functie. Denk hierbij aan de tepels van mannetjeszoogdieren. Sommige eigenschappen zijn een bijverschijnsel van iets anders: bij zoogdieren is het bloed rood, maar dit is een toevallig gevolg van de biochemische samenstelling. Sommige eigenschappen zijn overblijfsels van een evolutionair verleden, zoals de griffelbeentjes bij paarden. Sommige eigenschappen zijn niet optimaal: het lijkt 'evolutie-in-uitvoering', waarbij het de vraag is of die evolutie nog wordt voortgezet tot verdere verbetering. Denk daarbij aan de wervelkolom (ruggengraat) van mensen, die eigenlijk meer geschikt is voor een viervoeter dan voor een tweervoeter, en dat leidt bij de mens tot rugklachten. Empirische toetsing of en hoe een eigenschap bijdraagt tot overleven of voortplanten, ontbreekt vaak (zie hoofdstuk 3.1.).

5.3.3. Gerichte evolutie

Darwin had zich voorgenomen "nooit de woorden hoger of lager te gebruiken" (Mayr 1988, p. 251), maar daar was hij niet consequent in. Ook Darwin heeft bijgedragen tot de opvatting dat evolutie vooruitgang naar perfectie is: "En

omdat natuurlijke selectie uitsluitend werkt door en voor het goede van ieder wezen, zullen alle lichamelijke en mentale eigenschappen neigen tot vooruitgang naar perfectie." (Darwin 1859, p. 489, onveranderd tot en met de 6e druk, 1876). Volgens de theorie van Darwin is dit vooruitgang naar perfectie door natuurlijke selectie, en niet door een 'hogere principe'. Er zijn twee richtingen in doelgerichte evolutie.

1. **Orthogenese.** Verscheidene wetenschappers geloofden dat de evolutie erop gericht is om steeds 'hogere' organismen voort te brengen (Spencer 1857, Morgan 1877, Bergson 1907, Huxley 1942, Mayr 1988). Volgens mij is dezelfde selectiedruk gedurende veel generaties de enige natuurwetenschappelijke variant voor orthogenese. Dat geldt bijvoorbeeld voor het ontstaan van een steeds groter lichaam in de lijn van walvissen. Er is wel gesuggereerd dat evolutie in het algemeen tot meer intelligentie en een steeds groter brein leidt. Maar dat geldt slechts voor enkele lijnen en voor beperkte tijd (Van Dongen 1998).
2. **Pre-adaptatie, exaptatie of co-optatie** (Bock 1959, Gould en Vrba 1982). Soms betekent pre-adaptatie dat een eigenschap evolutionair voordelig was voor een biologisch doel, maar dat diezelfde eigenschap later toevallig voordelig was voor een ander biologisch doel. Men neemt bijvoorbeeld aan dat bij de voorouders van vogels in eerste instantie veren ontstaan zijn voor warmte-isolatie, maar later waren veren ook nuttig voor vliegen. Als men dit interpreteert als korte-termijn aanpassingen, dan valt dit binnen causale natuurwetenschap. Maar als men een 'vooruitziende wijsheid van de natuur' veronderstelt dat veren ontstaan zijn met het doel later vliegen mogelijk te maken, dan heeft men de natuurwetenschap verlaten.

In het spel om zoveel mogelijk toetsbare uitspraken te doen, en om zoveel mogelijk causale verklaringen te zoeken, verwerp ik voorlopig de mystieke varianten van gerichte evolutie.

5.4. Ethologie

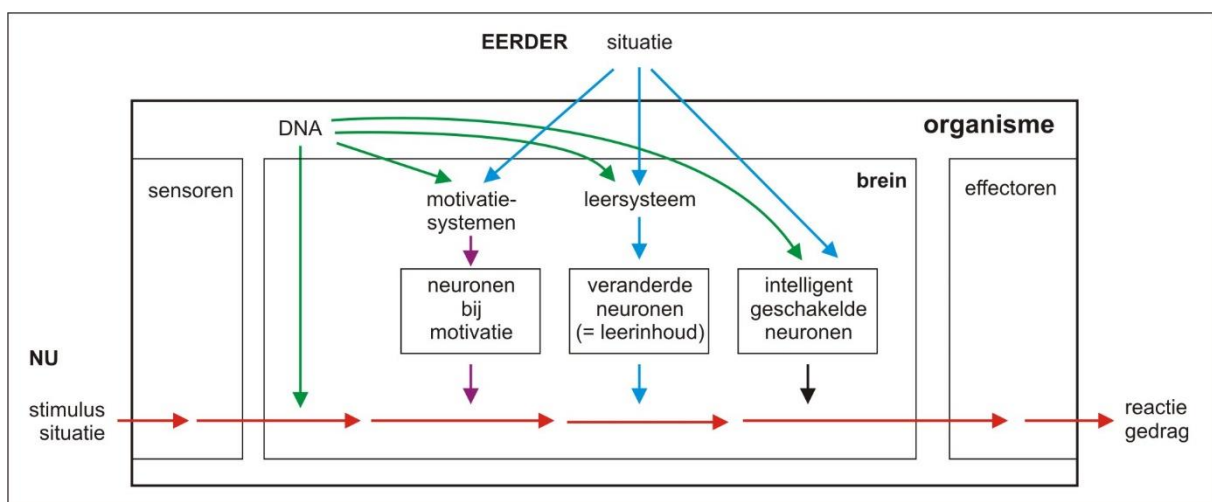
Ethologie is de natuurwetenschappelijke studie naar het gedrag van dieren inclusief de mens. *“Gedrag is een waarneembare handeling van een individu (of persoon). Het betreft een beweging in tijd en ruimte, een verandering van de ene houding naar de andere, een fysische toestandsverandering. Een gedragsitem kan door andere mensen waargenomen worden. [...] Voorbeelden zijn fysieke bewegingen en gesproken woorden; ze sluiten mentale processen uit (ideeën, attitudes, definitives, emoties, enz.)”* (Hage en Meeker 1988, p. 76). Dit is een gebruikelijke definitie van gedrag in de ethologie en experimentele psychologie. Nico Tinbergen (1951) benadrukt dat men zowel de oorzaken als de gevolgen van gedrag dient te bestuderen om het geheel te begrijpen.

5.4.1. De oorzaken van gedrag

Een causale analyse van gedrag is complex

In de ethologie is men geïnteresseerd in oorzaken van het normale gedrag van dieren en mensen in natuurlijke situaties. Dat onderzoekt men met natuurwetenschappelijke methoden. Causaal onderzoek van gedrag heeft extra complicaties.

- Externe en interne oorzaken (figuur 3). De actuele situatie is de korte-termijn externe oorzaak van gedrag.
- Verschillende zintuigsystemen. Afhankelijk van de diersoort nemen dieren andere aspecten van de omgeving waar dan mensen.
- Ritmes. Er zijn dagritmes en jaarritmes met invloed op gedrag. Deze dag- en jaarritmes komen deels van binnenuit, en ze worden bijgestuurd door omgevingsstimuli.
- Interne oorzaken. Het is moeilijker de interne oorzaken van gedrag te beoordelen. Redelijk stabiele interne oorzaken zijn erfelijk aangelegde schakelingen tussen neuronen, maar schakelingen tussen neuronen veranderen ook (rijping en leren). Veel interne oorzaken variëren. De motivatie voor bijvoorbeeld voedsel en drinken fluctueert. Mensen en dieren veranderen ‘vanzelf’: rijping. Ook eerdere ervaringen veranderen de interne toestand door leren.
- Door het gedrag verandert het organisme en verandert de omgeving. Als een dier eet, verandert zijn verzadigingstoestand en verdwijnt dat voedsel uit de omgeving. Dieren leren van hun eigen gedrag. Dieren veranderen actief hun omgeving bijvoorbeeld door het bouwen van nesten en holen.
- Natuurwetenschappelijk onderzoek veronderstelt dat men de experimenten kan herhalen. Maar als men een dier een stimulus presenteert, leert het dier daarvan. Bij de tweede en derde presentatie van dezelfde stimulus heeft men te maken met een veranderd dier.



Figuur 3. Schematische figuur van causale verbanden bij gedrag. Rood staat voor directe invloeden van de omgeving op gedrag; groen staat voor erfelijke invloeden; blauw staat voor leereffecten; paars voor effecten van motivatiesystemen; zwart staat voor invloeden van verstand. Variaties op dit schema met dezelfde kleurcodes komen op veel plaatsen voor in dit boek.

De 4 vragen van Tinbergen

Voor het causaal onderzoek van een bepaald gedrag (B) moeten volgens Tinbergen (1963) 4 vragen beantwoord worden.

1. Veroorzaking. Wat veroorzaakt gedrag B? Dit is de vraag naar de rol van de actuele omgeving of actuele stimuli.
2. Ontogenese. Hoe komt gedrag B in individuen tot stand in de loop van de ontwikkeling?
3. Overlevingswaarde (*survival value*). In de termen van Tinbergen: "Wat is de 'overlevingswaarde' van B?" Vaak gebruikt men de formulering 'Wat is de functie van B?' De functie is dat gevolg van B dat evolutionair voordelig was of is (van Dongen en Van den Bercken 1981). Dit noemt men ook de ver-verwijderde oorzaak. Omdat een ver-verwijderde oorzaak verwijst naar een evolutionaire oorzaak, gelden de opmerkingen die gemaakt zijn in sectie 5.3.
4. Evolutie. Hoe is B (in enig detail) ontstaan in de loop van de evolutie?

De eerste vraag is de vraag naar de nabije oorzaak van het effect. De 3^e vraag is de vraag naar de evolutionaire (ver-verwijderde) oorzaak van het ontstaan van het onderliggende systeem.

Onderzoekers begrijpen in grote lijnen de oorzaken van gedrag, maar ze weten ook dat gedrag complex is. Ze kunnen gedrag niet in detail voorspellen, en soms wijken mensen en dieren af van die grote lijnen.

Stimuli als oorzaken van gedrag

Incidenteel hebben we met simpele stimulus-gedrag koppelingen te maken. Tinbergen (1951) heeft kartonnen modellen gemaakt van de kop met snavel van een zilvermeeuw (*Larus argentatus*, *herring gull*) met verschillende kleuren en verschillende patronen; hij onderzocht op welke stimuli jonge zilvermeeuwkuijntjes zich het sterkst richtten. Het sterkst bleken te werken: een rode stip, een rode snavel, of een stip met het meest contrast. Verder hebben Lorenz en Tinbergen onderzocht welke vorm van een 'overvliegende vogel' het sterkst tot vluchtreacties van vogels leidde, maar het totaalbeeld bleek complexer (hoofdstuk 3.2.). Inmiddels is de effectiviteit van veel stimuli bij allerlei soorten onderzocht. Als een bepaalde stimulus bijna altijd door een welomschreven gedrag gevolgd wordt, spreekt men van een sleutelstimulus. Sommige kunstmatige stimuli (die niet in de natuur voorkomen) werken sterker dan natuurlijke stimuli; dat noemt men 'supranormale stimuli'.

Erfelijkheid als oorzaak van gedrag

"Volgens Darwin doen dieren van alles wat bijgedragen heeft tot het voortplantingssucces van hun voorouders, ongeacht hoe dit bijdraagt tot hun eigen voortplantingssucces. De meeste individuele organismen planten zich niet voort, hoewel ze alle eigenschappen hebben die bestaan als het gevolg van differentiële voortplanting van hun voorouders. Dus hoewel een organisme in het proces van succesvolle voortplanting kan zijn, dan beïnvloedt dat de eigenschappen van zijn afstammelingen en niet van hemzelf." (Ghiselin 2002, p. 488).

Traditioneel verrichten ethologen vergelijkende ethologie: ze vergelijken het gedrag van verschillende soorten. Een mooi voorbeeld is het vergelijkend gedragsonderzoek aan 17 eendesoorten (Lorenz 1941). Daarmee bestudeerde hij erfelijke soortverschillen. Er zijn enkele voorbeelden van de combinatie van ethologie en erfelijkheidsonderzoek. Men heeft met succes dieren gekweekt die meer of minder agressief waren, of meer of minder terughoudend of moedig waren. Ook komen er in de natuur incidenteel soortkruisingen voor: de nakomelingen uit dergelijk soortkruisingen vertonen nieuw gedrag dat niet bij een van de ouders voorkwam. Het vergelijken van het gedrag van mensen met dat van andere dieren, vooral chimpansees en bonobo's, is een hoofdthema van dit boek.

