

Reichenbach: Waarschijnlijkheid & het A Priori —Is het Kind Weggegooid met het Badwater?—

Nederlandse samenvatting van het proefschrift te verdedigen op 13/07/2017 te Utrecht

In dit proefschrift betoog ik dat er sporen van de filosofie van Kant te vinden zijn in de filosofische opvattingen van Hans Reichenbach, en dat deze sporen onder andere aan te treffen en te volgen zijn in Reichenbachs veranderende interpretatie van de waarschijnlijkheidsrekening. Ruwweg is het proefschrift onder te verdelen in twee delen: in de hoofdstukken een, twee en drie worden de concepten waarvan ik gebruik maak in mijn betoog geïntroduceerd; in het vierde tot en met het zevende hoofdstuk behandel ik de opvattingen van Reichenbach. Het tweede deel is opnieuw onder te verdelen: in de hoofdstukken vier, vijf en zes laat ik zien hoe en waar in het werk van Reichenbach de concepten uit het eerste deel aan bod komen, en in hoofdstuk zeven worden Reichenbachs bewerkingen van deze concepten op zo'n manier geordend dat de conclusie van dit proefschrift duidelijk naar voren komt: de sporen van kantiaanse filosofie in Reichenbachs werk zorgen ervoor dat diens opvattingen veel subtieler (en minder vatbaar voor standaard-kritiek) zijn dan doorgaans aangenomen wordt.

H.1: Mechanisme en Waarschijnlijkheid

Het eerste hoofdstuk van dit proefschrift heeft de vorm van een opmerking over de opkomst van de waarschijnlijkheidsrekening. Ik denk dat er een spanning is tussen de filosofie van het *mechanisme* en denken in termen van *waarschijnlijkheid*, en daarom dat het geen toeval is dat tijdens de opkomst van de mechanistische filosofie (ongeveer in de 17^e eeuw) ook de klassieke waarschijnlijkheidsrekening tot bloei kwam.

Volgens de mechanistisch filosoof is het een belangrijk doel van de natuurkunde om een mechanistische beschrijving¹ te vinden van de waargenomen werkelijkheid. Een dergelijke mechanistische beschrijving is er een in termen van oorzaak en gevolg; men was op zoek naar de mechanische oorzaak van waargenomen gebeurtenissen. Een filosofisch idee dat nauw verwant

¹[Dijksterhuis, 1950] merkt op dat het gebruik van het adjectief 'mechanistisch' niet consequent is met het gebruik van het substantief 'mechanisme' (p1, n1).

is aan de mechanistische filosofie is het idee van determinisme. Determinisme is het idee dat iedere gebeurtenis het noodzakelijke gevolg is van voorgaande gebeurtenissen in combinatie met de natuurwetten². In een mechanistisch wereldbeeld bestaat er voor iedere waargenomen gebeurtenis een achterliggend mechanisme. Dit wereldbeeld zou deterministisch zijn als alle achterliggende mechanismen werken volgens uniek bepalende oorzaak/gevolg-relaties.

De tijd waarin het mechanicisme haar intrede deed, was ook de periode waarin de waarschijnlijkheidsrekening opkwam. Voor de opkomst van het mechanicisme werd de waarschijnlijkheidsrekening beschouwd als een niet al te serieuze tak van de wiskunde, gebruikt door wiskundigen om voordelige strategieën te ontwikkelen voor rijke dobbelaars. In de 17^e eeuw ontwikkelde de waarschijnlijkheidsrekening zich tot een veelzijdig instrument (bijvoorbeeld in de rechtspraak) en verscheen er een formalisme ten tonele dat werd gedeeld door de wetenschappelijke wereldgemeenschap³.

In het eerste hoofdstuk van mijn proefschrift probeer ik aannemelijk te maken dat de opkomst van de mechanistische filosofie en het daarmee gepaard gaande determinisme een vruchtbare voedingsbodem vormde voor de waarschijnlijkheidsrekening. In een wereld waarin alle natuurlijke processen deterministisch verlopen wordt het een prangende vraag wat concepten als kans en waarschijnlijkheid precies inhouden. Waar filosofen voor de 17^e eeuw misschien hun toevlucht zochten tot bovennatuurlijke verklaringen voor het optreden van waarschijnlijkheden (waarom de dobbelsteen rolt zoals hij rolt), zochten mechanistisch filosofen naar het mechanisme dat schuilgaat achter waarschijnlijkheid. Ik denk dat de spanning tussen enerzijds het mechanicisme en het determinisme, en anderzijds het denken in termen van kansen en waarschijnlijkheden een grote rol speelt in de ontwikkeling van de waarschijnlijkheidsrekening (of in ieder geval van het formalisme dat daarbij hoort).

H.2: A Priori

Hoofdstuk twee van dit proefschrift lijkt een nieuw startpunt. De opmerking over de relatie tussen waarschijnlijkheid en het mechanicisme is gemaakt en we gaan nu in op een schijnbaar heel ander onderwerp. Hoofdstuk twee gaat

²[Hofer, 2016].

³Zie voor een toepassing van de waarschijnlijkheidsrekening in de rechtspraak Wilhelm Leibniz' 'Dissertatio De Arte Combinatoria' uit 1666. Het formalisme werd ook buiten Europa gedeeld; zie Mikami's 'Development of Mathematics in China and Japan' ([Mikami, 1913]).

over de rol van het concept *a priori* in de wetenschap. Echter, ondanks de schijn van het tegendeel is dit hoofdstuk niet een nieuw startpunt. We zullen zien dat de inhoud van dit hoofdstuk samen met inhoud van het derde hoofdstuk een ideale opstap is voor onze bestudering van de 20^e eeuwse waarschijnlijkheidsrekening.

