

Het padmodel laat zien welke factoren er van invloed zijn op het geboortegewicht van cavia's en de gewichtstoename tijdens de speentijd van 33 dagen. Overgenomen uit 'Correlation and causation' door Sewall Wright, 1921, *Journal of Agricultural Research*

Over padmodellen, structurele vergelijkingen en de roep om Explainable AI

RICHARD STARMANS

De Amerikaanse geneticus en statisticus Sewall Green Wright (1898–1988) speelde begin vorige eeuw samen met Ronald A. Fisher en J. B. S. Haldane een belangrijke rol bij de totstandkoming van de Moderne Synthese in de biologie, ruwweg de integratie van de evolutietheorie van Wallace en Darwin en de mendeliaanse genetica. Juist in deze periode was de kruisbestuiving tussen de nog prille wetenschap der statistiek enerzijds en 'variatie-en-verandering' rijke disciplines als biologie, landbouwwetenschap, (populatie)genetica en evolutietheorie anderzijds enorm. Sommige pioniers slaagden erin op beide terreinen grensverleggend onderzoek te verrichten. Dat gold allereerst voor Fisher zelf, maar Sewall Wright deed in menig opzicht niet voor hem onder. Het is dit jaar precies 100 jaar geleden dat Wright in de *Journal of Agricultural Research* zijn befaamde artikel *Correlation and*

Causation (1921) publiceerde, waarin hij zijn 'method of path coefficients' introduceerde, de weg effende voor wat later als padanalyse en structurele vergelijkingmodellen bekend zou worden en tevens de basis legde voor hedendaagse (grafisch georiënteerde) benaderingen van *causal inference* binnen AI en informatica. De auteur legt in de openingszin van het artikel direct zijn kaarten op tafel: 'The ideal method of science is the study of the direct influence of one condition on another in experiments in which all other possible causes of variation are eliminated.' Helaas blijken in de weerbarstige praktijk deze oorzaken van variatie dikwijls *beyond control* en met name biologen worstelen met metingen c.q. variabelen die gecorreleerd zijn 'because of a complex of interacting, uncontrollable and often obscure causes', aldus de auteur, zonder daarbij overigens direct naar observationele

data te verwijzen. De correlatiecoëfficiënten van Francis Galton en Karl Pearson vormen bij dit alles slechts een soort brutoresultaat van 'all connecting paths of influence'. Met zijn artikel beoogt Wright een methode te demonstreren, die elke directe invloed 'along each separate path' specificeert en meet, om zo te kunnen bepalen hoe de totale variatie in de uiteindelijke afhankelijke variabele 'is determined by each particular cause'. Dat ontrafelen van de gemeten correlaties leidt dan tot (stelsels van) vergelijkingen waarbij directe en indirecte effecten, alsmede endogene en exogene variabelen een rol spelen.

De wijze waarop Wright beklemtoont hoezeer in de genetica correlatiecoëfficiënten en 'platte' regressiemodellen tekortschieten is zonder meer saillant, maar de auteur gaat nog een stap verder door allereerst het woord 'causation' nadrukkelijk in de titel op te nemen en aansluitend in de eerste twee alinea's van het artikel maar liefst zesmaal naar de woorden 'cause' en 'causal' te verwijzen. In de rest van de dertig pagina's tellende publicatie wordt niet alleen het empirisch onderzoek naar geboortegewicht en draagtijd van cavia's en de wateropname en transpiratie van planten causaal geduid en geïnterpreteerd, maar ook de statistische analyse van dit alles. Deze historisch en filosofisch belangwekkende aanpak van Wright leidde al spoedig tot opmerkelijke reacties en een grillige receptie van zijn werk, die decennia voortduurde en – belangrijker nog – waarvan de implicaties tot op de dag van vandaag zichtbaar zijn. Enige aspecten daarvan brengen we hier kort voor het voetlicht.