Leren en intelligentie

Gedrag wordt ook beïnvloed door eerdere ervaringen: dat noemt men leren. Door leren kunnen gebeurtenissen na maanden of jaren nog invloed op gedrag hebben. Ethologen bestuderen vooral de gevolgen van leren in natuurlijke situaties, zoals inprenten, het leren herkennen van groepsgenoten en hun gedrag, maar ook het identificeren van goed voedsel of natuurlijke vijanden (hoofdstuk 3.2.). Mensen en dieren gebruiken soms oplossingen voor nieuwe problemen, of nieuwe oplossingen voor oude problemen. Dat noemt men intelligentie. In hoofdstuk 3.5. toon ik voorbeelden van allerlei intelligent gedrag van dieren. De claim dat alleen de mens beschikt over verstand, is niet houdbaar.

5.4.2. Doelmatige processen in de levende natuur

De eerste doelmatigheid in de natuur

Doelmatige organen en processen ontstonden door natuurlijke selectie; niet doordat natuurlijke selectie gericht was op doelmatige eigen-

schappen, maar doordat natuurlijke selectie niet-doelmatige processen elimineerde. Dat geldt voor alle organismen, inclusief planten, bacteriën en virussen. De eerste organismen namen voedsel op doordat voedselmoleculen koppelden aan receptoren aan hun buitenkant: voedselopname was aanvankelijk biochemie. Organismen die dankzij hun receptoren meer en beter voedsel opnamen, kregen de meeste nakomelingen en wonnen in de concurrentiestrijd. In de evolutie van het leven ontstond hier voor het eerst doelmatigheid en daardoor de eerste waarde (hoofdstuk 5.3.).

5.4.3. Doelgerichte processen in de levende natuur

Het eerste doelgerichte gedrag in de natuur

In de evolutie kon pas doelgericht gedrag¹⁷ ontstaan, nadat organismen zich konden verplaatsen op basis van stimuli. Verscheidene bacteriën of eencellige organismen bewegen zich gericht op stimuli bijvoorbeeld in een concentratiegradiënt van stoffen, op licht, of op de zwaartekracht (Pfeffer 1888, Mesibov e.a. 1973). Dat noemt men taxis. Het is aangetoond dat taxis erfelijk is (Qi en Adler 1989, Croxen e.a. 2006). Dit was het eerste begin van doelgericht gedrag. Dat zijn voorbeelden van gedrag gericht op een doel op basis van fysisch/chemische stimuli en de interne eigenschappen van het organisme, dus doelgericht gedrag op basis van causaliteit. Taxis is reflexmatig doelgericht gedrag. Het moleculair mechanisme van taxis moet nog ontrafeld worden. Als de waarschijnlijke gevolgen van erfelijk gedrag gunstig waren voor de actor, bleef dat gedrag in de evolutie behouden. Het komt vaak voor dat een dier een gedrag uitvoert met een voorspelbaar evolutionair gunstig gevolg voor het dier. Later in de evolutie van gedrag ontstaan er echte terugkoppelsystemen, waarbij een organisme een hypothetisch doel heeft, en een zintuigstelsel registreert in hoeverre de actuele toestand overeenkomt met dat hypothetisch doel.

Gedragcriteria voor doelgericht gedrag

We kunnen alleen dan empirisch toetsen of gedrag doelgericht is, als er eerst een of ander 'doel' gespecificeerd is. Soms is in het wild of in het laboratorium de situatie zodanig dat het 'doel' eenduidig is. Bij voedsel of waterdeprivatie is het bereiken van voedsel of water het doel van dier of mens. Maar in andere situaties moet een of ander doel gespecificeerd zijn. Let wel: ik gebruik hier het begrip 'doel' als een

fysisch begrip: de toestand van een concreet ding op een toekomstig tijdstip. Voorbeelden van dergelijke 'doelen' zijn (1) dat het individu op een bepaalde tijd op een bepaalde locatie is, (2) dat het individu voedsel bemachtigt, (3) dat het individu een nest gebouwd heeft, en (4) dat het dier een concurrent verslaat. In iedere situatie zijn er gedragingen die het bereiken van het biologische doel meer waarschijnlijk maken, en andere gedragingen die het bereiken van het biologische doel minder waarschijnlijk maken. Als een organisme redelijk consistent handelingen uitvoert die het bereiken van het biologische doel waarschijnlijker maken, noemen we dat gedrag 'doelgericht', ongeacht of het doel uiteindelijk bereikt wordt. Doelgericht gedrag zien we bij allerlei dieren: bij het zoeken en gebruiken van voedsel en water, bij het zoeken van een seksuele partner en seksueel gedrag, en bij de fases van nestbouw en hofmakerij.

Doelgericht gedrag in het laboratorium

Als men het leren van associaties door ratten of duiven wil onderzoeken, geeft men de dieren enige tijd geen eten of drinken, zet hen daarna in een Skinner-box of doolhof, en confronteert hen met keuze-opdrachten. Als het dier de juiste keuze maakt, krijgt hij eten of drinken. Het uitgangspunt van de onderzoekers is dat het een biologisch doel van het dier is voedsel of water te bemachtigen, en dat het dier daartoe doelgericht gedrag vertoont. Toen Tolman (1932) de ruimtelijke intelligentie van ratten wilde onderzoeken, plaatste hij de dieren gedurende enige tijd in een complexe doolhof; later plaatste hij voedsel in de doolhof op één plaats, en liet het dier erin totdat hij het voedsel gegeten had. Toen Tolman later de rat in de doolhof plaatste, ging het dier efficiënt naar de voedselplaats, zo nodig via omwegen als er barrières geplaatst waren. Het uitgangspunt van Tolman was dat het een biologisch doel van het dier is voedsel te bemachtigen, en dat het dier daartoe spatiële intelligentie en doelgericht gedrag gebruikte. Toen Köhler (1921) de technische intelligentie van chimpansees wilde onderzoeken, plaatste hij bananen op moeilijk bereikbare plaatsen, en hij plaatste stokken en dozen in de kooi. Sommige chimpansees slaagden erin de banaan te bemachtigen. Het uitgangspunt van Köhler was dat het een biologisch doel van de chimpansee is een banaan te bemachtigen, en dat het dier daartoe technische intelligentie en doelgericht gedrag gebruikte.

¹⁷ De samenstelling 'doelgericht gedrag' betekent steeds 'goal-oriented gedrag'.

Gedragcriteria voor doelgericht gedrag

We hebben hier een onderscheid gemaakt tussen begrippen voor 'doel': het fysieke 'goal' en het mentale 'purpose'. We hebben gezien dat apparaten met terugkoppeling doelgerichte (goal-oriented) output kunnen genereren. Naar analogie daarvan ga ik ervan uit dat dieren goal-oriented gedrag kunnen vertonen uitsluitend op basis van causale processen. Bij dat goal-oriented gedrag moet er een goal gespecificeerd zijn. Kunnen we uitsluitend op basis van gedrag besluiten of gedrag van dieren goal-oriented is?

- **Zwakke criteria** voor goal-oriented gedrag van dieren. Hiervoor gaan we uit van een evolutionair voordelige goal, dus het bijdragen tot verbreiding van de eigen allelen. Grof gezegd: tot overleven of voortplanten. Als flexibel gedrag van dieren gericht blijft op dat evolutionair voordelig goal, noemen we dit goal-oriented* gedrag (met een sterretje).
- **Sterke criteria** voor goal-oriented gedrag van dieren. Hiervoor hebben we te maken met een experimentator die hetzij een goal voor het dier bepaalt (zoals in leerexperimenten), of die de weg naar het goal manipuleert. Het goal moet vooraf gespecificeerd zijn. Als in deze experimenten het gedrag van het dier op het goal gericht blijft, noemen we dit goal-oriented gedrag (zonder sterretje).

Goal-oriented (met of zonder *) gedrag kan instinctief zijn, aangeleerd of intelligent.

Deze gedragcriteria kunnen ook gebruikt worden voor het gedrag van mensen, maar daarnaast kunnen we mensen ook vragen "waarom ze iets doen". Daar komt wel het probleem bij dat goals niet toegankelijk zijn voor het bewustzijn (en taal) van mensen, maar purposes wel.

Taylor e.a. (2010) hadden wipspanvelkraaien getraind om allerlei gereedschappen te gebruiken in verschillende opstellingen om voedsel te bemachtigen. Vervolgens maakten ze een reeks van 3 opdrachten, waarbij de kraaien bij de eerste 2 opdrachten het gereedschap voor de volgende opdracht konden bemachtigen, en bij de 3^e opdracht konden ze voedsel bemachtigen. Het uitgangspunt van Taylor e.a. was dat het een biologisch doel van de wipspanvelkraai is voedsel te bemachtigen, en dat het dier daartoe technische intelligentie en doelgericht gedrag gebruikt.

Doelgericht gedrag in de natuur

In het laboratorium kunnen onderzoekers de doelen van dieren manipuleren. Bij gedrag in de natuur gaan we uit van de hypothese dat het gedrag gericht is op biologische doelen die afgeleid zijn van overleven en voortplanten van het individu en zijn verwanten.

In het begin van het broedseizoen gaan vogels nesten bouwen. Er is grote variatie tussen soorten in het type nest dat ze bouwen; hierin zitten instinctieve, rijpings- en leeraspecten (hoofdstuk 3.3.). Wanneer en waardoor stoppen vogels met verder bouwen aan hun nest? Het lijkt dat er een vrij vaag, soorteigen, erfelijk beeld is wat een 'goed nest' is. Bij sommige weervogels blijft het mannetje doorbouwen aan het nest, totdat het nest door een vrouwtje geaccepteerd wordt. Maar dat verschuift het probleem: aan de hand van welke criteria (stimuli) keurt een vrouwtje het nest goed?

In verscheidene diergroepen migreren individuen over grote afstanden, afhankelijk van de seizoenen, en dus van het beschikbare voedsel. Migraties komen voor bij zoogdieren

(gnoes), vlinders, vissen en vogels. Bij sommige vogelsoorten vertrekken de jonge vogels eerder dan de oudere, ervaren vogels. De trekrichting is erfelijk geprogrammeerd. Aan de hand van welke stimuli blijven de vogels in een bepaald gebied, en trekken ze niet verder?

Als een gevaarlijke binnendringer het nest van een dwergplevier nadert, reageert deze met een 'gebroken-vleugel show' (het *broken-wing display*, Ristau 1991, hoofdstuk 3.5.). Als de indringer niet meteen volgt, reageert de plevier met een intensere en luidere show. De plevier gedraagt zich als een terugkoppelsysteem, waarvan het doel is de indringer bij eieren of jongen weg te lokken.

Bij chimpansees hangt de sociale structuur af van de relaties tussen de individuen. Het is enkele malen waargenomen dat twee mannetjes tijdens langere tijd een betere onderlinge relatie ontwikkelden (een coalitie); men neemt aan dat ze daardoor in de sociale rangorde konden stijgen (de Waal 1982, Goodall 1986). We kunnen alleen speculeren over de 'doelen' van die chimpansees, maar ik denk dat sociale carrières bij chimpansees ongeveer zo ingewikkeld zijn als bij mensen. Chimpansees gebruiken sociale intelligentie doelgericht om hogerop te komen in de hiërarchie.

Er zijn inmiddels veel voorbeelden dat dieren flexibel doelgericht gedrag vertonen, en dat ze oplossingen voor nieuwe problemen uitvoeren (hoofdstuk 3.5.). Juist zoals bij mensen noemen we dit bij dieren 'intelligent gedrag'. In dit opzicht zijn er grote verschillen tussen diersoorten, waarbij sommige groepen opvallend intelligent zijn, zoals primaten, olifanten, walvissen, kraaien, sommige zangvogels, papagaien en octopussen. Binnen soorten van

deze groepen is er variatie tussen 'slimme' en 'domme' individuen.

Doelgericht gedrag door causale processen?