Kants A Priori

De ontwikkeling van het a priori-concept kent meerdere stadia. Een geschikt beginpunt voor onze analyse is de betekenis die het a priori kreeg in het werk van Kant (in de 18^e eeuw). Voor deze analyse bekijken we Kants *transcendentale filosofie*. Centraal hierin staat de transcendentale gedachte—het idee dat *als* kennis van de wereld mogelijk is de wereld zó in elkaar moet zitten dat deze kennis mogelijk is.

Al voor de tijd van Kant werd er een onderscheid gemaakt tussen uitspraken die *analytisch* zijn en uitspraken die *synthetisch* zijn. De waarheid van analytische uitspraken hangt af van de betekenis van de termen in de uitspraak (bv. ‘vrijgezellen zijn ongetrouwd’). De waarheid van synthetische uitspraken hangt niet alleen af van de betekenis van de termen in de uitspraak maar ook van iets in de wereld buiten degene die de uitspraak doet (bv. ‘de appel is rood’).

Om dit verschil te beschrijven maakte Kant gebruik van de twee termen *a priori* en *a posteriori*. Kant gebruikte deze termen op een iets andere manier dan ze gebruikt werden door filosofen voor zijn tijd. Kant gebruikte de termen om een strikt onderscheid te maken tussen twee soorten uitspraken: uitspraken waarvan de waarheid onafhankelijk van waarnemingen vastgesteld kan worden noemde Kant a priori (vóór de waarneming kan de (on)waarheid vastgesteld worden), en uitspraken waarvoor waarnemingen gedaan moeten worden om te kunnen vaststellen of ze waar zijn noemde Kant a posteriori (pas na waarneming kan de waarheid worden vastgesteld).

Met deze twee onderverdelingen van uitspraken (analytisch/synthetisch en a priori/a posteriori) in gedachten kunnen we beschrijven wat Kants transcendentale gedachte inhoudt. Op het eerste gezicht lijkt het aannemelijk dat analytische uitspraken a priori zijn (voor een analyse van termen is immers geen waarneming nodig), en synthetische uitspraken a posteriori. Kant meende dat als kennis van de wereld mogelijk is er naast analytische a priori uitspraken en synthetische a posteriori uitspraken nog een derde categorie uitspraken moet bestaan: synthetische a priori uitspraken. Een synthetische a priori uitspraak zegt iets over de wereld buiten degene die de uitspraak doet, maar er is geen waarneming vereist om de uitspraak te kunnen toetsen.

Kants gedachte kan als volgt worden toegepast. Kant stelde dat de wereld (de natuur) de eigenschappen moet hebben die kennis van deze wereld mogelijk maken. Stel je bijvoorbeeld een vallende steen voor: je denkt dan waarschijnlijk aan een min of meer bolvormig klompje materie dat op verschillende momenten op verschillende plaatsen is. Het is duidelijk dat de kleur van het klompje materie, of de snelheid waarmee het valt, niet erg belangrijk is voor de mogelijkheid van de voorstelling (we kunnen ons best een steen met een andere kleur of met een andere snelheid voorstellen⁴).

Er zijn volgens Kant ook eigenschappen van de vallende steen die essentieel zijn voor de voorstelling. Eigenschappen die zo belangrijk zijn, dat zonder die eigenschappen je je simpelweg geen voorstelling kunt maken. Zo kun je je volgens Kant geen voorstelling maken van zoiets als een vallende steen of bijvoorbeeld botsende biljartballen zonder te denken aan objecten die ruimte innemen en veranderen in de tijd. Om fysische toestanden op verschillende momenten met elkaar in verband te brengen (bijvoorbeeld de posities en snelheden van vallende stenen of van botsende biljartballen) is het volgens Kant noodzakelijk om aan te nemen dat de fysische toestand van de wereld op ieder moment noodzakelijkerwijs wordt teweeggebracht door een combinatie van de voorgaande fysische toestand van de wereld met de natuurwetten. In de moderne wetenschapsfilosofie beschrijft men een dergelijke relatie tussen toestanden met een term die we al eerder zijn tegengekomen: determinisme. In het wereldbeeld van Kant komt een deterministische relatie voort uit een uitzonderingsloze opeenvolging van oorzaak en gevolg. Niet alleen is iedere gebeurtenis de oorzaak van een andere gebeurtenis, ook is het zo dat gelijke oorzaken altijd dezelfde gevolgen hebben.

Kritiek op Kant

Kant was ervan overtuigd dat als kennis van de wereld mogelijk is, we moeten aannemen dat waarneembare gebeurtenissen geordend zijn in termen van tijd, ruimte en oorzakelijkheid. Kennis in de tijd van Kant is kennis binnen de newtoniaanse mechanica, die op haar beurt gestoeld is op de meetkunde van Euclides. De euclidische meetkunde zoals zij ten grondslag ligt aan de newtoniaanse mechanica beschrijft de ruimte als vlak. Het is daarom niet verwonderlijk dat een deel van Kants overtuiging erin bestond dat—als kennis mogelijk is—de natuurkunde gestoeld moet zijn op de euclidische meetkunde. In de kantiaanse filosofie leidt de transcendentale gedachte tot het inzicht dat de ruimte zoals wij haar waarnemen vlak is.

⁴Of zelfs zonder kleur (in het donker) of snelheid (we kunnen ons zelfs een steen voorstellen die stil lijkt te liggen maar in werkelijkheid valt).