Statistiek en causaliteit

De *causale mark-up* van Wright is om diverse redenen frappant. Allereerst kan met enig gevoel voor pathos worden gesteld dat de tijdgeest en het intellectuele klimaat in het eerste kwart van de twintigste eeuw sterk anti-causalistisch waren. Causaliteit werd geassocieerd met een

achterhaalde wetenschapsopvatting, met metafysica in de wijsbegeerte en vooral met een deterministisch wereldbeeld, dat sedert het laatste kwart van de negentiende eeuw op zijn retour was. In de (wetenschaps-)filosofie kreeg dit onder meer gestalte in het strenge empirisme van Ernst Mach in Duitsland, het utilitarisme van John Stuart Mill in Engeland en het positivisme van Auguste Comte in Frankrijk. Allen waren op hun beurt schatplichtig aan David Hume, die in de achttiende eeuw het empirisme in Engeland voortstuwde, zich kritisch uitliet over de status van oorzaak-gevolg relaties en ook vandaag de dag nog door velen als een scharnier- en ijkpunt in het denken over causaliteit wordt beschouwd. Die kritiek op causaliteit werd in het begin van de twintigste eeuw nog krachtiger verwoord door Bertrand Russell in zijn beroemde *On the notion of cause* uit 1905 en zou in de jaren na Wrights publicatie culmineren in het logisch-positivisme van de Wiener Kreis, dat de zintuigelijke waarneming als de enige kenbron van de waarheid beschouwde, metafysica als betekenisloos bestempelde en causaliteit in het gunstigste geval obsoleet achtte, een overbodige kantiaanse categorie uit de hoogtijdagen van het achttiende-eeuwse determinisme. Die houding typeerde mutatis mutandis ook de net opgekomen statistiek, die een stevige opmars maakte in de wetenschappen en daar een probabilistische wending in gang had gezet (Kruger, 1987, 1990). Statistici als Galton en Pearson waren biometrici van het eerste uur en met name Pearson rekende in zijn filosofische *The Grammar of Science* hardhandig af met causaliteit en determinisme (Pearson, 1892).

Uiteraard bleef de biometrische aanpak niet onweersproken. Met name genetici hekelden een reductie van biologie tot statistiek en meenden dat hiermee de aandacht voor (fysiologische) werkingsmechanismen en (deel)processen in wetenschappelijke beschrijvingen en verklaringen naar de achtergrond werd gedrongen. Om recht te doen aan deze mechanismen, zochten de meeste genetici evenwel toch vooral hun heil in het streven