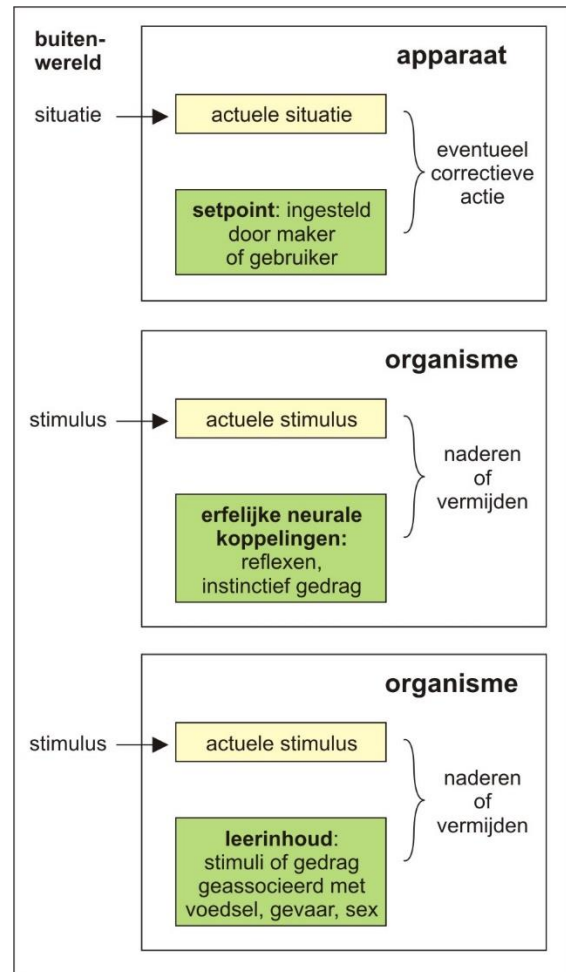
Kan doelgericht gedrag ontstaan door causale processen? Kan een toekomstig voorval een oorzaak zijn van huidige gedrag? Dat kan niet: het is strijdig met fundamentele natuurwetten. Tinbergen (1951) en Skinner (1953) hebben geworsteld met dit probleem.

Tinbergen. *"Het onderzoek naar doelgerichtheid, het onderzoek naar subjectieve verschijnselen, en het onderzoek naar veroorzaking zijn drie manieren om over gedrag te denken, ieder daarvan is consistent in het gebruik van zijn eigen methoden. Maar verwarring is het gevolg als zij op andermans terrein treden."* (Tinbergen 1951, p. 5). Ik onderscheid liever twee hoofdcategorieën: mentale (subjectieve) processen en fysische processen waarbij de laatste in de ethologie bestaan uit de oorzaken en de gevolgen van gedrag.

Skinner. *"Het is onjuist om te zeggen dat operante reinforcement "de responsie die eraan vooraf ging versterkte". De responsie is al opgetreden en kan niet meer veranderd worden. Wat er wel veranderd is, is de kans dat de responsie in dezelfde klasse optreedt in de toekomst. [...] Dit is dus geen schending van het fundamenteel principe van de wetenschap dat 'doeloorzaken' uitgesloten zijn. Dit principe zou wel geschonden worden als men beweert dat gedrag onder de controle is van een 'incentive' of een 'doel' dat het organisme nog niet bereikt heeft, of een 'purpose' dat nog niet vervuld is. Uitspraken met woorden zoals 'incentive' of 'purpose' kunnen meestal gereduceerd worden tot uitspraken over operant conditioneren, en er is slechts een kleine verandering vereist om dit binnen het raamwerk van de natuurwetenschap te brengen. In plaats van te zeggen dat iemand gedrag vertoont vanwege de consequenties die na zijn gedrag zullen komen, zeggen we simpel dat hij gedrag vertoont vanwege de consequenties die in het verleden na dat gedrag opgetreden zijn."* (Skinner 1953, p. 87).

Doelgerichte apparaten en doelgericht gedrag

Mensen hebben complexe apparaten gemaakt met doelgerichte output (sectie 4.3.). Deze apparaten werken doelgericht op basis van een causaal mechanisme. De feitelijke toestand wordt vergeleken met een setpoint dat door de maker of gebruiker van het apparaat ingesteld is, en op grond van de uitkomst van die vergelijking kan corrigerende werking volgen (figuur 4).



Figuur 4. Het algemene principe waarmee apparaten doelgerichte output genereren, en dieren doelgericht gedrag, op basis van causale processen.

Natuurlijke selectie kan complexe zenuwstelsels maken, die complex, doelgericht gedrag genereren op basis van causale processen. Er zijn twee varianten.

1. Doelgericht gedrag op basis van erfelijke neurale verbindingen (figuur 4). Denk hierbij aan het naderen van voedsel, het vermijden van afronden (hoofdstuk 3.3.).
2. Doelgericht gedrag op basis van leren. Mensen en dieren hebben geleerd wat de biologisch relevante gevolgen van stimuli en gedragingen zijn. Op grond van die leerinhouden kunnen ze stimuli naderen of vermijden (wat doelgericht gedrag is, figuur 4).

In analogie met doelgericht gedrag van apparaten, claim ik dat er doelgericht gedrag van dieren of mensen is, op basis van fysisch-/chemische principes. Al is zo'n analogie-redering voorlopig natuurlijk onbevredigend. Gedetailleerd ethologisch, fysiologisch en neuro-anatomisch onderzoek naar doelgericht

gedrag is nodig om de onderliggende causale processen te ontrafelen. Pas als dit gelukt is, kunnen we zeggen dat we aangetoond hebben dat dit doelgerichte gedrag tot stand komt door causale processen – zoals bij doelgerichte apparaten.

5.5. Natuurwetenschappelijke geneeskunde

De epidemioloog Bradford Hill (1965) heeft criteria geformuleerd om te concluderen dat er een causaal verband is tussen omgevingsfactoren en het ontstaan van een ziekte (tabel 2). Tegenwoordig propageert men *evidence-based medicine*: medische opvattingen en handelingen dienen door empirisch onderzoek onderbouwd te zijn (Moher e.a. 2001, von Elm e.a. 2007).

5.5.1. Het ontstaan van aandoeningen

Veroorzaakt een bacterie deze ziekte?

Rond 1846 stierven in Wenen 4 maal meer kraamvrouwen aan kraamvrouwenkoorts in de afdeling waar medisch studenten werden opgeleid, dan in de afdeling waar vroedvrouwen werden opgeleid. Hoe kon dat verklaard worden? Ignaz Semmelweis (1861) sloot overbezetting, dieet, ventilatie, vuil linnengoed en wierook als mogelijke oorzaken uit. Hij vermoedde dat artsen en studenten bij het onderzoek een 'vergift' via hun handen overdroegen naar de patiënten. Na rigoureuze wassen van de handen van artsen en studenten met bleekwater daalde het optreden van kraamvrouwenkoorts spectaculair: een interventie ondersteunde de hypothese. De oorzaak was dus dat artsen en studenten een 'vergift' overdroegen dat door bleekwater verwijderd of

vernietigd werd, maar er was nog geen causale verklaring. De causale verklaring werd 1884 door Robert Koch geleverd: de ziekte werd overgedragen door levende ziektekiemen. Koch heeft toen een aantal criteria geformuleerd om uit te maken of een bepaalde hypothetische ziektekiem de oorzaak van een bepaalde ziekte is (tabel 2). Dit zijn empirische criteria om vast te stellen dat de gespecificeerde ziektekiem inderdaad een oorzaak van de ziekte is. De ontdekkingen van Koch hebben ertoe bijgedragen dat in de geneeskunde bacteriën, virussen, ééncelligen en prionen nu als normale oorzaak van ziekte zijn erkend.

Meer moderne vragen zijn:

- veroorzaakt het HIV-virus AIDS? Ja.
- veroorzaken prionen (bepaalde eiwitten) besmettelijke ziektes? Ja.
- veroorzaakt het Zika-virus microcefalie? Ja.

Blindheid bij premature baby's

Het was al lang bekend dat zuurstoftekort tijdens en na de geboorte bij baby's tot ernstige neurologische afwijkingen kan leiden. Daarom was het voor 1950 standaard praktijk om premature kinderen 1 – 2 maanden extra zuurstof toe te dienen (40 - 70% relatieve zuurstofspanning in plaats van de normale 20%). Door toediening van zuurstof werden blauwe premature kinderen zienderogen roze: ouders, artsen en verpleegkundigen waren blij. In die tijd waren eventuele nadelige gevolgen van hogere zuurstofspanningen onbekend. Wel was bekend dat bij premature kinderen vaak blindheid voorkwam door retrolentale fibroplasie (RLF, in 1949 26%). Men schreef RLF toen toe aan te veel licht, tekort aan vitamine A of E, te veel elektrolyten in koemelk, of beschouwde het als een aangeboren afwijking.

Tabel 2. De voorwaarden waaraan volgens verschillende auteurs voldaan moet zijn, voordat men een verband 'causaal' kan noemen.

Algemeen	Koch 1884 (ziekttekiemen)	Hill 1965 (epidemiologie)	Kenny 1979 (<i>path analysis</i>)
correlatie	<ul style="list-style-type: none"> • aanwezig in patiënt • isolatie en kweek 	<ul style="list-style-type: none"> • kracht van de associatie, • consistent • specifiek • biologische gradiënt • coherent 	<ul style="list-style-type: none"> • correlatie (<i>relationship</i>) • geen andere verklaringen (<i>non-spuriousness</i>)
temporeel	<ul style="list-style-type: none"> • na de besmetting treedt de ziekte op. 	<ul style="list-style-type: none"> • temporeel 	<ul style="list-style-type: none"> • temporeel (<i>time precedence</i>)
'voortbrengen' (productie)	<ul style="list-style-type: none"> • besmetting van proefdieren • isolatie van ziektekiem na experimentele besmetting 	<ul style="list-style-type: none"> • experimenteel bevestigd • analogie 	<ul style="list-style-type: none"> • aanwezigheid van "<i>an active, almost vitalistic, process</i>"
volgens natuurwet		<ul style="list-style-type: none"> • biologisch plausibel 	

Bij sommige premature kinderen in Australië werd geen extra zuurstof toegediend omdat de ouders te arm waren; bij deze kinderen kwam blindheid 3 maal minder vaak voor dan bij de kinderen die wel extra zuurstof hadden gekregen (Campbell 1951). Campbell vermoedde dat toediening van extra zuurstof RLF veroorzaakte. Goed onderzoek was noodzakelijk om deze hypothese te toetsen, maar aanvankelijk vond men het onethisch om geen extra zuurstof aan premature kinderen toe te dienen. Toen in 1951 in Washington een gecontroleerd onderzoek startte naar het effect van zuurstof, mocht dit alleen doorgaan als de controlegroep toch minstens enige tijd extra zuurstof kreeg, terwijl de "normale" groep gedurende 4-7 weken 65-70% zuurstof kreeg. In de zuurstof-groep had 20% ernstige RLF, en in de "onethische" (nauwelijks zuurstof-verrijkte) groep 0% (Locke 1954). Inmiddels wordt het als feit beschouwd dat extra zuurstof bij premature kinderen RLF en blindheid veroorzaakt. Ik vermeld dit voorbeeld hier, om (1) te tonen dat geaccepteerde opvattingen in de universitaire geneeskunde soms fout zijn, en (2) te illustreren dat goed empirisch onderzoek het enige wapen tegen vooroordeel is.

Wiegendood

Een belangrijke triomf van wetenschappelijk medisch onderzoek is het epidemiologisch onderzoek naar de oorzaak van wiegendood (Dwyer 1996), al is deze triomf grotendeels onopgemerkt gebleven. Wiegendood kwam indertijd in Nederland bij 0,7 op de 1000 baby's voor. Door observatie-onderzoek is vastgesteld welke factoren geassocieerd waren met wiegendood. De belangrijkste factor leek dat baby's op hun buik te slapen werden gelegd (de Jonge 1987). Vanaf de tijd dat veel ouders hun baby's op de rug lieten slapen, daalde de frequentie van wiegendood in allerlei landen met 50% - 90% (Moon e.a. 2007). Dit is nooit goed vergeleken onderzocht en het kan ook nooit goed onderzocht worden, omdat de resultaten van de eerste interventie zo overtuigend waren dat een goed onderzoek onethisch is. Hoewel goed interventie-onderzoek ontbreekt, is iedereen nu overtuigd: buikslapen is de belangrijkste oorzaak van wiegendood. Uit observatie-onderzoek werden ook andere hypothetische oorzaken voor wiegendood gesuggereerd, zoals dekbedjes, roken tijdens en na de zwangerschap, niet-gebruiken van een fopspeen (Dwyer 1996, Moon e.a. 2007). Waarschijnlijk zullen we nooit weten of deze zaken echt invloed hebben op de kans op wiegendood, omdat dit met de huidige vooroordelen niet goed onderzocht mag worden. Slapen op de buik vergroot de kans op (= veroorzaakt) wie-

gendood, hoewel wiegendood bij minder dan 1% van de buikslapertjes voorkwam¹⁸. Niemand stelt de vraag naar noodzakelijke en voldoende voorwaarden voor wiegendood.