Kants ideeën over ruimte werden in de 18^e en 19^e eeuw bekritiseerd. Deze kritiek werd kracht bijgezet toen in de tweede helft van de 19^e eeuw werd ontdekt dat euclidische meetkunde niet de enige consistente meetkunde is. De ontkenning van Euclides' vijfde postulaat (het zogenaamde parallellenpostulaat) leidde tot het idee dat er consistente, niet-euclidische meetkundes bestaan. Omdat deze zogenaamde riemanniaanse meetkundes kunnen worden gebruikt voor het beschrijven van een *gekromde* ruimte werd de twijfel over Kants aanname dat de ruimte niet gekromd is groter. Kunnen we gekromde ruimte wel a priori—onafhankelijk van waarnemingen—uitsluiten?

De ontdekking dat niet-euclidische meetkunde een consistent onderdeel van de wiskunde is doet de vraag rijzen of gekromde ruimte misschien (in weerwil van Kants oorspronkelijke filosofie) een consistent onderdeel van de natuurkunde zou kunnen zijn. In de newtoniaanse mechanica is het een basisaanname dat de ruimte niet gekromd is, maar is die aanname essentieel voor de mechanica—welke vorm deze dan ook heeft?

Deze vraag werd ondubbelzinnig beantwoord toen in het begin van de 20^e eeuw de relativiteitstheorieën werden ontdekt⁵ door Einstein. In de algemene relativiteitstheorie is een vlakke ruimte niet langer een basisaanname en alle realistische modellen in deze theorie (waarin de ruimte niet leeg is) gaan zelfs uit van een gekromde ruimte.

Reichenbachs A Priori

De fysicus en filosoof Hans Reichenbach schreef in 1920 een boek waarin hij poogde de kantiaanse transcendentale filosofie zodanig aan te passen dat zij de relativiteitstheorie niet langer tegenspreekt. In de inleiding van zijn boek stelt Reichenbach dat we Kants transcendentale gedachte tegemoet moeten komen, maar dat het overweldigende empirische bewijs voor de relativiteitstheorie niet genegeerd kan worden. Na een analyse van Kants transcendentale filosofie komt Reichenbach tot een aanpassing van Kants ideeën over het synthetische a priori.

Reichenbach ziet in dat Kants synthetische a priori twee verschillende aspecten heeft. Ten eerste heeft Kants synthetische a priori een *constitutief* karakter, en ten tweede is kants synthetische a priori *apodictisch*. Het constitutieve karakter bestaat erin dat het synthetische a priori de fysische voorstelling constitueert. Om een voorbeeld te geven keren we terug naar de vallende steen waar we het eerder over hadden. De functie van consti-

⁵Kant zou misschien hebben gezegd dat de relativiteitstheorieën werden *uitgevonden*.

tutieve concepten als ruimte en tijd is anders dan die van andere concepten (bijvoorbeeld kleur) omdat constitutieve concepten een zodanige ordening aanbrengen in gedane waarnemingen dat we zonder deze concepten niet van een voorstelling zouden kunnen spreken. Het andere aspect van Kants synthetische a priori dat Reichenbach ontwaarde was het apodictisch aspect. In de kantiaanse filosofie moeten ware synthetische a priori uitspraken altijd waar zijn, juist omdat ze constitutief zijn. Om de mogelijkheid van kennis te allen tijde te kunnen waarborgen moet Kants synthetische a priori onveranderlijk (apodictisch) zijn.

Reichenbach staat positief tegenover Kants transcendentale gedachte. Om kennis van de wereld mogelijk te maken moet de wereld de eigenschappen hebben die deze kennis mogelijk maken. Maar omdat we onze kennis van de wereld kunnen herzien, zo stelt Reichenbach, moeten we ook van tijd tot tijd onze ideeën over de kennis-mogelijk-makende (constitutieve) eigenschappen kunnen herzien. De empirische wetenschap vertelt ons welke eigenschappen constitutief zijn. Voortschrijdende wetenschap kan dus leiden tot herziening van de constitutieve eigenschappen (zoals de algemene relativiteitstheorie heeft laten zien dat een vlakke ruimte geen constitutieve eigenschap van alle mogelijke natuurkundige theoriën is).

Na de bovenstaande analyse betoogt Reichenbach dat we niet zouden moeten aannemen dat er een synthetisch a priori bestaat dat onveranderlijk is. In wat Kant synthetisch a priori noemde, ziet Reichenbach een constitutief maar veranderlijk a priori. Het idee van Reichenbach is in latere wetenschapsfilosofische literatuur bekend komen te staan als *gerelativeerd a priori*—omdat het slechts a priori is met betrekking tot een welbepaalde wetenschappelijke context.

We zagen in het lijstje van Kants synthetische a priori's de concepten ruimte, tijd en een deterministische oorzakelijkheid. Reichenbach vervangt Kants idee van deterministische oorzakelijkheid met het idee van een veranderlijk constitutief a priori: Reichenbachs *principe van de waarschijnlijkheidsfunctie*. In het vierde en vijfde hoofdstuk van mijn proefschrift beschrijf ik hoe in Reichenbachs werk een deterministische oorzakelijkheid stapsgewijs plaatsmaakt voor de waarschijnlijkheidsfunctie, maar om deze overgang nauwgezet te kunnen volgen zal ik eerst een hoofdstuk wijden aan wat bekend is komen te staan als de *klassieke waarschijnlijkheid*: de waarschijnlijkheidsrekening zoals zij werd beoefend in de 18^e en 19^e eeuw.