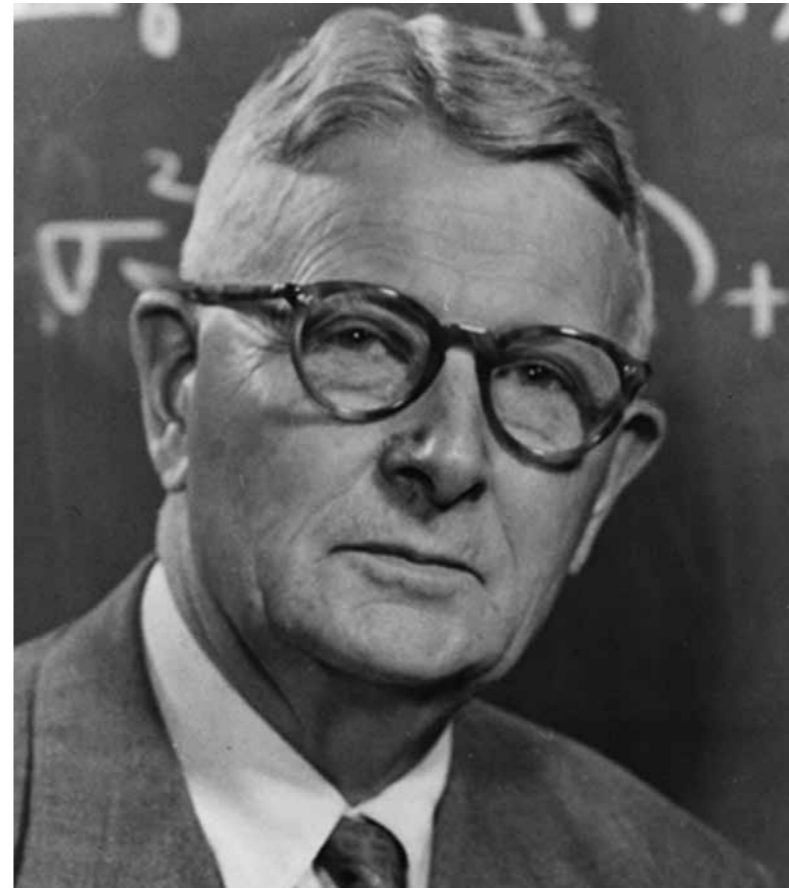
naar een volwaardige experimentele methodologie in plaats van terug te grijpen op een archaische, verdachte en methodologisch nauwelijks ontwikkelde notie van causaliteit. Die experimentele methodologie, door Wright zelf beschouwd als de 'ideale methode', was op dat moment nog volop in ontwikkeling en zou onder meer leiden tot variantieanalyse en *experimental design*. Ook hier had Fisher het voortouw genomen en hij zou de eerste resultaten optekenen in zijn populaire, op wiskundig ongeschoolde empirische onderzoekers gerichte *Statistical Methods for research workers* uit 1925 en later vooral in *The Design of Experiments* uit 1935. Ook Wright was in de eerste plaats empirisch onderzoeker en het publiek dat hij moest overtuigen was veeleer geïnteresseerd in realistische toepassingen van een constructieve methodologie en uiteraard minder in *armchair philosophy* of epistemische beschouwingen over oorzakelijkheid. Dat causaliteit het domein van de speculatieve filosofie verre oversteeg en bovendien allerm minst noodzakelijkerwijs met determinisme verbonden was, zou voor velen pas veel later duidelijk worden, toen probabilistische benaderingen van oorzaak-gevolg relaties wel degelijk mogelijk bleken. Weliswaar publiceerde de wiskundige Hans Reichenbach (1891–1953) – paradoxaal genoeg zelf logisch-positivist van het eerste uur – reeds in 1923 een belangrijk artikel met de omineuze titel *The principle of causality and the possibility of its empirical confirmation*, maar hij gaat daarin toch vooral in op de causale duiding van natuurwetten, die in 'symmetrische' wiskundige formules zijn beschreven. Pas in zijn beroemde, postuum gepubliceerde *The Direction of Time* uit 1956 wordt de probabilistische, 'asymmetrische' benadering van causaliteit volledig uitgewerkt. In diezelfde periode verscheen *A theory of causality* (1959) en *A causal calculus I and II* (1961) van de hand van de statisticus Irving John Good (1916–2009), die een fysische conceptie van toeval hanteerde, gebaseerd op Poppers propensity-benadering van het kansbegrip. De belangrijkste pionier vanuit filosofisch perspectief is wellicht Patrick Suppes (1922–2014) wiens *A probabilistic theory of causality* uit 1970 een moderne klassieker werd. We zijn dan wel ongeveer een halve eeuw verwijderd van Wrights vroege werk en het feit dat vandaag de dag nagenoeg alle formele benaderingen van causaliteit probabilistisch zijn, is in het licht van het voorgaande wellicht ironisch, maar toch zeker veelzeggend.

Duidelijk is dat Wright een statement wilde maken en wellicht heeft hij de uiteenlopende reacties ook onder-

schat (Denis, 2006). Zo ontstond onmiddellijk een forse en onaangename polemiek met de bioloog Henry E. Niles, die stelde dat de aanpak om a priori een causaal schema of paddiagram te tekenen geen filosofische basis had, de methode van padcoëfficiënten daarmee *faulty* was en toepassing ervan enkel kon leiden tot resultaten die *wholly unreliable* waren (Niles, 1922, 1923), (Wright, 1923). Tegelijkertijd werden Wrights ideeën al spoedig opgemerkt buiten de lifesciences, onder meer door de enigszins vergeten ontwikkelingspsycholoog Barbara Burks (1902–1943), die vooral onderzoek deed in het kader van het klassieke nurture-versus-nature debat. In haar statistische werk bouwde zij voort op Wright en toonde onder meer aan dat de partiële correlatie en de determinatie-coëfficiënt tekortschoten bij het analyseren van causale verbanden (Burks, 1926). Het is geen toeval dat Judea Pearl (1931), de meest uitgesproken hedendaagse protagonist van causal inference nog vrij recentelijk in zijn *The Book of Why; the new science of cause and effect* (2018) naast Sewall Wright vooral ook Barbara Burks roemt als één van de pioniers van wat hij zelf beschouwt als de Causale Revolutie. Voor Sewall Wright was een dergelijke rehabilitatie niet nodig, al zou het lang duren voordat zijn methode echt werd onderkend en toegepast. Met name de vraag of de padmodellen causale uitspraken toelieten zorgde voor vele debatten en misverstanden, waarvan Pearl er een aantal in zijn boek de revue laat passeren. Hoe dan ook, de problematische receptie van Wrights werk past in de moeizame samenspraak tussen statistiek en causaliteit in de afgelopen honderd jaar (Starmans, 2018).