5.5.2. De werking van geneesmiddelen

Werkt een bepaald geneesmiddel?

Vergelijkend gecontroleerd onderzoek is bij uitstek de methode om vast te stellen of een geneesmiddel gunstig werkt (*Streptomycin in Tuberculosis Trial Committee 1948*, Meldrum 2000). Patiënten met een bepaalde ziekte vormen een complexe, heterogene groep mensen; hieruit worden twee groepen gemaakt waarin slechts één parameter verschillend is: het al dan niet ontvangen van een stof die misschien gunstig werkt.

Onderzoek moet nu aan de volgende standaarden voldoen (Rubin 1978):

- randomisatie van de onderzoeksgroepen;
- controle of de randomisatie geleid heeft tot 2 groepen die voldoende gelijk zijn,
- dubbele blindering: noch de onderzoeker, noch de patiënten weten wie placebo krijgt en wie de onderzochte stof, tot na de analyse van alle resultaten
- strikte eisen dat de juiste, volledige gegevens verzameld worden (*good clinical practice*, GCP),
- vooraf keuze voor één belangrijke parameter: de primaire parameter
- waarborg tegen fraude: volgens GCP mogen overheidsautoriteiten alles controleren, tot en met het patiëntendossier bij de huisarts,
- vooraf aanmelden van alle onderzoek, zodat alle resultaten bekend worden, inclusief uitkomsten die nadelig zijn voor het bedrijf dat het onderzoek georganiseerd en betaald heeft,
- vergelijking van het gevolg van de onderzochte stof met het gevolg van een andere stof (placebo of van een aangetoond werkend geneesmiddel),
- replicatie: verschillende onderzoeksgroepen moeten gelijkaardige resultaten gevonden hebben.

Als volgens deze criteria geneesmiddel A bij aandoening B meer effectief is dan placebo, moeten we concluderen dat geneesmiddel A de klachten bij ziekte B vermindert (d.i. een causale uitspraak). Vaak betreft het waarschijnlijkheidsuitspraken: geneesmiddel A vermindert de klachten voldoende bij x% van de patiënten met ziekte B. De effecten van de meeste geneesmiddelen zijn probabilistisch. Er

¹⁸ Dit is de belangrijke oorzaak/gevolg-connectie met $p(E|C') < 0,01$ uit sectie 3.3.

is vaak veel onverklaarde variatie. Niet alle patiënten reageren afdoende, terwijl het niet bij voorbaat duidelijk is wie goed reageert. Van enkele geneesmiddelen ligt de werking (bijna) vast. Bijvoorbeeld: de anticonceptiepil werkt bijna 100% betrouwbaar. In het 'harde' geneesmiddelenonderzoek is vaak het 'zachte' subjectieve oordeel van de patiënt over de behandeling de primaire parameter. Bedenk verder dat in veel gevallen een causaal verband geconstateerd wordt, zonder dat er een causale verklaring is; d.i. het werkingsmechanisme was onbekend. Lange tijd wist men dat Aspirine® werkt als pijnstiller, maar niet hoe. Causaliteit was toen aangetoond, maar er was geen causale verklaring, omdat het werkingsmechanisme toen onbekend was. Bij een aantal geneesmiddelen is er een zwakker soort causale verklaring. We weten nu bijvoorbeeld dat stimuleren van opiaat μ_1 -receptoren in de hersenen pijn vermindert. Dit heeft niet de status van een natuurwet, maar het is wel een wetmatig principe in de hersenwetenschap en geneeskunde.

Werken homeopathische middelen?

Volgens de homeopathie zijn verdunde ('gepotentieerde') oplossingen van een substantie effectief in de behandeling van aandoeningen, ook als deze minder dan één molecule van de oorspronkelijke substantie bevatten. Als homeopathie inderdaad een aangetoond werkend principe zou zijn, is dat een bijl aan de wortel van het idee dat natuurwetenschap algemeen geldig is. Dan zou dit een voorbeeld zijn waarbij aangetoond is dat het causaliteitsbeginsel niet geldt¹⁹. De essentiële vraag is: is er goed onderzoek dat aantoont dat een homeopathische middel bij patiënten werkt? Er zijn wel veel publicaties over de effectiviteit van homeopathie, maar wat zijn deze waard? Want als je de bijl aan de wortel van de natuurwetenschap wilt zetten, moet je wel met heel goede resultaten komen. Als je de resultaten van veel onderzoeken wilt evalueren, is meta-analyse het instrument bij uitstek. Een meta-analyse is een analyse van de gepubliceerde resultaten, maar het probleem is dat positieve resultaten ('dat homeopathie werkt') eerder voor publicatie geaccepteerd worden dan negatieve resultaten; dat is *publication bias*.

1. Hoeveel onderzoekers hebben placebo-gecontroleerd onderzoek gestart naar de effectiviteit van homeopathische middelen,

en hoeveel van hen hebben gegevens verkregen van voldoende patiënten met voldoende kwaliteit.

2. Als daar aan voldaan was, was het homeopathisch middel dan effectiever dan placebo? Of omgekeerd? Hoe groot was het verschil?
3. Had de onderzoeker de wens en de capaciteiten om deze resultaten in een wetenschappelijk manuscript te verwerken? Vooral bij negatieve resultaten of bij het ontbreken van een statistisch significant verschil zijn veel onderzoekers niet geneigd om een manuscript ter publicatie te maken.
4. Als er een manuscript ter publicatie werd aangeboden, werd dit manuscript geaccepteerd door een *peer-reviewed* tijdschrift? Vooral bij het ontbreken van een statistisch significant verschil zijn tijdschriften niet geneigd een manuscript te accepteren.

Bij meta-analyses van homeopathisch onderzoek wordt opgemerkt dat rekening gehouden is met *publication bias*. Maar dat is onmogelijk, omdat de onderzoeker van de meta-analyse niet kan weten wat hij niet kan weten: de onderzoeker kan niet weten of alle onderzoeken vermeld zijn. De enige manier om *publication bias* te vermijden is vanaf een bepaald tijdstip alle onderzoeken te voren centraal aan te melden (Kleijnen e.a. 1992). "De conclusie is dat het beste huidige klinische bewijsmateriaal voor homeopathie niet aanbevelingen rechtvaardigt voor het gebruik ervan in de klinische praktijk." (Ernst 2002).

Bijwerkingen? Causale attributie

Geneesmiddelen hebben ook bijwerkingen (= onbedoelde, ongewenste effecten). Een probleem is wel dat patiënten alleen klachten ervaren en deze al dan niet als bijwerking interpreteren. Ik ben betrokken geweest bij de publicaties van de resultaten van een placebo-gecontroleerd onderzoek van een anti-diarremiddel, loperamide-oxide (Dreverman e.a. 1995). In dit onderzoek meldden de patiënten met placebo méér bijwerkingen (buikkrampen) dan de patiënten met het actieve geneesmiddel. Wat is hier aan de hand? Buikkrampen vormen een normaal onderdeel van de aandoening die diarree veroorzaakte. Loperamide-oxide bestreed de diarree en de buikkrampen. De placebo-patiënten hadden meer buikkrampen, die zij als bijwerking interpreteerden (een causale mis-attributie). Overigens is dit wel een uitzondering: bijna altijd rapporteren patiënten méér bijwerkingen bij behandeling met de onderzochte stof dan met placebo.

¹⁹ Er wordt wel beweerd dat homeopathie niet kan werken omdat het strijdig is met de natuurwetenschap, maar dat is redeneren vanuit een bepaalde theorie. Dit is oneigenlijke, conservatieve kritiek op de homeopathie.

6. Psychologie

Hoofdstromingen in de psychologie:

Er zijn twee hoofdstromingen in de psychologie.

In de traditie van **William James** (1890) is psychologie de wetenschap van het mentale leven. *“Psychologie is de Wetenschap van het mentale leven, zowel van zijn verschijnselen als van de voorwaarden. De verschijnselen zijn dingen zoals gevoelens, verlangens, cognitie, redeneringen, beslissingen en dergelijke.”* (James 1890, chapter 1). In de psychologie volgens James zijn de volgende causale uitspraken normaal:

- licht, geluid of aanraking veroorzaakt een beleving;
- een wilsdaad veroorzaakt een beweging of gedrag;
- *“Positief affect bevordert fysieke gezondheid”* (Pressman en Cohen 2005).
- *“... mentale processen zijn een belangrijk onderzoeksobject in de sociale wetenschappen omdat zij de meeste handelingen van de mens mediëren.”* (Marini en Singer 1988, p. 401).

Deze zinnen verwoorden dat fysieke prikkels mentale gebeurtenissen veroorzaken en dat mentale gebeurtenissen fysieke processen (gedrag) veroorzaken. In de traditie van James zijn de relevante processen: belevingen, redenen en intenties e.d. Dit alles zijn mentale gebeurtenissen. Causale analyses in de psychologie in de traditie van James zijn complexer doordat fundamentele filosofische vragen over het verband tussen hersenen en bewustzijn niet opgelost zijn (en volgens mij onoplosbaar zijn, hoofdstuk 9.; het best haalbare is wat meer duidelijkheid). Naar mijn mening kunnen mentale processen niet herleid (gereduceerd) worden tot fysische processen. In de psychologie volgens James is introspectie het uitgangspunt. Het voordeel van dit standpunt is dat het uitgaat van belevingen, en dat is **het enige** dat voor mensen belangrijk is ²⁰, want iets anders is niet toegankelijk voor ons mensen. Het nadeel van dit standpunt is dat belevingen van andere mensen voor ons niet toegankelijk zijn (alleen hun gedrag en hun woorden zijn voor ons toegankelijk), en dat we alleen maar vrijblijvend kunnen speculeren over de belevingen van andere dieren.

In de traditie van **John Watson** (1913, 1924), **Karl Lashley** (1923) en **Burrhus Skinner** (1938, 1953) is psychologie de wetenschap van gedrag. Hier zijn de waarneembare omge-

ving en het waarneembare gedrag het uitgangspunt. Watson wilde van de psychologie een exacte, empirische wetenschap maken. Daarom stelde hij voor dat de psychologie uitsluitend verbanden tussen openbaar waarneembare gebeurtenissen (vaak stimuli) en gedrag zou bestuderen. Watson propageerde verder continuïteit tussen dieren en mensen. Het gevolg van dit standpunt is dat men zich beperkt tot wetenschappelijk toetsbare uitspraken. Maar binnen dit standpunt kan men niet over belevingen spreken - en mensen spreken zo graag over belevingen. Watson noemde psychologie in de traditie van James 'subjectieve psychologie', en zijn eigen psychologie noemde hij 'objectieve psychologie'. In hoofdstuk 10.3. bespreek ik visies op het verband tussen brein en psyche.

"Waarom doe je dat?"

Als je mensen vraagt waarom ze iets doen, is het antwoord bijna altijd het doel of de reden van het gedrag, en bijna nooit de oorzaak ervan (Nisbett en Wilson 1977). Tinbergen (1951, p. 4) schrijft deze neiging van mensen toe aan introspectie: *“Door introspectie geloven we dat ons gedrag in zekere mate gestuurd wordt door ‘voorkennis’ van doeleinden. Het is echter noodzakelijk om ons te realiseren dat deze conclusie zelf bij de mens geen oplossing voor het probleem is.”* Inderdaad. Onze introspectie heeft wel toegang tot onze belevingen, maar niet tot onze hersenprocessen (hoofdstuk 10.3.), en daardoor kunnen we de reden of het doel van ons gedrag vaak gemakkelijk verwoorden, maar niet de oorzaak. *“De menseijke geest is intrinsiek teleologisch. We geloven nu eenmaal dat bewegende, complexe objecten een purpose moeten hebben.”* (Jolly 1988). In het dagelijks leven worden de begrippen 'oorzaak' en 'reden' enerzijds, en 'gevolg', 'doel' en 'intentie' anderzijds verward. *“In het dagelijks spraakgebruik ... verwacht men vaak oorzaak met reden, en gevolg met consequentie.”* (Bunge 1979, p. 227). Men kan alleen toetsbare zinnen formuleren, als men fysieke en mentale processen strikt onderscheidt.

