

Grete Hermann

1935

De Duitse filosoof en wiskundige Grete Hermann wordt de laatste jaren steeds vaker genoemd als pionier op het gebied van de interpretatie van de quantummechanica. Het gaat dan met name over het ontkrachten van een bewijs van John von Neumann. Minder bekend is dat ook haar radicale relationele interpretatie uit 1935 van deze theorie nog steeds relevant is.

Als eerste behandel ik vooral de fysische aspecten van het werk van Grete Hermann. Deze worden geplaatst in de context van haar leven en de ontwikkelingen in de natuurkunde in de jaren dertig van de vorige eeuw. Verder ga ik in op de receptie van haar werk en op het feit dat het zo lang genegeerd is.

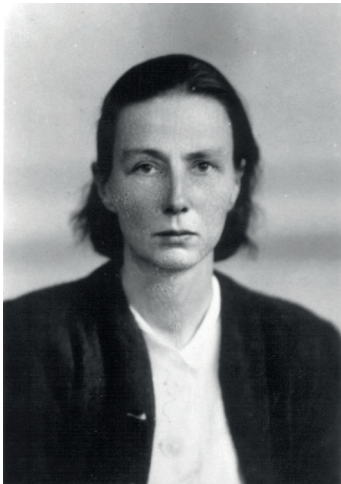
Studie en werk bij Leonard Nelson

Grete Hermann werd geboren in 1901 en groeide op in een middenstandsgezin in Bremen [1]. In 1921 ging ze wis- en natuurkunde en filosofie studeren in Göttingen. Ze studeerde bij Emmy Noether (onder meer bekend door haar stelling dat elke continue symmetrie een behoudswet impliceert). Hermann schreef haar dissertatie over *Die Frage der endlich vielen Schritte in der Theorie der Polynomideale* (1925), waarmee ze een pionier was van de computationele algebra. Filosofiecolleges volgde ze bij Leonard Nelson (1882-1927). Hij was een neokantiaan, die zich bezighield met het belang van de denkbeelden van Immanuel Kant (1724-1804) in de twintigste eeuw. Nelson was met name geïnteresseerd in ethiek en onderhield goede relaties met wis- en natuurkundigen zoals David Hilbert. In de praktijk resulteerde zijn sterk ethische houding in een vorm van socialisme dat hij uitdroeg via socratische gesprekken, waarin de toehoorder zelf tot het juiste inzicht moest komen. De religieus opgevoede Hermann had daar aanvankelijk moeite mee, maar ging uiteindelijk volledig met hem mee. Voor haar onderwijsbevoegdheid filosofie schreef ze een scriptie over het transcendentiaal idealisme, de filosofie van Kant. Hierna, in 1926, werd ze assistent van Nelson naast Minna Specht (1879-1961). Ze sloeg een aanbod van Noether af om haar assistent te worden, tot Noethers misnoegen: “Plotseling ontdekt ze haar filosofische hart”. Na de dood van Nelson in 1927 continueerde Hermann zijn werk samen met Specht. Het ging hier niet alleen om wetenschappelijk werk maar ook om bezigheden aan verschillende instituten die Nelson samen met Specht had opgericht, zoals het Landerziehungsheim Walkemühle – een school op idealistische inslag – en de Internationaler Sozialistischer Kampfbund. Hermann en Specht zouden daarna het grootste deel van hun leven samen zijn tot Spechts dood in 1961, zij het met onderbrekingen. De eerste onderbreking was in 1933, toen Specht met de Walkemühle naar Denemarken uitweek omdat de nazi's de school sloten.

De grondslagen van de quantummechanica

Rond die tijd begon Hermann met het bestuderen van de quantummechanica. De vraag naar de rol van causaliteit in deze theorie was door verschillende fysici opgeworpen, onder anderen door Max Planck in *Die Kausalität in der Natur* (1933). Een aantal filosofen pakte die uitdaging op, onder meer omdat volgens Kant causaliteit een van de ordeningsprincipes (categorieën) van het menselijk verstand is. Hermann was een van hen en volgde daarin de neokantiaanse denkwijze van Nelson. Ze schreef een *draft*-versie van een artikel over dit onderwerp, die ze onder anderen naar Niels Bohr in Kopenhagen stuurde. Ze kreeg een kritische reactie van diens toenmalige assistent Carl Friedrich von Weizsäcker,