Sociale feiten en latente variabelen

Toch zouden de ontwikkeling en toepassing van padmodellen na de Tweede Wereldoorlog in een stroomversnelling geraken buiten de lifesciences en – opmerkelijk genoeg – vooral in de economie en sociale wetenschappen, dikwijls in het licht van observationele studies en de mogelijkheden en onmogelijkheden daarin causale relaties te postuleren of aan te tonen. Dat begon in de vroege jaren vijftig met het werk van onder meer de economen Herman Wold (1908–1992) en Herbert Simon (1916–2001). Wold publiceerde in 1954 zijn paper *Causality and Econometrics*, waarin hij een bijkans wijsgerige fundering van de problematiek schetst en enige jaren later onder meer *Econometrics as Pioneering in Nonexperimental Mo-*



Sewall Wright

del Building (1969). Daarbij bouwde hij voort op de padmodellen van Wright, die hij en anderen typeerden als structural equations models en systems of simultaneous equations, waaraan de econoom Trygve Magnus Haavelmo al had gewerkt. Herb Simon publiceerde eveneens in 1954 zijn beroemde *Spurious Correlation; a causal interpretation* en ontwikkelde, voortbouwend op Wold een procedure waarbij telkens wanneer een pijl uit het paddiagram wordt weggelaten een testvergelijking ontstaat, die uitdrukt dat een partiële correlatiecoëfficiënt gelijk is aan nul. Ofschoon Simon pionierswerk verrichtte in economie, informatica, AI en cognitive science (Simon, 1957) was het vooral de methodoloog Herbert Blalock die in de vroege jaren zestig in het kielzog van Simon een en ander toepaste binnen de sociale wetenschappen, waar eveneens de sluimerende causaliteitsproblematiek inzake observationele data speelde. Zijn *Causal inferences in nonexperimental research* uit 1961 geeft een diepgaande analyse van de problematiek en de zogenaamde Simon-Blalock methode vormde de basis voor vele uitbreidingen, waaronder de populaire Baron-Kelly methode voor mediation uit de jaren tachtig, volgens Pearl vaker geciteerd dan Albert Einstein en Sigmund Freud. Hoe dan ook, padana-

lyse duikt op in nagenoeg elke inleiding tot de methodologie van de sociale wetenschappen, wanneer de invloed van een derde variabele wordt onderzocht als eerste stap bij de bespreking van confounding (*spurious correlation*), van effectmodificatie c.q. statistische interactie en uiteraard van mediation analysis, waarbij directe en indirecte effecten in het belang van het zoeken naar een (causaal mechanisme) worden beschreven.