6.1. Oorzaken en redenen

'Oorzaak' en 'reden' in allerlei talen

In het dagelijks spraakgebruik maakt men geen duidelijk onderscheid tussen oorzaak en reden; dat geldt voor alle onderzochte talen. Het onderscheid tussen oorzaak en reden kan men pas helder maken na een analyse van fysische en mentale processen (hoofdstuk 10.3.). In het Griekse denken over oorzaak staan de begrippen *aition* en *logos* centraal

²⁰ Het bedrag op je bankrekening doet er niet toe, maar alleen je perceptie/geloof van het bedrag op je bankrekening.

(Bunge 1979, p. 226, Lloyd 1995). Beide begrippen betekenen zowel oorzaak als reden. *Aition* betekent ook schuld en verantwoordelijkheid, terwijl *logos* ook woord, verhaal en gedachte-inhoud betekent, en ook de schepende geest (evangelie volgens Johannes 1,1). De woorden *aition* en *logos* zijn vaak uitwisselbaar (Bunge 1979). In het Latijn hanterden filosofen de begrippen *causa* en *ratio*; ook hier werd geen helder onderscheid tussen deze begrippen gemaakt (Bunge 1979, p. 227). In het Engels werd dit *cause* en *reason* en in het Nederlands oorzaak en reden. Naar mijn mening formuleren we alleen toetsbare zinnen, als we fysieke en mentale gebeurtenissen strikt onderscheiden - en dus ook oorzaak en reden. Als natuurlijke selectie een eigenschap van een organisme voortgebracht heeft, spreken we van de oorzaak van het ontstaan van deze eigenschap (de '*cause d'être*'). Als een ontwerper of een ambachtsman een ding wil maken, spreken we van de reden dat dit ding gemaakt is (de '*raison d'être*'). Als een file het gevolg is van een ongeluk, is dat ongeluk de '*cause d'être*' van de file. Als een file het gevolg is van een actie van boze chauffeurs, dan is die boosheid de '*raison d'être*' van de file, maar hun langzaam rijdende auto's is de '*cause d'être*' van de file. In de praktijk is het soms lastig een onderscheid te maken tussen 'oorzaak' en 'reden'.

Oorzaak ≠ reden

Hier stel ik voor om de woorden 'oorzaak' en 'gevolg' te gebruiken voor de wereld van de dingen, en de woord 'reden' en 'intentie' voor de wereld van belevingen (of mentale processen, hoofdstuk 10.3.). Oorzaken en gevolgen zijn welomschreven toestanden of gebeurtenissen van concrete dingen (inclusief organismen) op een gespecificeerde tijd. Wittgenstein had zijn gedachten over het verband tussen oorzaak en reden verwoord, die postuum verspreid over enkele boeken gepubliceerd zijn (Wittgenstein 1953, 1958, Wittgenstein e.a. 2003, Schroeder 2013). Wittgenstein gebruikte het voorbeeld van een treinbestuurder die een rood knipperlicht ziet en de trein laat stoppen. Op de vraag "Waarom stopte je?" antwoordde de bestuurder "Omdat er een stopsignaal was." Dat antwoord geeft de reden voor het gedrag, en niet de oorzaak. "*Wezens hebben als eerste de autoriteit over de redenen voor hun acties, De reden die zij oprecht claimen, is wat wij hun reden noemen.*" (Wittgenstein e.a. 2003, 30f., 110f.). "*We weten de reden voor een actie (action) met zekerheid ... maar niet de oorzaak van een handeling (act).*" (Wittgenstein e.a. 2003, 424). Let wel: de vermelde reden voor een gedrag

kan verwijzen naar een voorval dat aan het gedrag voorafging, of naar het beoogde doel van het gedrag. De treinbestuurder kon zeggen dat hij stopte vanwege het stopsignaal, of om een botsing te voorkomen. Schroeder (2013) geeft het voorbeeld dat hij een ander op zijn nummer zette met als vermelde reden de onbeleefdheid van die persoon. Maar mensen die hem beter kenden, wisten dat hij dat deed omdat hij jaloers op die ander was, wellicht zonder het te weten. "*De reden voor mijn actie was inderdaad wat ik vermeldde. Maar omdat mijn gedrag minder onder mijn controle was dan ik geloofde, kon mijn gedrag niet volledig verklaard worden door mijn redenen. Een deel van mijn gedrag (de ongepaste felheid van mijn uitbarsting) kon alleen causaal verklaard worden doordat ik meegesleurd was door een emotie die ik niet volledig overzag.*" (Schroeder 2013, p. 560).

Als iemand iets ten onrechte meende waar te nemen, en hij handelde daarnaar, dan kan hij dat terecht 'de reden' van zijn gedrag noemen. Stel: iemand krijgt de hypnotische suggestie een paraplu te pakken, en hij doet dat. De hypnose wordt beëindigd, en een onderzoeker vraagt hem waarom hij een paraplu gepakt heeft, dan zal hij allerlei rationalisaties als reden geven, maar niet de oorzaak dat de hypnotiseur hem dat opgedragen heeft. Bij hersenletsels kan er een merkwaardige discrepantie zijn tussen de oorzaak van complex gedrag en de reden die de patiënt vermeldt. Een patiënt met '*blindsight*' (hoofdstuk 10.3.) volgde met zijn ogen een stipje dat hij zei niet te zien; als reden voor dit gedrag kon hij niet opvoeren dat hij het stipje wilde volgen. Een '*split-brain*' patiënt (hoofdstuk 10.3.) greep met zijn linkerhand de pen die in het linker visuele veld getoond was, maar hij kon daarvoor geen correcte reden vermelden. Voor de onderzoeker was de oorzaak voor deze handeling wel bekend. Redenen behoren tot de wereld van de mentale voorvallen, en oorzaken behoren tot de wereld van de dingen (of empirische wetenschappen, hoofdstuk 10.1.). Redenen en oorzaken zijn ontologisch verschillend. Omdat de bestuurder in het voorbeeld van Wittgenstein kon zeggen (= gedrag) wat zijn reden (= mentaal) was, past dit in een dualistisch denkkader.

Oorzaak = reden?

De filosoof Donald Davidson (1963, 1995) is een aanhanger van de '*identity theory*': dat sommige neurale processen mentale processen **zijn** (hoofdstuk 10.3.). "*Dus iedere mentale gebeurtenis die causaal gerelateerd is aan een*

Waarom-vragen

Als men probeert een proces wetenschappelijk te verklaren, kan men dat doen aan de hand van 'waarom-vragen' (Hempel 1965). Er zijn verschillende waarom-vragen.

Waarom-vragen over processen in de **levenloze natuur**; dit is het zoeken naar oorzaken, ofwel hoe de begintoestand door de natuurwetten leidde tot later toestanden (1).

Waarom-vragen over processen in de **levende natuur** zijn complexer. Men kan zoeken naar:

- Oorzaken binnen het organisme (2)
- Oorzaken als reactie van het organisme op de omgeving (3)
- Redenen van gedrag (d.i. mentaal); hier beperk ik me tot gedrag van mensen. Een vermelde reden voor een gedrag kan zijn een voorval in het verleden (4), of een gewenste toestand in de toekomst (5) (bijvoorbeeld: 'ik deed dat omdat zij het vroeg' of 'ik deed dat om haar blij te maken').

In de situaties (1), (2) en (3) spreekt Hempel van een waarom-vraag die een verklaring zoekt ('*explanation-seeking why-question*') en de verklaring is de oorzaak (een verklaring volgens een natuurwet, '*covering-law explanation*'). Het is helderder het woord 'waarom' in deze vragen te vervangen door 'waardoor' ('*through which*').

In de situaties (4) en (5) spreekt Hempel van een waarom-vraag die een reden zoekt ('*reason-seeking why-question*') en de verklaring is de reden ('*reason*'). Het is helderder om 'waarom' in situatie (5) te vervangen door 'waarvoor' of 'waartoe' ('*wherefore*'). In situatie (4) kan men voorstellen: 'welke gebeurtenissen deden je besluiten tot [handeling]?' (Liever gebruik ik niet het woord 'waarom' dat verscheidene betekenissen heeft.)

fysieke gebeurtenis, is een fysieke gebeurtenis." (Davidson 1995, p. 123). Binnen dit standpunt kan hij geen onderscheid maken tussen oorzaak en reden. Hij concludeerde daartoe omdat "*ik van de aanname uitga dat zowel de causale afhankelijkheid en de abnormaliteit van mentale gebeurtenissen onloochenbare feiten zijn.*"²¹ (Davidson 1995, p. 111). Maar men kan even goed uitgaan van andere aannames. Binnen de *identity theory* kan men geen onderscheid maken tussen oorzaak en reden²². Maar ik vind dat er goede redenen (!) zijn om oorzaak en reden te onderscheiden.

Hoewel in allerlei talen de begrippen 'oorzaak' en 'reden' in de praktijk uitwisselbaar zijn, en vaak verward worden, tonen de voorbeelden uit de vorige alinea dat helder, toetsbaar spreken over gedrag alleen mogelijk is als men oorzaak en reden strikt scheidt.

6.2. Gevolgen, doelen en intenties

Fysische en mentale 'doelen'

In fysische termen, hebben oorzaken gevolgen, volgens wetmatige processen. In mentale termen, hebben mensen intenties, die gevolgd kunnen worden door wilsdaden ('*actions*'²³). In

sectie 6.1. heb ik een strikt onderscheid voorgesteld voor de fysische term 'oorzaak' en de mentale term 'reden'. In deze sectie onderscheid ik twee betekenissen van het woord 'doel': ik gebruik het woord '*goal*' voor doelen die te herleiden zijn tot fysische processen, en het woord '*purpose*' voor doelen als mentaal proces. Een mens kan een *purpose* hebben, maar we kunnen ook spreken van het '*purpose*' van een ding, wat verwijst naar de '*purpose*' van de ontwerper/maker/gebruiker.

Processen die gericht zijn op *goals* zijn '*goal-oriented*', terwijl het gedrag van mensen '*purposeful*' kan zijn²⁴ (figuur 5).

In het menselijk lichaam en in het gedrag van mensen zijn er terugkoppelsystemen (Wiener 1948).

- Sommige terugkoppelsystemen werken zonder dat mensen zich dat bewust kunnen zijn. Dat geldt bijvoorbeeld voor het regelsysteem voor de bloedsuikerspiegel. Het setpoint van dit systeem is een bloedglucoseconcentratie van 4 – 8 mM. Dit systeem is *goal-oriented*.

ieder ander gedrag. Dit onderscheid is niet toetsbaar (hoofdstuk 10.3.).

²⁴ 'Doelgericht' is in het Duits '*gezielt*', en in het Engels '*purposeful, purposive, goal-oriented*'. 'Doelbewust' is in het Duits '*zielbewußt*', en in het Engels '*determined, purposeful*'. Het algemene woord voor 'doel' in het Duits is '*Ziel*'; voor bedoeling gebruiken ze '*Zweck*' of '*Absicht*'. Het algemene woord voor 'doel' in het Engels is '*aim*'.

²¹ Dit is een vreemd gebruik van het woord '*fact*'.

²² Verder gelden de bezwaren tegen de *identity theory* die ik in hoofdstuk 10.3. genoemd heb.

²³ Verscheidene auteurs gebruiken het woord '*action*' (NL actie) voor gedrag dat het gevolg is van een bewust proces (O'Connor en Sandis 2013), en het woord '*act*' (NL handeling) voor

Intenties en doelen – *goal* en *purpose*

Verscheidene filosofen, zoals Daniel Dennett (1971, 1983) en John Searle (1980, 1983) gebruiken het woord 'intenties' voor de achtergronden van doelgericht gedrag. Searle benadrukt dat gedrag van mensen en dieren 'intentioneel' is. Dennett wil het gedrag van systemen analyseren vanuit de hypothetische intenties van die systemen; dat noemt Dennett de 'intentionele houding' (*'intentional stance'*).

Dennett verwerpt het onderscheid tussen mentale en fysische processen als een Cartesiaanse drogreden. Hij wil expliciet geen onderscheid maken tussen fysische en mentale processen.

Searle (1980) doet alsof hij een causale beschrijving van gedrag wil geven: "*Bij mensen en dieren is intentionaliteit het product van causale processen in de hersenen*", maar hij spreekt over "*de feitelijke causale relatie tussen mentale processen en hersenen*." (Searle 1980, p. 417).