H.3: Klassieke Waarschijnlijkheid

De *locus classicus* voor de klassieke waarschijnlijkheid is het werk van P.S. Laplace. Volgens de klassieke benadering van het kansbegrip zegt waarschijnlijkheid iets over de ontwikkeling van een fysisch proces. De waarschijnlijkheid van een bepaalde uitkomst van zo'n proces wordt gedefiniëerd als de verhouding tussen het aantal mogelijke uitkomsten dat als 'gunstig' wordt beschouwd en het totale aantal mogelijke uitkomsten. Als we bijvoorbeeld werpen met een dobbelsteen en vragen naar de kans op een even getal, dan zijn er drie gunstige gevallen (omdat er drie even getallen onder de zeven zijn) en zes mogelijke gevallen (ervan uitgaande dat de dobbelsteen zes zijden heeft). De kans waarnaar gevraagd wordt is dus gelijk aan $\frac{3}{6} = \frac{1}{2}$. De toepassing van deze definitie vooronderstelt dat alle mogelijke gevallen (en dus ook alle gunstige gevallen) even waarschijnlijk zijn—maar hoe kunnen we deze vooronderstelling rechtvaardigen?

In de klassieke benadering werd aangenomen dat twee uitkomsten even waarschijnlijk zijn als we geen enkele reden hebben om aan te nemen dat de waarschijnlijkheid van de één groter is dan die van de ander. Deze aanname (ook wel *het principe van indifferentie* genoemd) lijkt op het eerste gezicht aannemelijk: is dat niet wat we allemaal dagelijks doen? Als we over één of ander fysisch proces niets anders weten dan dat het zich op n verschillende manieren kan ontwikkelen, dan gaan we er toch vanuit dat iedere ontwikkeling een waarschijnlijkheid van $\frac{1}{n}$ heeft?

Sommige theoretici in de tweede helft van de 19^e eeuw stelden dat het kansbegrip alleen maar waardevol voor de wetenschap is als kansen objectief vastgesteld kunnen worden (zodat wetenschappers onder gelijke omstandigheden gelijke kansen zullen toekennen). Daarom werd gesteld dat het principe van indifferentie alleen zou moeten worden toegepast als er sprake is van een meetbare fysische symmetrie: pas als we kunnen meten dat de dobbelsteen die we werpen homogeen is en de afmetingen van de zijden niet van elkaar verschillen, mogen we aannemen dat alle mogelijke uitkomsten van de worp even waarschijnlijk zijn. Ik bespreek in dit verband de opvatting van Johannes von Kries.

Von Kries meende dat waarschijnlijkheden die wij gewoonlijk associëren met fysische toestanden kunnen worden uitgedrukt als verhoudingen tussen aantallen mogelijke beschrijvingen van deze fysische toestanden op micro-niveau. Zo kenmerkt von Kries de kans op een zes bij een worp met een eerlijke dobbelsteen als volgt. De gezochte kans is gelijk aan de verhouding tussen 1) het aantal 'oorspronkelijke' en 'enkelvoudige' microtoestanden die ieder overeenkomen met een zes als uitkomst en 2) het totale aantal

microtoestanden die ieder overeenkomen met een mogelijke uitkomst van de worp. Gezien het feit dat de dobbelsteen in kwestie eerlijk is, lijkt het redelijk om aan te nemen dat von Kries op een kans van $\frac{1}{6}$ zou uitkomen. Omdat von Kries redeneert binnen een deterministisch wereldbeeld is er tussen iedere microtoestand die een begintoestand voor een fysisch proces vormt een oorzakelijk verband met een microtoestand die een eindtoestand beschrijft. In het geval van de dobbelsteenworp kan iedere uitkomst dus niet alleen worden geassocieerd met een bereik aan micro-eindtoestanden, maar ook met een bereik aan micro-begintoestanden. Von Kries was van mening dat zijn karakterisering van waarschijnlijkheden in termen van (in principe meetbare) fysische microtoestanden het principe van indifferentie overbodig maakt.

In het werk van Laplace en von Kries vormt een deterministisch wereldbeeld het startpunt van bespiegelingen over kansrekening. Een hypothetische entiteit (god?) die de begintoestand van het hele universum kent zou in een deterministische gang van zaken alles wat er gebeurt kunnen voorspellen. Echter, wij kennen van een natuurlijk proces nooit de gehele begintoestand. Er zal daarom altijd onzekerheid bestaan over het daadwerkelijke verloop van een fysisch proces. Vergelijk dit met een dobbelsteenworp. Ook al zouden we alle natuurwetten en de toestand van de dobbelsteen zelf tot in detail kennen, dan nog kunnen we—zelfs als de wereld deterministisch is—niet met zekerheid zeggen wat de uitkomst van de worp zal zijn. De zojuist gekarakteriseerde waarschijnlijkheid levert een maat voor deze onzekerheid, en zorgt ervoor dat we ondanks onzekerheid wetenschappelijke uitspraken kunnen doen over het verloop van een proces.

H.4: Reichenbachs Proefschrift

We keren nu terug naar Reichenbach. Een paar jaar voordat hij het boek schreef waarin hij probeerde de spanning tussen de relativiteitstheorie en de filosofie van Kant weg te nemen, schreef Reichenbach zijn proefschrift. Dit werk, dat in 1916 werd gepubliceerd, is geschreven geheel vanuit een kantiaans perspectief: Reichenbach zoekt in 1916 naar de eigenschappen die de wereld moet hebben opdat kennis mogelijk is. Eerder zagen we dat (volgens Kant) onze waarnemingen moeten worden geordend in termen van tijd, ruimte en determinisme om kennis mogelijk te maken. Ook zagen we dat een deterministische gang van zaken niet per se leidt tot voorspelbaarheid: doordat we nooit de gehele begintoestand van een fysisch systeem kennen, zullen er altijd verstoringen van het (door ons beschrevene) deterministisch

verloop optreden. Waarschijnlijkheid beschrijft de resulterende onzekerheid over het verloop. Reichenbach redeneert daarom als volgt. Door de reeds genoemde verstoringen is iedere uitspraak over een meting in de natuurkunde een waarschijnlijkheidsuitspraak. Reichenbachs aanpassing van Kants transcendentale gedachte is daarom dat—als kennis mogelijk is—we moeten aannemen dat waarschijnlijkheidsuitspraken mogelijk zijn. Reichenbach analyseert daarom de waarschijnlijkheidsrekening.