Een volgende impuls voor de ontwikkeling van padmodellen vond plaats in de jaren zeventig en komt eveneens voort uit de sociale wetenschappen, waar dikwijls wordt geredeneerd met niet-gemeten grootheden, theoretische (multidimensionale) constructen en latente variabelen, die met behulp van multiple indicatoren worden gerepresenteerd. Dit ging reeds terug tot de negentiende-eeuwse sociologie, toen Emile Durkheim van de sociologie een exacte wetenschap wilde maken, gebaseerd op zogenaamde 'sociale feiten', die niet reduceerbaar zijn tot individuele entiteiten, hun eigenschappen, attitudes, preferenties of handelingen. Het ging dus om generalisaties en abstracties van die entiteiten, die bovendien doorgaans zijn ingebed in groepen, hetgeen onder meer leidde tot multilevel benaderingen. Nu waren uiteraard Pearsons Principale Componenten Analyse (1905), Spearman's factoranalyse (1904) en Hotelings canonische correlatie (1936) als modellen voor analyse en constructie van latente variabelen al genoegzaam bekend, maar nog nauwelijks geïntegreerd met padmodellen. Vooral met het werk van Karl Gustav Jöreskog zouden de padmodellen worden uitgebreid tot echte SEM-modellen, dankzij zijn Linear Structural Relations System, (Jöreskog, 1973) kortweg LISREL, dat ook de naam zou vormen van het meest gebruikte statistische pakket voor SEM-analyse, later gevolgd door AMOS en EQS. Dat leidde tot technieken als *confirmatory factor analysis* en *partial least squares path modeling*, waarbij allerlei beperkingen van de klassieke padmodellen werden ondervangen; latente variabelen, cyclische, niet-recursieve verbanden en correlaties tussen *error terms* konden nu eenvoudig worden gemodelleerd en maakten SEM na de introductie van grafische interfaces toegankelijk voor alle *researchworkers*, tot wie Fisher zich indertijd ook had gericht. Naast Blalock waren het onder meer Lazarsfeld, Coleman en vele anderen die hiermee furore maakten, niet in de laatste plaats de Franse socioloog Raymond Bourdon, die mede vanuit deze padmodellen zijn dependency analyse ontwikkelde. Het vormde een opmaat tot verschillende, veelal grafische methoden

voor de conceptuele analyse van complexe, abstracte begrippen en processen, waarbij afhankelijkheden, interacties en andere relaties tussen variabelen worden ontrafeld (sociale actortheorie, netwerkanalyse, conceptuele grafen en semantische netwerken in informatica en AI, etc). Het *Verstehen* en *Erklären* daarvan – om met Wilhelm Dilthey te spreken – kan dan verlopen volgens een triptiek van allereerst *transparantie*, vervolgens *interpreteerbaarheid* en tot slot *verklaring*, waarmee een belangrijke hedendaagse toepassing van Wrights oorspronkelijke ideeën in het vizier komt in tijden van data science en AI.

Explainable AI en de menselijke maat

Het streven van AI een ‘verklarende’ wetenschap in de ruimste zin van het woord te maken was al aanwezig bij de ontwikkeling van traditionele regel-gebaseerde expertsystemen in de jaren tachtig (Buchanan, 1984), maar ook in de jaren negentig bij integratieve statistische benaderingen om het gedrag van complexe AI-systemen te beschrijven, te beoordelen, te voorspellen, maar bovenal causaal te verklaren en zeker ook te generaliseren naar nieuwe contexten (Cohen, 1995). Hedendaagse autonome systemen moeten daarbij ook meta-redeneren, kunnen verklaren, beargumenteren en rechtvaardigen (en dus in ruimere zin communiceren) waarom een bepaalde conclusie is getrokken, een bepaalde beslissing is genomen, een bepaalde keuze is gemaakt of een bepaalde actie is uitgevoerd. Idealiter verloopt dit eveneens volgens het genoemde drieliuk van eerst transparantie, dan interpreteerbaarheid en vervolgens Explainable AI, die uiteindelijk moet leiden tot *Trust*, *Fairness* en *Responsible AI*, de zorgen in de samenleving wegneemt en dus een essentiële voorwaarde vormt voor het welslagen van het project van de AI. In 2019 constateerde de Australische informaticus Tim Miller in zijn artikel *Explanation in artificial intelligence; Insights from the social sciences* dat de focus op verklaringen in de AI weliswaar een heropleving beleefde, maar een louter technologische invalshoek kent (Miller, 2019) waarbij de omvangrijke sociaalwetenschappelijke literatuur grotendeels wordt genegeerd. Wie het gedrag van artificiële *agents* wil harmoniseren met het gedrag van menselijke *agents*, doet er goed aan te rade te gaan bij sociale wetenschappers die studie hebben gemaakt van de wijze waarop ‘people define, generate, select, evaluate and present explanations’, welke bias daarbij optreedt,