In dit hoofdstuk onderscheid ik twee betekenissen van het woord 'doel': ik gebruik het woord '*goal*' voor doelen die te herleiden zijn tot fysische processen, en het woord '*purpose*' voor doelen als mentaal proces. Ik betoog dat zinnen alleen toetsbaar zijn als men mentale en fysieke processen strikt scheidt. Voorlopig speel ik het intellectuele spel om te proberen voor alle natuurverschijnselen causale verklaringen te vinden. Daarom zeg ik: "*Goal-directed behavior of humans or animals is a causal product of brain processes*." Ik gebruik het woord '*purpose*' voor mentale processen. Het verband tussen mentale en fysieke processen is onduidelijk (hoofdstuk 10.3.). Omdat ik toetsbare zinnen wil formuleren, vermijd ik het gebruik van mentale termen.

- Sommige onderzoekers menen dat andere terugkoppelsystemen alleen werken, als mensen bewust naar hun doel gaan. Dat geldt bijvoorbeeld als mensen van plaats A via een bepaald traject naar plaats B willen gaan. Dat gedrag is *purposive*.

'*Biological goals*' en mentale '*purposes*'

Volgens het neodarwinisme worden erfelijke eigenschappen van levende organismen de volgende generaties frequenter, als die eigenschappen het overleven of voortplanten van het individu en zijn verwanten meer bevorderen dan van andere soortgenoten. Overleven, voortplanten, verwerven van middelen van bestaan, en het welzijn van verwanten zijn fysische biologische doelen, die ik in het vervolg '*biological goals*' noem. Terwijl *biological goals* (per definitie) evolutionair voordelig zijn, geldt dat niet voor alle mentale *purposes*. Voorbeelden van doordacht, maar evolutionair nadelig gedrag zijn het gebruik van voorbehoedsmiddelen, homoseksueel gedrag, of zelfmoord plegen²⁵. Maar iedereen gaat ervan uit dat ook deze gedragingen het gevolg zijn van activiteit van neuronen.

Ook Darwin (1872) had problemen met mentale termen. In het slotwoord van zijn boek over de expressie van emoties schrijft hij: "... *in dit hele boek heb ik vaak het gevoel gehad dat het moeilijk is de woorden de wil, bewustzijn en intentie correct te gebruiken.*"

Tabel 3 toont in welke wetenschappen de begrippen 'oorzaak/gevolg', 'evolutionair voordeel', '*goal*' en '*purpose*' van toepassing zijn.

A. Mentaal: doel = purpose

reden → consequentie - wilsact

B. Fysisch: doel = goal

oorzaak → gevolg - responsie

Figuur 5. Schematisch overzicht van het verband tussen 'oorzaak' en 'reden', en tussen 'goals' en 'purpose'.

Tabel 4 toont op welke dingen de begrippen 'oorzaak/gevolg', 'evolutionair voordeel', '*goal*' en '*purpose*' van toepassing zijn.

Filosofen en doelen

Uit introspectie weten we dat we 'intenties' hebben om een of ander *purpose* te bereiken (Searle 1983). De vraag of intenties een oorzaak van gedrag zijn, kan men alleen 'beantwoorden' door te verwijzen naar het eigen standpunt in het brain/mind-debat. Een aanhanger van het interactionisme meent dat intenties een oorzaak van gedrag zijn. Een aanhanger van de *identity theory* meent dat intenties en neurale activiteit hetzelfde zijn, dus dat het een niet een oorzaak van het ander kan zijn. In mijn denken is neurale activiteit altijd een oorzaak van gedrag, maar een oprecht persoon kan een reden voor zijn of haar gedrag vermelden die niet overeenstemt met de oorzaak.

²⁵ Ik heb geen waarde-oordeel over deze gedragingen.

Tabel 3 Een overzicht van de wetenschappen waar de begrippen 'oorzaak/gevolg', 'evolutionair voordeel', 'goal' en 'purpose' van toepassing zijn.

	oorzaak- gevolg	evolutionair voordeel ('functie')	goal (doel) (fysisch)	purpose (doel) (mentaal)
natuurkunde	+	-	-	-
scheikunde	+	-	-	-
biologie	+	+	+	-
psychologie (Watson, Lashley, Skinner)	+	+	+	-
psychologie (James)	+	+	+	+

Tabel 4. Een overzicht op welke dingen de begrippen 'oorzaak/gevolg', 'evolutionair voordeel', 'goal' en 'purpose' van toepassing zijn.

	oorzaak- gevolg	evolutionair voordeel ('functie')	goal (doel) (fysisch)	purpose (doel) (mentaal)
levenloze dingen in de natuur	+	-	-	-
micro-organismes				
geen locomotie	+	-	-	-
locomotie	+	-	+	-
planten				
onderdelen	+	+	-	-
hele plant	+	-	+	-
dieren				
weefsels-organen	+	+	-	-
gedrag	+	+	+	-
terugkoppel systemen	+	+	+	-
heel dier	+	- #	+	wschl
mens	+	-	+	+
apparaten				
zonder terugkoppeling	+	-	- *	- *
met terugkoppeling	+	-	+ *	- *

alleen bij eusociale soorten

* het doel (goal of purpose) van een apparaat hangt af van de ontwerper/maker/gebruiker.

Filosofen proberen onderscheid te maken tussen intentioneel en niet-intentioneel gedrag (Davidson 1963, Taylor 1966, Mele en Moser 1994, Mele 1997, Knobe 2003, 2006, O'Connor en Sandis 2013, Davis 2013). Intentioneel gedrag noemt men wel 'action', en 'niet-intentioneel gedrag noemt men wel 'act', maar deze termen worden niet consequent gebruikt.

Wanneer deze filosofen over 'intenties' spreken, is een concrete intentie het uitgangspunt van hun denken, en niet de conclusie van hun denken. Er zijn geen toetsbare criteria om intentioneel van niet-intentioneel te onderscheiden.

Verscheidene filosofen, zoals Daniel Dennett (1971, 1983) en John Searle (1983) gebruiken het woord 'intenties' voor de achtergronden van doelgericht gedrag. Searle benadrukt dat alle gedrag 'intentioneel' is, waarbij hij intentioneel als een mentaal proces beschouwt. Dennett wil het gedrag van systemen analyseren vanuit de vermoede intenties van die sys-

temen; dat noemt Dennett de 'intentionele houding'. Dennett verwerpt het onderscheid tussen mentale en fysische processen als een Cartesiaanse drogreden. Dennett wil expliciet geen onderscheid maken tussen fysische en mentale processen.

Disposities van dieren

Iets vergelijkbaars met intenties van mensen geldt voor dieren. Men zegt dat dieren neigingen (*dispositions*) voor een bepaald gedrag hebben. Het begrip 'neiging' moet verhelderd worden.

In een bepaalde interpretatie is een dispositie een **statistische parameter** dat bepaald gedrag in een bepaalde context waarschijnlijker is.

In een andere interpretatie is een dispositie **iets innerlijks** in het dier, waarbij er twee variabelen zijn:

1. een dispositie is een toestand van neuronen, wat gereduceerd kan worden tot een causaal proces
2. een dispositie is een mentaal proces van dieren; mentale processen kunnen niet causaal herleid worden tot neurale processen: disposities als mentaal proces zijn niet-reduceerbaar tot causale processen (Thorpe 1974, Sehon 2013). Spreken over disposities van dieren als mentaal proces is zinloos en eindeloos.

Intenties van mensen

Ik zie geen mogelijkheid om mentale processen causaal te herleiden tot neurale processen: intenties en *purposes* zijn niet-reduceerbaar tot causale processen van fysieke objecten (Sehon 2013).

7. Causaliteit in theoretische modellen

7.1. Correlatie en veroorzaking

Path analysis

In een artikel getiteld "*Correlation and causation*" heeft Sewall Wright, geneticus en theoretisch evolutiebioloog, de *path analysis*²⁶ ontwikkeld (Wright 1921). *Path analysis* is een statistische methode om verbanden te bestuderen tussen meerdere variabelen (multipelere regressie analyse), met de bedoeling om causale verbanden te ontdekken. Vanaf het eerste begin tot heden is er discussie over het verband tussen correlatie en causaliteit (Niles 1922, 1923, Wright 1923, McKim en Turner 1997, Shipley 2000, Evans e.a. 2002). Wright zelf "*benadrukt dat de combinatie van kennis van de correlaties met kennis van de causale verbanden ... iets heel anders is dat het afleiden van causale verbanden uit correlaties. ... Voorkennis van de causale verbanden is een eerste vereiste.*" (Wright 1923 p. 240).

De beperkingen van *path analysis* blijken uit een experimenteel onderzoek van een situatie waarbij de werkelijke causale verbanden bekend zijn en de relevante correlaties berekend zijn. Bij allerlei apensoorten werd het verband onderzocht voor mannetjesapen tussen positie in de rangorde, het aantal paringen, wie met

wie paart, en het aantal nakomelingen. Omdat de echte oorzaak/gevolg-verbanden bij de voortplanting bekend zijn, was het aardig te zien welke correlaties statistisch significant waren. Voor de afzonderlijke apensoorten en voor de afzonderlijke onderzoeken was er een random verband welke correlaties statistisch significant waren (de Ruiters en Van Hoof 1993). Dit toont de beperkingen van *path analysis*.

Causatie in de sociale wetenschappen

Sinds 1966 is *path analysis* in de sociale wetenschap geïntroduceerd. Sindsdien zien we in de sociale wetenschappen een ware explosie van "*path models*" en "*causal models*". *Path analysis* toont tussen welke variabelen de correlaties het grootst zijn - en niet meer dan dat. In een bespreking van het verband tussen correlatie en causaliteit, verwoordt Kenny (1979, p. 2-4) voorwaarden waaraan voldaan moet zijn als men wil concluderen dat X een oorzaak is van Y:

1. **Time precedence:** X moet voorafgaan aan Y.
2. **Relationship:** "*impliciet is hier het vereiste dat oorzaak en gevolg variabelen zijn, dat wil zeggen dat ze beide twee of meer waardes kunnen aannemen.*" (Kenny 1979, p. 3). In *path analyses* treffen we variabelen aan die verwijzen naar abstracte concepten, die bijvoorbeeld het resultaat zijn van psychometrisch onderzoek of enquêtes.
3. **Nonspuriousness.** Er mag niet een zogenaamde *confounder* zijn: een variabele Z die zowel op X als op Y invloed heeft. "*De meeste discussie in dit boek gaat over het probleem van onechte interacties.*" Daarnaast kan er ook sprake zijn van intervenierende variabelen: een variabele Z is een intervenierende variabele als X invloed heeft op Z en Z heeft invloed op Y (en er is geen directe invloed van X op Y).
4. "*... er is misschien nog een vierde voorwaarde voor veroorzaking die moeilijk te verwoorden is. Deze vierde voorwaarde is dat causaliteit impliciet een actief, bijna vitalistisch proces inhoudt.*" (Kenny 1979, p. 4). Dit sluit aan bij het idee dat een effect veroorzaken zo iets is als een effect produceren.

7.2. Heritabiliteitsmodellen

Een causale interpretatie van heritabiliteit

De heritabiliteit van een eigenschap wordt geschat op basis van correlaties. Maar vaak wil men weten in welke mate genen een eigenschap veroorzaken i.p.v. correlaties. Om uit

²⁶ Andere namen voor varianten van *path analysis* zijn: *theory of path coefficients*, *causal modelling*, *analysis of covariance structures*, *latent variable models*, *structural modelling*, en *structural equation modelling* (SEM). SEM is een ongelukkige term, omdat dit reeds *standard error of the mean* en *scanning electron microscopy* betekent.

correlaties causale verbanden af te leiden, moeten we een causale hypothese, model of wetmatigheid hebben. Dat wil zeggen: voor het berekenen van 'de' heritabiliteit moet men specificeren welk model gebruikt wordt voor de berekening (Eaves e.a. 1989, Evans e.a. 2002). Het meten van heritabiliteit is een variant van *path analysis*. In het geval van heritabiliteit kan men uit *path analysis* besluiten tot causale verbanden, doordat de richting van de causaliteit onomstreden is: genen veroorzaken (mede) de eigenschappen van organismen, en niet *vice versa*. Vanaf het begin is heritabiliteit ontwikkeld om causale verbanden te overzien en om kwekers van dieren en planten advies te geven (Wright 1920). Door gericht onderzoek kan men de causale invloed van erfelijke eigenschappen schatten, en ook van opgroeien in een gemeenschappelijke, en een niet-gemeenschap-pelijke omgeving.