Reichenbach onderzoekt von Kries' definitie van waarschijnlijkheid en komt tot een punt van kritiek. Hij oordeelt dat er twee problemen zijn met diens beschouwingen over microtoestanden. Ten eerste leiden von Kries' microtoestanden volgens Reichenbach tot het problematiseren van de rationele basis voor waarschijnlijkheidsuitspraken. Von Kries beweert wel dat hij een fysische, objectieve theorie heeft (en dus geen gebruik hoeft te maken van het principe van indifferentie), maar hij neemt aan dat al zijn 'oorspronkelijke' microtoestanden even waarschijnlijk zijn. Deze aanname over de microtoestanden vloeit (net als het principe van indifferentie) niet logisch voort uit de fysische beschrijving van de microtoestanden. De aanname is dus subjectief, en subjectieve kennis, zo oordeelt Reichenbach, is geen goede basis voor wetenschappelijk-rationele uitspraken.

Het tweede probleem dat Reichenbach heeft met von Kries' waarschijnlijkheid is dat diens aanname dat alle microtoestanden even waarschijnlijk zijn een *ad hoc*-aanname is: de aanname lijkt te zijn gedaan om waarschijnlijkheid te kunnen definiëren als een verhouding tussen aantallen microtoestanden en niet omdat de aanname op natuurlijke wijze past binnen een overkoepelend wetenschapsfilosofisch systeem waarvan de waarschijnlijkheidsrekening een onderdeel is.

Om deze beide problemen in een keer op te lossen stelt Reichenbach zijn eigen interpretatie van waarschijnlijkheid voor. We zullen zien dat Reichenbachs kantiaanse interpretatie van waarschijnlijkheid de aanname dat alle microtoestanden van von Kries even waarschijnlijk zijn overbodig maakt en waarschijnlijkheidsinschattingen tot een coherent onderdeel van een kantiaanse interpretatie maakt.

Reichenbach begint, net als de aanhangers van de klassieke waarschijnlijkheid, met de aanname dat alle fysische processen deterministisch verlopen. Veel wetenschappelijke uitspraken kunnen alleen worden gedaan in de vorm van waarschijnlijkheidsuitspraken, aldus Reichenbach, omdat er in het verloop van ieder fysisch proces altijd invloeden zijn van buiten de beschreven begintoestand die een deterministische beschrijving van het pro-

ces onbruikbaar maken⁶. Reichenbachs voorstel is om waarschijnlijkheid te definiëren in termen van de relatieve frequenties van waarnemingen. Stel dat we van een bepaalde gebeurtenis de waarschijnlijkheid willen bepalen en we bekijken n situaties waarin de gebeurtenis mogelijksterwijs optreedt. De waarschijnlijkheid van de gebeurtenis is in de definitie van Reichenbach de limiet van de relatieve frequentie van deze gebeurtenis als $n \rightarrow \infty$. Een waarschijnlijkheidsuitspraak à la Reichenbach vooronderstelt het bestaan van limiet-frequenties; Reichenbachs waarschijnlijkheidsrekening moet dus van het bestaan van limiet-frequenties uitgaan. Deze limiet-frequenties spelen een *constitutieve* rol in waarschijnlijkheidsuitspraken.

In Reichenbachs benadering moet dus iedere beschrijving van een fysisch proces waarin waarschijnlijkheden een rol spelen worden geassocieerd met limiet-frequenties in oneindige rijen van herhalingen. Reichenbach noemt de aaneenschakeling van deze limiet-frequenties de waarschijnlijkheidsfunctie, ϕ . We zullen zometeen zien dat als we aannemen dat ϕ een *continue* functie is, von Kries' aanname van gelijke waarschijnlijkheid van oorspronkelijke microtoestanden overbodig is. De mogelijkheid van waarschijnlijkheidsuitspraken (en dus van de meeste natuurkundige uitspraken) vereist alleen de aanname dat ϕ bestaat—deze aanname is volgens Reichenbach in 1916 daarom synthetisch a priori.

Reichenbach is ervan overtuigd dat hij met zijn kantiaanse benadering de problemen met von Kries' benadering van de waarschijnlijkheidsrekening kan oplossen. Als we waarschijnlijkheid definiëren zoals Reichenbach dat doet, is de waarschijnlijkheid van een gebeurtenis een extrapolatie van de relatieve frequentie van de gebeurtenis in onze waarnemingen. We kunnen deze opvattingen van Reichenbach nu vergelijken met von Kries' benadering van de waarschijnlijkheidsrekening.