welke verwachtingen er worden gewekt en welke sociale interactie daarbij optreedt. De auteur voerde daarom een uitvoerige literatuurstudie c.q. survey uit naar de ‘philosophical, cognitive and social foundations of explanation with an emphasis on everyday explanation’. De belangrijkste bevindingen laten zich evenwel kort samenvatten. Zo zijn verklaringen volgens Miller in de eerste plaats contrastief, dat wil zeggen dat de vraag ‘waarom A’, eigenlijk impliceert ‘waarom niet B en niet C’. In de tweede plaats zijn verklaringen dikwijls selectief en biased. Men stelt zich tevreden met een of twee oorzaken, die als ‘de verklaring’ worden aangemerkt en overtuigend heten te zijn zonder het gehele proces of mechanisme c.q. overige variabelen in ogenschouw te nemen. Daarnaast zijn volgens de auteur probabilistische aspecten ondergeschikt, mensen lijken waarschijnlijkheidsaspecten ten onrechte te negeren of niet goed te begrijpen, maar bij het geven of beoordelen van verklaringen terug te vallen op kwalitatieve (causale) benaderingen en kwalificaties. Tot slot benadrukt hij het sociale karakter van verklaringen, het gaat in feite om een bepaald discours, een dialoogvorm, of taalspel en een linguïstisch, argumentatief perspectief is daarbij essentieel.

Deze focus op de *homo mensura* of menselijke maat door Miller is belangwekkend en lovenswaardig, al zijn enige kanttekeningen op zijn plaats. Zo vermijdt de auteur bewust de omvangrijke literatuur over causaliteit. Dat is vreemd omdat verklaringen, causaliteit en wetmatigheden/natuurwetten nauw verbonden zijn en dikwijls in hun onderlinge samenhang worden geïntroduceerd en besproken. Meer in het bijzonder negeert hij belangrijke filosofische inzichten over verklaringen, een notoir en grillig begrip, dat vele verschijningsvormen kent en een lange geschiedenis heeft doorlopen. Daarnaast moet worden opgemerkt dat veel van Millers bevindingen al genoegzaam bekend waren door het werk van psychologen als Kahnemann en Tversky uit de jaren zeventig, taal filosofen als Wittgenstein, Austin en Searle. Dat geldt ook voor het door de reeds genoemde Reichenbach gemaakte onderscheid tussen de *logic/context of discovery* en de *logic/context of justification*. Wetenschapsfilosofen moesten zich primair met de tweede categorie bezighouden. Kort gezegd is de wijze waarop c.q. het pad waarlangs wetenschappelijke resultaten tot stand komen schimmig, wisselvallig, onsystematisch niet te doorgronden (gebaseerd op deels onbewuste processen, dromen of vergissingen) en in wezen irrelevant. De context of justification

betreft de uiteindelijk verantwoording, rechtvaardiging en geaccepteerde presentatie van de resultaten en dit is voor de voortgang van de wetenschap en het begrip daarvan relevant. Dit principe is ook van toepassing op menselijke experts, die veeleer hun keuzes, beslissingen en acties moeten rechtvaardigen en toelichten, dan de indruk te wekken volledig toegang te hebben tot de gevolgde denkprocessen, intenties of redeneerstappen. Waarom zou men de artificiële agent dan niet toestaan in eenzelfde taalspel deel te nemen als zijn menselijke tegenpool? (Starmans, 2021)

Belangrijker dan deze kritiek is evenwel het feit dat bij de reconstructie van verklaringen in het licht van Millers inzichten de methodiek die met de padmodellen van Wright in gang is gezet een belangrijke rol speelt, eerst wat betreft de transparantie (de selectie van relevante variabelen en begrippen), dan de interpretatie van verwante concepten en hun relaties en tot slot verklaringen die recht doen aan de genoemde randvoorwaarden van de menselijke informatieverwerking. Daarbij kan men nog een stap verder gaan. Volgens Pearl, wiens methode feitelijk een uitbreiding is van de padanalyse en SEM met innovaties als backpropagation, do-operator en een uiteindelijke counterfactual interpretatie van causaliteit, is deze aanpak noodzakelijk om de problemen waarmee de AI worstelt het hoofd te bieden. Wil men de schaduwzijde van Deep Learning compenseren en uiteindelijk het project van de Sterke AI redden, dan biedt deze grafische methode voor causal inference uitkomst, aldus de auteur, die hierover in het slothoofdstuk van *The Book of Why* geen enkel misverstand laat bestaan.