7.3. Sociologische modellen

Waarom causaal onderzoek in de sociologie?

In de sociologie en economie bestudeert men verbanden tussen abstracte begrippen, zoals het percentage aanhangers van een bepaalde religie, zelfmoordpercentages, trouwcijfers, productiecijfers, criminaliteitscijfers. De relaties tussen deze abstracte begrippen zijn volgens het begrippenkader van dit boek niet 'causaal'. Een abstractie kan geen oorzaak zijn. Een boek over *Social causality* begon met: *“Waarom zouden we aandacht geven aan het causaliteitsprobleem? Volgens ons is één antwoord dat het succes van sociaal interventiebeleid²⁷ en de daarop volgende geloofwaardigheid van de sociale wetenschap, ervan afhangt dat we de mechanismes kennen waardoor een variabele een andere variabele verandert.”* (Hage en Meeker 1988).

Problemen met causaal onderzoek in de sociologie

In de sociologie beschrijft men de correlatie tussen abstracte parameters. Als het goed is, introduceert men extra kennis om causale verbanden achter deze correlaties te achterhalen (zie sectie 5.). Onderzoekers in de sociologie proberen vaak *“de oorzaken en gevolgen van sociale verschijnselen te identificeren op basis van statistische gegevens zonder experimenten en zonder sterke kennis van de relevante causale wetten of van speciale causale mechanismen.”* (Turner 1997, p. 23). *“De causale vragen die sociaal wetenschappers stellen, zijn belangrijke vragen die beant-*

woord moeten worden. [...] We denken dat de onzekerheid in de causale aannames het belangrijkste in deze onderneming is, en niet onzekerheid in statistische aannames en zeker niet steekproeffouten.” (Clogg en Haritou 1997). *“Maar het grootste probleem blijft over. Kunnen sociaal wetenschappers causaliteit kwantitatief afleiden uit statistische analyses van correlatie matrices? ... Zoals ik de resultaten lees, hebben correlatie-methodes niet geleverd wat verwacht werd.”* (Freedman 1997). *“Causaliteit kan alleen aangetoond worden door geëigend onderzoek (bijvoorbeeld longitudinaal onderzoek of experimenten), terwijl statistisch gegoochel oorzaak en gevolg niet kan ontrafelen.”* (Streiner 2005).

De onderzoekers menen niet letterlijk dat het ene abstracte begrip het andere veroorzaakt. De echte oorzaken en gevolgen zijn de fysieke processen die weerspiegeld zijn in de abstracte parameters.

Ik ben iedere keer weer verrast door het grote gemak waarmee sociale wetenschappers tot allerlei causale verbanden concluderen. Maar bijvoorbeeld de verdeeldheid onder criminologen over de oorzaken en de optimale aanpak van criminaliteit illustreert dat de meeste causale conclusies voorbarig getrokken zijn.

7.4. Econometrische modellen

In de econometrie heeft men te maken met verscheidene tijdsreeksen, en men onderzoekt het verband tussen die tijdsreeksen. Clive Granger (1969) berekende de correlatie tussen dergelijke tijdsreeksen. Eerder optredende gebeurtenissen beschouwde hij als 'mogelijke oorzaken', en later optredende gebeurtenissen als 'mogelijk gevolgen'. Als hij met die correlaties toekomstige gebeurtenissen kon voorspellen, beschouwde hij dat als aanwijzing voor een causaal verband. Uit correlaties kan men niet zomaar tot causaliteit besluiten; daarom noemt men dit 'Granger causaliteit'. Maar als men meer weet over de tijdreeksen (bijvoorbeeld onderliggende natuurwetten, of de gevolgen van eerdere interventies), kan men die extra kennis gebruiken om te concluderen tot echte causale verbanden.

Onderzoek naar correlaties tussen tijdsreeksen wordt ook in andere wetenschappen gebruikt; bijvoorbeeld in het auditief systeem, waar de causale verbanden wel duidelijk zijn (Aertsen en Johannesma 1981). Correlaties tussen tijdsreeksen moeten altijd met zorg geïnterpreteerd worden (Maziarz 2015).

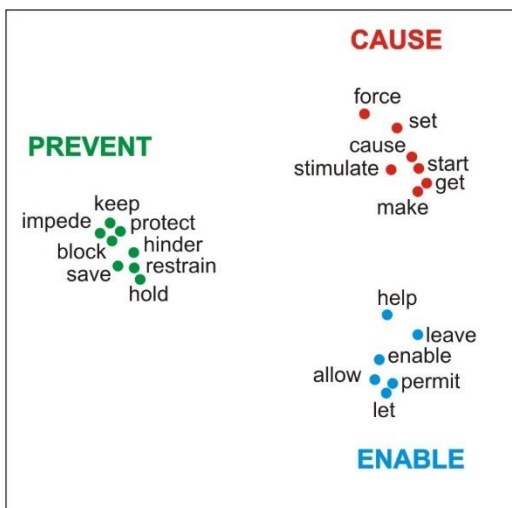
8. Het verwoorden van causale verbanden

²⁷ Welke interventies? Welk succes?

'Productie' en kracht

De essentie van causaliteit is 'productie': een toestand of gebeurtenis van concrete dingen 'produceert' een andere gebeurtenis van concrete dingen (Michotte 1946, p. 251, Bunge 1979). Dat geldt voor de vóórwetenschappelijke perceptie van mechanische, dierlijke en sociale causaliteit, en voor causale uitspraken in de natuurwetenschap. 'Productie' en 'oorzaak' zijn woorden voor primitieve, niet-herleidbare concepten (de 'semantic prime' 'do' van Goddard and Wierzbicka 2007).

Er is een speciale verbintenis tussen oorzaak en gevolg. Schlick (1932) sprak over "een echte connectie tussen oorzaak en gevolg, een eigenaardige 'intieme band', of een niet-waarneembare 'verbinding'." Kenny (1979, p. 4) verwoordde hetzelfde idee: "... er is misschien nog een vierde voorwaarde voor veroorzaking die moeilijk te verwoorden is. Deze vierde voorwaarde is dat causaliteit impliciet een **actief, bijna vitalistisch proces** inhoudt." Deze 'eigenaardige 'intieme band' tussen oorzaak en gevolg, en dit 'actief, bijna vitalistisch proces' noemt men in de natuurkunde en in het dagelijks leven 'kracht' (Wolff en Shepard 2013). Met het woord 'kracht' hebben we een woord voor het verband tussen oorzaak en gevolg in een gebruikelijke taal. Door dit woord 'kracht' begrijpt men het niet, maar men is eraan gewend (Friebe 2007). Ook Michotte concludeert: "De causale impressie is **de waarneming van de werking van een mechanische kracht.**" (Michotte 1946, p. 226)



Figuur 6. Clustering van woorden waarmee proefpersonen activiteiten in video's beschreven (gegevens van Wolf 2007).

In dit denkschema verwijst oorzaak altijd naar concrete dingen. In dit denkschema is het een categoriefout als men een abstractie als oorzaak beschouwt, bijvoorbeeld in zinnen zoals

"de afname in kindermortaliteit leidt tot lange-termijns-toename in lichaamslengte" (hoofdstuk 2.3.).

Woorden voor causale werking

De interacties tussen dingen worden beschreven in 'force dynamics' (Talmy 1988). Relevante werkwoorden zijn onder andere 'causing', 'letting', 'hindering' en 'helping'. Proefpersonen kregen video-animaties te zien, deels met alleen levenloze objecten en deels met interacties tussen mensen, en ze beoordeelden welk causaal werkwoord ze het meest passend vonden. Dan ontstaan er 3 clusters van werkwoorden: 'cause', 'enable' en 'prevent' (figuur 6, Wolff en Song 2003, Wolf 2007).

9. Besluit

Is een oorzaak een ding of een gebeurtenis?

Is een oorzaak een ding of een gebeurtenis (Lloyd 1995)? Dat kan nu opgelost worden. De essentie van causaliteit is 'productie': een toestand of gebeurtenis van concrete dingen 'produceert' een andere gebeurtenis van concrete dingen. De oorzaak is dus geen ding of gebeurtenis, maar een toestand of gebeurtenis van concrete dingen.

9.1. Zijn causale processen een mentaal construct?

De natuurwetten golden al voordat er mensen waren

Zijn causale processen een gegeven uit de natuur of een mentaal construct van mensen? "Het idee dat causaliteit een mentaal construct zou zijn, een puur subjectief verschijnsel, werd benadrukt door Berkeley en Hume, de volgers van Locke, en ook door Kant." (Bunge 1979, p.5). "Voor het moment vermelden we alleen de tegengestelde stelling, namelijk dat veroorzaking geen categorie van relatie tussen ideeën is, maar een categorie van verbinding en determinatie die correspondeert met een echte eigenschap van de feitelijke (externe en interne) wereld, zodat het een ontologische status heeft..." (Bunge 1979, p. 6). In de natuurwetenschappen gaat men ervan uit dat de natuurwetten al golden, voordat er dieren of mensen waren om oorzaak/gevolg-ketens waar te nemen. In hoofdstuk 3.5. toon ik voorbeelden dat dieren fysische intelligentie over causale verbanden hebben.

Causale percepties of causale attributies?

Nemen we een causaal verband direct waar, of concluderen we dat er een causaal verband is? "Men kan het causale aspect van het lan-

ceer-effect dus niet beschouwen als een 'interpretatie' en ook niet als een 'betekenisgeving' van waargenomen bewegingen op basis van eerdere ervaringen. Integendeel, het is echt perceptie van causaliteit, net zoals er perceptie van vormen of van bewegingen enz. is." (Michotte 1946, p.83). *"In deze omstandigheden dringt de causale indruk zich meteen op."* (Michotte 1946, p.19). Zo werken de hersenen van mensen en dieren nu eenmaal. Strikt genomen maken die hersenen deze causale attributies – en we moeten aannemen op basis van complexe neurale berekeningen. Maar wij 'nemen dit meteen waar' als oorzaak en gevolg, en we kunnen niet anders dan dat verband als causaal te beleven. Ook baby's en chimpansees nemen causale verbanden waar (Leslie en Keeble 1987, O'Connell en Dunbar 2005). Michotte, Heider en Simmel vermeldden dat bij uitzondering proefpersonen geen causaal verband zagen, maar alleen de beweging van geometrische figuren. Zoals bekend: waarneming is soms bedrieglijk. Soms nemen mensen en dieren ten onrechte causale verbanden waar. Dan is bijgeloof het gevolg.

Het zenuwstelsel ontdekt causale verbanden

Als gebeurtenissen tezamen voorkomen en gedetecteerd worden door het zenuwstelsel, wordt dat verband in de zenuwstelsels van dieren en mensen vastgelegd. Dat geldt voor verschillende vormen van leren (hoofdstuk 3.2.). Skinner (1977) noemde dat *"de kracht van de samenloop"*. Dit betreft causale en niet-causale verbanden. Een mens of dier die concrete causale verbanden geleerd heeft, kan die leerinhoud tot zijn voordeel gebruiken (in evolutionaire termen). Ik neem aan dat het ontdekken van causale verbanden een product van natuurlijke selectie is. *"De zoektocht naar veroorzaking is een instinctieve neiging van de menselijke geest."* (de Broglie 1952). Ik zou zeggen: *"het brein van dieren is zo geëvolueerd dat het relevante causale verbanden vastlegt, en deze leerinhoud voor eigen voordeel gebruikt"* (hoofdstuk 3.2.). Mensen en andere dieren ontdekken regelmatige verbanden en gebruiken deze tot hun voordeel. Dat geldt voor causale en niet-causale verbanden.

Ik ben het met Piaget eens dat mensen en andere dieren op basis van hun eigen ervaringen causale verbanden ontdekken. Dieren konden alleen causale verbanden ontdekken doordat de wereld voldoende regelmatig is. Al lang voordat er levende dieren waren, waren er oorzaak/gevolg-ketens in de levenloze natuur. Maar al lang voordat er mensen bestonden, is er in dieren een erfelijk*, gespecialiseerd leersysteem geëvolueerd, zodat dieren

causale verbanden ontdekken, en tot hun voordeel gebruiken.