Vertaald naar Reichenbachs benadering is von Kries' aanname dat alle oorspronkelijke microtoestanden van een proces even waarschijnlijk zijn equivalent aan de aanname dat wanneer het proces vaak wordt herhaald, de waargenomen relatieve frequenties kunnen worden geëxtrapoleerd naar precies bepaalde limiet-frequenties, waarin de oorspronkelijke gelijke kansen tot uitdrukking komen. Zoals we hebben gezien, stelt Reichenbach daarvoor een andere aanname in de plaats: als waarschijnlijkheidsuitspraken mogelijk zijn, bestaat er een continue waarschijnlijkheidsfunctie. Deze aanname over ϕ is zwakker dan von Kries' aanname. Als ϕ bestaat dan bestaan

⁶Pas in zijn latere werk stelt Reichenbach de aanname ter discussie dat de resulterende niet-deterministische beschrijving een proces beschrijft dat op fundamenteel niveau deterministisch is.

er limiet-frequenties, maar Reichenbachs benadering zegt niets over de specifieke waarden van deze limiet-frequenties. Wel stelt Reichenbach dat ϕ de vorm van een continue functie heeft. De continuïteit van ϕ impliceert dat kleine (infinitesimale) veranderingen in de uitkomsten zich vertalen naar kleine veranderingen in de kansen op die uitkomsten (de limiet-frequenties). Omdat ϕ ons vertelt dat dicht bij elkaar gelegen uitkomsten vrijwel gelijke waarschijnlijkheden bezitten, heeft Reichenbach von Kries' aanname over de kansen van oorspronkelijke microtoestanden niet langer nodig.

Het laten zien dat von Kries' aanname van gelijke aanvangswaarschijnlijkheden niet gedragen wordt door de fysische basis van waarschijnlijkheidsuitspraken is gelijk de eerste stap van Reichenbachs oplossing van het tweede probleem. Het rest hem alleen nog te laten zien dat het principe dat in plaats komt van von Kries' aanname wél op natuurlijke wijze past binnen een overkoepelende (filosofische) beschouwing over kansen. Door af te leiden dat de aanname dat ϕ bestaat synthetisch a priori is, laat Reichenbach zien dat ϕ past binnen een (neo)kantiaans wetenschapsfilosofisch systeem.

Ik betoog dat het eerste punt van Reichenbach leidt tot een probleem in de toepassing van zijn frequentistische interpretatie. Reichenbach beperkt zich tot de aanname dat ϕ bestaat, zonder iets te zeggen over de specifieke waarden die ϕ aanneemt. Deze beperking door Reichenbach ontdoet waarschijnlijkheid inderdaad van subjectiviteit: de willekeur besloten in het principe van indifferentie en von Kries' aanname van gelijke waarschijnlijkheid is niet langer onderdeel van de waarschijnlijkheidsrekening. Echter, met het onderdrukken van de subjectiviteit krijgt ook de mogelijkheid van systematische en gerechtvaardigde vorming van verwachtingen een klap. Voor iemand die een inschatting wil maken van de waarschijnlijkheid van een gebeurtenis is Reichenbachs benadering niet afdoende; Reichenbachs benadering zegt immers niets over hoe uit waarnemingen geëxtrapoleerd moet worden: het bestaan van een limiet zegt niets over de snelheid waarmee die limiet benaderd wordt. Reichenbachs benadering van de waarschijnlijkheid is weliswaar objectief, maar leidt tot een rechtvaardigingsprobleem voor kansuitspraken op basis van eindige hoeveelheden empirisch materiaal.

Reichenbach was niet de enige die waarschijnlijkheden definieerde in termen van limieten van relatieve frequenties. In het vijfde hoofdstuk van mijn proefschrift laat ik zien dat de interpretatie van waarschijnlijkheden in termen van limieten van relatieve frequenties op verschillende manieren kan gebeuren.

H.5: Variaties op het Frequentisme

In de voorgaande hoofdstukken zijn we verschillende werken van Reichenbach tegengekomen (in niet-chronologische volgorde). In 1916 wordt zijn proefschrift gepubliceerd, waarin hij een volledig kantiaanse interpretatie van de waarschijnlijkheidsrekening uiteenzet; en in 1920 schrijft Reichenbach het boek waarin hij zijn algemene kantiaanse epistemologie omvormt tot een neokantiaanse—nu met een gerelativeerd a priori. In dit hoofdstuk zullen we de frequentistische interpretatie van waarschijnlijkheid bestuderen die resulteert als Reichenbach zijn neokantiaanse interpretatie verder verfinjt.

In 1925 schrijft Reichenbach een artikel waarin hij de conclusie trekt dat als we aannemen dat ϕ bestaat, de aanname dat fysische processen deterministisch verlopen niet meer nodig is voor het mogelijk maken van natuurwetenschappelijke kennis. In kantiaanse termen: Reichenbach realiseert zich dat determinisme niet een noodzakelijke constitutieve voorwaarde is voor de kennis die wij hebben. Zelfs in een indeterministische wereld is wetenschappelijke kennis mogelijk.

In 1935 introduceert Reichenbach een frequentistische interpretatie van waarschijnlijkheid die niet uitgaat van deterministische processen. De waarschijnlijkheid die Reichenbach definieert is een relatie tussen twee klassen en een oneindige rij van paren van elementen. Waarschijnlijkheid wordt als volgt gedefinieerd: de waarschijnlijkheid $P(B|A)$ is de verhouding tussen 1) het aantal paren in de rij waarvan het eerste element behoort tot een bepaalde klasse A en het tweede element tot een klasse B en 2) het totale aantal paren in de rij waarvan het eerste element behoort tot klasse A . Omdat Reichenbach waarschijnlijkheid op deze wijze kenmerkt als eigenschap van een oneindige rij van *paren* van elementen kunnen we zeggen dat zijn formele opbouw van de waarschijnlijkheidsrekening het begrip *conditionele waarschijnlijkheid* als fundamenteel neemt.