Een tweetal opmerkingen tot slot. Allereerst blijkt dat het erfgoed van Sewall Wright honderd jaar later nog niets aan relevantie heeft ingeboet. Klassieke technieken als PCA en regressieanalyse mogen dan nog steeds hoog op ranglijsten van meest populaire machine learning algoritmes staan, de ‘methode der padcoëfficiënten’ speelt in tijden van data science en big data een andersoortige, maar eveneens belangrijke rol. Ook illustreert de hier uiteraard summier geschetste ontwikkelingsgang van Wrights methode hoezeer vooruitgang in de wetenschap dikwijls toch veeleer evolutionair dan revolutionair verloopt. Dat blijkt ook uit het proefschrift dat Jerzy Neyman in 1923 verdedigde, twee jaar na het verschijnen van Wrights artikel, waarin de ruwe contouren van de *potential outcome/counterfactual* benadering van Donald Rubin uit de jaren negentig al bespeurbaar zijn. Daarmee is het fundament van twee

dominante hedendaagse probabilistische benaderingen van causaliteit (Pearl en Rubin) reeds in de vroege jaren twintig van de vorige eeuw gelegd.

LITERATUUR

- Blalock, H. M. (1961). Correlation and causality: The multivariate case. *Social Forces*, 39, 246–251.
- Blalock, H. M. (1964). *Causal inferences in nonexperimental research*. University of North Carolina Press.
- Buchanan, B., & Shortliffe, E. (1984). *Rule-based expert systems; The MYCIN experiments in the Stanford Heuristic Programming Project*. Addison-Wesley.
- Burks, B. S. (1926). On the inadequacy of the partial and multiple correlation technique. *Journal of Educational Psychology*, 17(8), 532–540.
- Cohen, P. (1995). *Empirical Methods for Artificial Intelligence*. MIT Press.
- Daniel J. D., & Legeurski, J. (2006). Causal Modeling and the Origins of Path Analysis. *Theory and Science*, 7(1).
- Jöreskog, K. G. (1973). A general method for estimating a linear structural equation system. In A. S. Goldberger & O. D. Duncan (Eds.), *Structural Equation Models in the social sciences* (pp. 85–112). Academic Press.
- Krüger, L., Daston, L., & Heidelberger, M. (Eds.). (1987). *The probabilistic revolution; Volume 1: Ideas in history*. MIT Press.
- Krüger, L., Gigerenzer, G., & Morgan, M. (Eds.). (1990). *The probabilistic revolution; Volume 2: Ideas in the sciences*. MIT Press.
- Niles, H. E. (1922). Correlation, causation and Wright’s theory of ‘path coefficients’. *Genetics*, 7, 258–273.
- Niles, H. E. (1923). The method of path coefficients: An answer to wright. *Genetics*, 8, 256–260.
- Pearson, K. (1892). *The Grammar of Science*. Walter Scott. Dover Publications.
- Simon, H. A. (1957). *Models of man*. Wiley.
- Starmans, R.J.C.M. (2018). Statistiek en Causaliteit; voortgang van een moeizame samenspraak. *STAtOR*, 19(4).
- Starmans, R. J. C. M. (2020). Prometheus unbound or Paradise regained; The concept of causality in the contemporary AI-data science debate. *Journal of the French Statistical Society*, 161(1), 4–41, special issue on causality.
- Starmans, R. J. C. M. (2021). Over de breekbaarheid van het Goede; toeval, moraal en de reikwijdte van een verklarende wetenschap. *Tijdschrift Filosofie*, 31(2).
- Wright, S. (1923). The theory of path coefficients: A reply to Niles’s criticism. *Genetics*, 8, 239–255.

RICHARD STARMANS is verbonden aan de Faculteit Bèta-wetenschappen (Department of Information and Computing Sciences) van de Universiteit Utrecht en aan Tilburg University. Hij doet onderzoek op het snijvlak van filosofie, statistiek en informatica.
E-mail: starmans@cs.uu.nl