9.2. Reductionisme

Causaliteit in verschillende wetenschappen

In verschillende wetenschappen gebruikt men de woorden 'oorzaak' en 'gevolg'. Maar in de afzonderlijke wetenschapsgebieden betreft causaliteit een relatie tussen verschillende types variabelen (tabel 5). De verschillen zijn zo groot dat het eigenlijk opmerkelijk is dat één woord, 'causaliteit', voor al die relaties wordt gebruikt²⁸. De oorzaken en gevolgen in de natuurwetenschap sluiten het meest aan bij het begrip van oorzaak-gevolg uit het dagelijks leven.

Vóór of tegen reductionisme

Sommige onderzoekers vinden dat ze de wereld begrijpen als ze de processen in de wereld in fysisch/chemische termen causaal kunnen verklaren; Daardoor kunnen ze processen bijsturen, en het geeft hun intellectuele bevrediging. Daarnaast zijn er wetenschappers of denkers die vinden dat natuurwetenschappelijke causale verklaringen fundamenteel tekort schieten, hetzij als verklaringsprincipe, of als strijdig met de menselijke waardigheid. Zij vinden bovennatuurlijke, metafysische of mentale aspecten zo belangrijk, dat een fysisch-chemische verklaring altijd tekort schiet (figuur 7). Dit geeft een overzicht van de voorkeuren van deze wetenschappers. Ik onderscheid hier bescheiden, integer, wetenschappelijk reductionisme en imperialistisch reductionisme.

Wetenschappelijk reductionisme

Er zijn spectaculaire successen geboekt om de processen in de levende natuur causaal te verklaren door wetmatigheden in natuur- en scheikunde, zoals in de moleculaire genetica en de moleculaire biologie (Thorpe 1974). Bij een tactische keuze van niveaus kunnen processen op één niveau verklaard worden door processen op het lagere niveau (van Dongen en Van den Bercken 1981). Die eigenschappen op het hogere niveau worden wel 'emergente eigenschappen' genoemd.

²⁸ Daarom gebruikte ik het meervoud 'causaliteiten' als titel voor dit hoofdstuk.

Tabel 5. Causaliteit in verschillende wetenschappen.

onderzoeksgebied	Waar gaat het over? (ontologie)	causaliteit
Filosofie, logica	Abstracte voorwaarden	Noodzakelijke of voldoende voorwaarden
Natuurwetenschap, inclusief <i>evidence-based</i> geneeskunde en psychologie in de traditie van Watson, Lashley, Skinner	Feitelijke toestanden of gebeurtenissen van concrete dingen, inclusief gedrag van mensen of andere dieren	<i>Law-covering explanation</i> : <ul style="list-style-type: none"> • beweging van hemellichamen, • oorzaken van gedrag • werking van geneesmiddelen
Psychologie in de traditie van James	Mentale gebeurtenissen	<ul style="list-style-type: none"> • Percepties • Gevoelens • Intenties • Redenen voor gedrag • Motivaties
Sociologie	Abstracte variabelen over de samenleving	Samenhang tussen variabelen
Statistiek	Abstracte variabelen	<i>Path analysis</i> : correlaties tussen variabelen uit een model.

"Uiteindelijk interesseert complexiteit de wetenschappers, en niet eenvoud. Reductionisme is de methode om complexiteit te begrijpen. Liefde voor complexiteit zonder reductionisme maakt kunst; liefde voor complexiteit met reductionisme maakt wetenschap." (E.O. Wilson 1998, p. 58-59).

Imperialistisch reductionisme

In het imperialistisch reductionisme eigent een auteur zich alle kennisgebieden toe. Volgens sommige auteurs is reductionisme verwerpelijk (vergelijk Quine 1951). Er zijn voorbeelden dat wetenschappers bevindingen in andere wetenschapsgebieden zich toe-eigenen. Stel iemand doet de uitspraak *"Gevoelens zijn niet meer dan fysisch/chemische processen in de hersenen."*

- Voor aanhangers van de *identity theory* (hoofdstuk 10.3.) is deze uitspraak per definitie waar.
- Elders heb ik verdedigd dat mentale gebeurtenissen niet tot fysische gebeurtenissen kunnen worden herleid (gereduceerd, hoofdstuk 10.3.).
- Als men uitgaat van een algemene bezielde substantie (Spinoza 1678), liggen belevingen van mensen en dieren direct in het verlengde van de bezielde natuur. Maar dan zijn de zinnen hierover niet meer toetsbaar, en het begrip 'causale verklaring' heeft geen betekenis meer.

Voor mij is empirische wetenschap een spel met toetsbare uitspraken, dat alleen leuk is als men zich aan de spelregels houdt. Reductionisme levert vaak echte oplossingen. Een schaker is geen reductionist als hij toelicht dat er in het schaakspel geen plaats is voor een

vrije trap. Een vrije trap bederft het schaakspel. Een natuurwetenschapper is geen reductionist als hij toelicht dat er in het spel van de natuurwetenschap geen plaats is voor belevingen of voor bovennatuurlijke krachten. In de natuurwetenschap is er geen plaats voor 'de hand van God'. Het introduceren van 'de hand van God' in de natuurwetenschap is spelbederf.

9.3. Bijna alles is te complex om te voorspellen

Moritz **Schlick** (1932) nam een pragmatisch standpunt over causaliteit in. *"Determinatie betekent dus de Mogelijkheid tot Berekening en niets anders."* We kunnen bijvoorbeeld de banen van planeten en kunstmatige satellieten berekenen, en meestal de werking van digitale computers.

Maar de meeste processen in het echte leven zijn zo complex dat voorspellingen onmogelijk zijn. Eerder in dit hoofdstuk heb ik daar voorbeelden van gegeven.

1. **Genen – eigenschappen van organismen.** Genen veroorzaken op een complexe manier het ontstaan van eiwitten, die in allerlei organen tot expressie komen, en op complexe wijze de eigenschappen van organismen veroorzaken (sectie 5.2.).
2. **Gedrag.** Stel iemand doet de uitspraak "Gedrag is niet meer dan fysisch/chemische processen in de hersenen." Elders heb ik verdedigd om uitspraken op een tactisch gekozen niveau te bespreken. Gedrag is de output van organismen, dus dat wordt optimaal op organisme-niveau besproken. Bij

Pim van Lommel (2007) bijna-dood ervaringen	Dick Swaab (2010), 'Wij zijn ons brein'
Frans de Waal (1996), mentale processen	Victor Lamme (2010), geen vrije wil
	Richard Dawkins (1976), selfish gene
Noam Chomsky (1967), verwerpt empirisme	Michael Ruse (1973), analyse functie-zinnen
Karl Popper (1963), metafysica	Carl Gustav Hempel (1965) causale verklaring
Maharishi Mahesh (1955), transcendente meditatie	Thomas Nagel (1961), teleologie naar causaal
W.V.O. Quine (1951), verwerpt empirisme	Nico Tinbergen (1951), gedrag causaal verklaard
Ron Hubbard (1950), Dianetics, Scientology	
Pierre Teilhard de Chardin (1941), God = Omega	Burrhus Skinner (1938), conditionering
	Konrad Lorenz (1937), gedrag causaal verklaard
Ludwig Wittgenstein, metafysica	Otto Neurath (1933), verwerpt metafysica
Rudolf Steiner (1912-1925), antroposofie	Moritz Schlick (1932), logisch positivisme
Henri Bergson (1907), élan vital	Rudolf Carnap (1931), verwerpt metafysica
William James (1890), mentale processen	John Watson (1924), behaviorisme
Alfred Russel Wallace (1889), spiritisme	Charles Sherrington (1906), reflexleer
Helena Blavatsky (1888), theosofie	Ivan Pavlov (1903), klassiek conditioneren, materialisme
	Ivan Sechenov (1863), reflexleer
Immanuel Kant (1785), religieus uitgangspunt	Charles Darwin (1859), evolutie als causale verklaring
	Hermann von Helmholtz (1847), meet zenuwgeleiding
René Descartes (1637), mens heeft ziel	Denis Diderot, encyclopédie (1751 - 1772)
Al-Ghazali (1058 - 1111) alleen goddelijke invloed	Julien Offray de la Mettrie (1749), l'homme machine
Aristoteles (ca 330 BCE), telos	Jan Swammerdam (1660), verwerpt 'animal spirits'
Plato (370 BCE), ook bovennatuurlijke invloed	René Descartes (1637), alleen voor dieren
	Lucretius Carus (60 BCE), alleen natuurlijke verklaringen
	Democritus (ca 400 BCE), atomen - determinisme
prefereert ook buiten- en bovennatuurlijke verklaringen	accepteert alleen causale verklaringen

Figuur 7. Overzicht van de denkers en wetenschappers, die hetzij wilden proberen alle natuurverschijnsels causaal te verklaren (rechts), of die vinden dat natuurwetenschappelijke causale verklaringen fundamenteel tekort schieten (links). Blauw: filosofen; groen: biologen, geel: fysici; roze: psychologen; grijs: theologen; paars: taalkundigen.

gedrag zijn zoveel cellen en zoveel moleculen betrokken dat het (niet theoretisch, maar wel in de praktijk) onmogelijk is om gedrag op cel- of molecule-niveau te beschrijven (sectie 5.4.1.). Men kan wel claimen dat gedrag uitsluitend veroorzaakt wordt door fysisch/chemische processen in de hersenen, maar die uitspraak kan niet getoetst worden in een empirische wetenschap (hoofdstuk 10.1.), en is een vrijblijvende uitspraak.

3. **Werking van geneesmiddelen.** Afzonderlijke geneesmiddelen gaan interacties aan met zoveel receptoren, in zoveel weefsels en organen, in verschillende individuen, dat de werking in een individueel organisme te complex is om te overzien of te voorspellen (sectie 5.5.2.).
4. **Algemeen: niveaus.** In principe kan de werking op één niveau verklaard worden door de processen op één lager niveau. Maar steeds zijn de processen op één niveau, en de verbanden tussen niveaus te complex om te overzien (sectie 5.1.1.).

In de praktijk is er zelden de Mogelijkheid tot Berekening.

9.4. Empirisch vaststellen van causale verbanden

Empirisch wetenschappelijk vaststellen van causale verbanden

Eigenlijk is er maar één Gouden Weg om een causaal verband empirisch vast te stellen en dat is het gerandomiseerde, placebo-gecontroleerde, dubbelblinde onderzoek (Rubin 1978). Dat vereisen de autoriteiten voor het vaststellen van de werkzaamheid van een nieuw geneesmiddel. Maar ook gerandomiseerde, gecontroleerde, dubbelblinde onderzoeken hebben hun beperkingen (Hernán 2004). En voor andere vraagstellingen is dub-

bele blinding en gebruik van een placebo niet goed mogelijk. Men kan causale verbanden door ander onderzoek empirisch wetenschappelijk vaststellen, als aan de volgende voorwaarden voldaan is:

1. De hypothetische oorzaken en gevolgen zijn toestanden of gebeurtenissen van concrete dingen.
2. De gebeurtenissen moeten betrouwbaar (*reliable*) zijn waargenomen. Dat wil zeggen dat verschillende observatoren gelijkaardige waarnemingen doen.
3. De hypothetische oorzaak moet in de tijd voorafgaan aan het hypothetische gevolg.
4. De hypothetische oorzaak en het hypothetische gevolg moeten aan elkaar gecorreleerd zijn.
5. De correlatie tussen oorzaak en gevolg moet reproduceerbaar zijn. Meestal stelt men als eis dat verschillende onderzoekers gelijkaardige correlaties vinden.
6. De correlatie moet voldoende groot zijn, anders moet men op zoek naar verdere oorzaken.

Maar als aan deze voorwaarden is voldaan, ontbreekt nog een essentieel element: veroorzaken is zo iets als 'produceren'. Dit kan men met één van de volgende methoden onder-

1. Interventie: door manipulatie van de hypothetische oorzaak kan men onderzoeken of de oorzaak inderdaad het gevolg "produceert".
2. Natuurwet: in veel gevallen zijn interventies onmogelijk, omdat de gebeurtenissen in de tijd (evolutie) of de objecten in de ruimte (heelal) te ver weg liggen. Als deze processen verlopen volgens natuurwetten, concludeert men toch dat ze causaal zijn.

Tabel 5 toont de criteria voor causale verbanden in empirische wetenschappen en in *path analysis*.