Reichenbachs frequentisme wordt zo formeel gekarakteriseerd als een theorie over elementen in verzamelingen. Deze theorie moet natuurlijk worden toegepast op fysische gebeurtenissen, maar een dergelijke toepassing is een extra stap die niet uit het formalisme volgt. Dit noopt Reichenbach ertoe uit te leggen hoe de relatie is tussen waarnemingen en waarschijnlijkheidsuitspraken. Waarschijnlijkheidsuitspraken zijn een ‘extrapolatie’ van waargenomen relatieve frequenties—ze zijn ampliatief en volgen niet deductief uit het waarnemingsmateriaal. Reichenbach beschouwt zulke uitspraken als ‘*posits*’, d.w.z. als proposities die we moeten behandelen als ware uit-

spraken ondanks dat we ze niet kunnen bewijzen—als we zulke posits niet zouden aannemen, zouden we geen basis hebben om verder te redeneren. Wederom zien we hier het kantiaanse spoor in Reichenbachs denken. Zijn waarschijnlijkheidsposits zijn een onlosmakelijk onderdeel van toepassingen van de waarschijnlijkheidsrekening: zij constitueren onze probabilistische behandeling van de werkelijkheid. Net als de waarschijnlijkheidsfunctie past ook het idee van de posit naadloos in een (neo)kantiaans raamwerk: het aannemen ervan is een condities waaraan moet zijn voldaan om wetenschappelijke kennis mogelijk maken.

Een andere frequentistische interpretatie is die van Richard von Mises. Volgens von Mises is de waarschijnlijkheidsrekening, anders dan bij Reichenbach, een inductieve fysische theorie over reeksen van gebeurtenissen. De spanning tussen 1) von Mises' idee dat de waarschijnlijkheidstheorie een fysische theorie is en 2) het idee dat waarschijnlijkheid een limietfrequentie is in oneindig lange (en dus onwaarneembare) reeksen wordt door von Mises afgedaan met de opmerking dat waarschijnlijkheidsuitspraken een hypothetische aard hebben. Dat is niet ongewoon voor een fysische theorie, aldus von Mises, maar vergelijkbaar met uitspraken in bijvoorbeeld de newtoniaanse mechanica. Een belangrijk verschil met Reichenbach is dat von Mises waarschijnlijkheden beschouwt als de uitkomsten van de toepassing van standaard inductieve methoden op de relative frequenties die worden gevonden in eindige reeksen. Dit is een puur empiristische benadering. Reichenbach daarentegen meent dat het onmogelijk is over waarschijnlijkheden te spreken zonder het maken van a priori veronderstellingen (die later eventueel kunnen worden aangepast op basis van feitenmateriaal).

Volgens von Mises is waarschijnlijkheid alleen gedefinieerd in reeksen gebeurtenissen als deze reeksen *kollektieven* zijn. Von Mises' voorwaarde voor het bestempelen van een reeks gebeurtenissen als een kollektief is dat de elementen in zo'n reeks *willekeurig* verdeeld zijn. Deze willekeur bestaat in het uitgesloten zijn van een spelstrategie: als ieder element in de reeks de uitkomst van een kansspel zou voorstellen bestaat er geen spelstrategie die gegarandeerd leidt tot winst van het spel.

In 1949 schrijft Reichenbach een brief aan Bertrand Russell. De brief is een reactie op een boek van Russell waarin deze het 20^e eeuwse frequentisme benoemt als de 'Mises-Reichenbach-theorie'. Reichenbach ziet duidelijke verschillen tussen zijn interpretatie en die van von Mises en vindt het daarom ongepast dat Russell het heeft over de Mises-Reichenbach-theorie. Zoals we hebben gezien zijn er inderdaad verschillen tussen de benaderingen van

Reichenbach en von Mises. Terwijl von Mises' frequentisme in beginsel een fysische theorie is, is Reichenbachs theorie een in de eerste plaats formele theorie die kan worden toegepast op fysische verschijnselen als aan bepaalde voorwaarden is voldaan. Deze toepassingsstap onderscheidt Reichenbachs interpretatie van die van von Mises.

H.6: Sporen van Transcendentaliteit

In de twee voorgaande hoofdstukken is er een continuïteit te bespeuren in de opvattingen van Reichenbach. Sporen van zijn vroege kantiaanse benadering doen zijn latere frequentistische interpretatie afwijken van de interpretatie van von Mises. In hoofdstuk zes bespreek ik de kantiaanse sporen in het werk van Reichenbach explicieter.

In Reichenbachs frequentistische interpretatie in 1916 zijn zowel determinisme en het bestaan van een continue ϕ synthetisch a priori in de kantiaanse zin. In 1925 laat Reichenbach het determinisme achter zich en is het synthetisch a priori afgezwakt tot een gerelativeerd a priori. In een persoonlijke notitie uit 1927 schrijft Reichenbach een 'zelfbeoordeling' waarin hij stelt dat het bestaan van een continue ϕ wordt voorondersteld in alle natuurkundige uitspraken. We kunnen opmerken dat dit spreken van vooronderstellingen die nodig zijn voor de mogelijkheid van uitspraken typerend is voor (neo)kantiaans denken.

Een spoor van kantianisme dat nog niet eerder aan bod is gekomen is Reichenbachs opvatting over *conventies*. Moritz Schlick was van mening dat datgene wat Reichenbach het synthetisch a priori noemde niets anders is dan een conventie en niets met kantianisme te maken heeft. Schlick verweet het Reichenbach daarom dat deze kantiaanse termen als constitutiviteit gebruikte. Reichenbach nam hierna de term conventie van Schlick over, maar bleef—ook in zijn latere werk (o.a. dat uit 1928)—de constitutieve rol van conventies in wetenschappelijke kennis benadrukken. Dit constitutieve karakter van Reichenbachs conventies illustreert opnieuw het kantiaanse spoor in Reichenbachs filosofie.

Nauw verbonden aan Reichenbachs idee van waarschijnlijkheidsuitspraken als posits, zoals we dat in het vorige hoofdstuk tegenkwamen, is Reichenbachs idee uit 1935 van de *vindicatie van inductie*. In Reichenbachs benadering zijn alle waarschijnlijkheidsuitspraken posits en niet deductief te rechtvaardigen. Desalniettemin kunnen we achteraf gelijk krijgen bij het redeneren op grond van deze posits, namelijk wanneer we tot succesvolle voorspellingen komen. Reichenbach stelt nu dat dat deze situatie essentieel

dezelfde is als die we tegenkomen bij de rechtvaardiging van inductie. Als er ware uitspraken over de toekomst kunnen worden gedaan, dan zullen bepaalde inductieve posits tot deze uitspraken voeren—zonder het gebruik van zulke posits is er geen inductieve kennis mogelijk, volgens Reichenbach. In Reichenbachs benadering zijn inductieve posits constitutief voor kennis. We kunnen ze niet deductief rechtvaardigen, maar moeten ze aannemen om vooruit te kunnen komen in redeneringen over de toekomst. Achteraf kunnen onze posits worden bekrachtigd door vindicatie, namelijk wanneer ze leiden tot juist blijkende verwachtingen. Reichenbachs vervanging van rechtvaardiging door vindicatie—berustend op het idee van constitutiviteit en uitgaande van voorwaarden die kennis mogelijk maken—is geheel in de geest van de kantiaanse filosofie.

Het laatste—en misschien wel belangrijkste—spoor van kantianisme in Reichenbachs latere werk is zijn *realisme* (uit 1938). Reichenbachs realisme is zijn idee dat er een werkelijkheid bestaat die zich openbaart in onze waarnemingen en dat uitspraken over deze werkelijkheid een welgedefinieerde betekenis hebben. Reichenbach is het hierin dus niet eens met het deel van zijn tijdgenoten voor wie de metafysica anathema is. Reichenbach verdedigt zijn realistische visie door het concept *projectie* in te voeren, het uitgaan boven het empirisch materiaal door een posit aan te nemen die dit materiaal verklaart. De invoering van dit concept kan worden gezien als een stap binnen een neokantiaanse benadering. Zonder projectie, en dus de aanname van een grond voor onze waarnemingsgegevens, is natuurwetenschappelijke kennis over de realiteit niet mogelijk. De aanname van een realiteit buiten de waarneming is dus constitutief voor wetenschappelijke kennis.

In Reichenbachs latere opvattingen is de relatie tussen wetenschappelijke waarnemingen en werkelijkheid dus geen reductie, maar een projectie—het is een waarschijnlijkheidsrelatie en geen relatie van equivalentie. Wat waarnemingen zeggen over de werkelijkheid is in termen van waarschijnlijkheid, niet van zekerheid.

H 7: Epiloog

In het laatste hoofdstuk van mijn proefschrift laat ik zien hoe de kantiaanse elementen in Reichenbachs filosofie ervoor zorgen dat zijn filosofie subtiel omgaat met veel van de problemen die ook nog in de moderne wetenschapsfilosofie een rol spelen.

De latere Reichenbach wordt vaak geschaard onder de aanhangers van het *logisch positivisme*. In de tweede helft van de 20^e eeuw raakt het logisch

positivisme verwickeld in de ‘positivismusstreit’: de logisch positivisten worden bekritiseerd onder andere vanwege hun afwijzing van de metafysica en de grote waarde die ze hechten aan directe, onbevooroordeelde waarneming. Ik laat zien dat Reichenbachs filosofie verfijnder is dan vaak wordt aangenomen en dat de standaardkritiek uit de positivismusstreit hem niet treft.

Reichenbach schenkt veel aandacht aan de relatie tussen directe waarneming en wat theorieën over waarnemingen zeggen. We hebben gezien dat er in Reichenbachs benadering constitutieve elementen nodig zijn om van directe waarnemingen naar wetenschappelijke waarnemingen te komen. Reichenbachs erkenning van het bestaan van zulke constitutieve elementen lijkt dezelfde strekking te hebben als het idee van Karl Popper dat wetenschappelijke waarnemingen theoriegeladen zijn. Reichenbachs ideeën over de relatie tussen wetenschappelijke waarnemingen en de werkelijkheid—zijn realisme—laten zien dat Reichenbach de metafysica niet schuwde. Integendeel: de realistische benadering vormt een onlosmakelijk onderdeel van Reichenbachs filosofie.

Mijn conclusie in dit hoofdstuk is dat Reichenbach niet vatbaar is voor het merendeel van de kritiek op het logisch positivisme die geuit werd in de positivismusstreit. Reichenbachs immuniteit in deze is te danken aan de immer aanwezige sporen van kantiaanse filosofie in zijn werk. De conclusie van mijn proefschrift als geheel heeft hierin een natuurlijke positie: *de sporen van kantiaanse filosofie in Reichenbachs werk zorgen ervoor dat diens opvattingen veel subtieler (en minder vatbaar voor standaard-kritiek) zijn dan doorgaans aangenomen wordt.*

References

- [Dijksterhuis, 1950] Dijksterhuis, E. (1950). *De Mechanisering van het Wereldbeeld*. Meulenhoff, Amsterdam, the Netherlands.
- [Hofer, 2016] Hofer, C. (2016). Causal determinism. *Stanford Encyclopedia of Philosophy*. First published in 2003.
- [Mikami, 1913] Mikami, Y. (1913). *The Development of Mathematics in China and Japan*. Teubner, Leipzig.