waarop ze besloot Leipzig te bezoeken om daar de kwestie met Heisenberg en Von Weizsäcker te bespreken. Gedrieën voerden ze uitgebreide discussies, waaraan Heisenberg in zijn autobiografie *Der Teil und das Ganze* (1969) een heel hoofdstuk wijdt. Hij laat haar daarin zeggen dat Kant niet kon voorzien dat atomen geen dingen zijn, maar deel van observationele situaties. “*We had the feeling that we had all learned a good deal about the relationship between Kant's philosophy and modern science.*” Hermann was in de discussies superieur aan alle andere filosofen, aldus Von Weizsäcker in een interview uit 1993. De neerslag van deze discussies en haar denken over het onderwerp resulteerden in 1935 in een groot artikel. Dit artikel, *Die naturphilosophischen Grundlagen der Quantenmechanik*, werd in 1935 gepubliceerd in de *Abhandlungen der Fries'schen Schule*, een tijdschrift opgericht door Nelson en genoemd naar de neokantiaanse filosoof Jakob Friedrich Fries (1773-1843). De motivatie voor het artikel, schrijft ze, is dat de ontwikkelingen in de moderne natuurkunde het nodig maken de fundamentele filosofie te herzien [2]. Haar uitgangspunt is dat de rol van causaliteit opnieuw moet worden bekeken, maar haar beschouwingen gaan verder dan dat. Eerst legt ze uit dat de onzekerheidsrelaties van Heisenberg, het niet gelijktijdig bepaald zijn van plaats en impuls, de vraag oproept of de quantummechanica wel compleet is. Kan de theorie niet worden uitgebreid met ‘nieuwe formules en regels’ (verborgen variabelen) die nauwkeurige voorspellingen weer mogelijk maken? John von Neumann had in zijn boek *Mathematische Grundlagen der Quantenmechanik* uit 1932 een bewijs gegeven dat dergelijke verborgen variabelen niet mogelijk zijn. Onder het kopje *The Circle in Neumann's Proof* laat Hermann zien dat zijn bewijs gebaseerd is op een aanname die weliswaar geldt binnen het formalisme van de bestaande quantumtheorie, maar niet algemeen is. Hij neemt aan dat voor elk ensemble de verwachtingswaarde van de som van twee grootheden gelijk is aan de som van de verwachtingswaarden van de twee grootheden. Maar, zoals Hermann opmerkt, in subensembles die op basis van de verborgen variabelen worden geselecteerd, hoeven niet dezelfde verwachtingswaarden te gelden, zodat ook de som niet dezelfde hoeft te zijn als in het oorspronkelijke ensemble. Later zal John Bell hetzelfde bezwaar aanvoeren in zijn artikel *On the problem of hidden variables in quantum mechanics*, gepubliceerd in 1966 [3]. Overigens impliceert het bewijs van Von Neumann wel dat het formalisme van de bestaande quantumtheorie compleet en consistent is. Hermann concludeert dat een quantumtheorie met verborgen variabelen best mogelijk is. Toch is het niet nodig deze te introduceren, want “*the features that determine the measurement result are already given in quantum mechanics itself*”. Ze wijst op het relatieve (we zouden nu zeggen: relationele) [4] karakter van de quantummechanica: gemeten waarden zijn altijd contextueel, relatief ten opzichte van het meetstelsel. Pas dertig jaar later zal deze afhankelijkheid van een meetuitkomst van de meetcontext – wat we nu contextualiteit noemen – verder worden uitgewerkt door Bell, Kochen en Specker. Hermann concludeert verder dat binnen de context van een meting de oorzaak van een meetwaarde ‘retrodictief’ kan worden teruggevonden. Deze invulling



Grete Hermann.

van het begrip causaliteit wordt overigens door de meeste filosofen niet gedeeld, omdat slechts de mogelijkheid, niet de noodzakelijkheid van een reconstructie wordt getoond. Als voorbeeld behandelt ze vervolgens de Heisenberg-microscop. Heisenberg introduceerde dit gedachtenexperiment in 1927 om zijn onzekerheidsrelaties aannemelijk te maken en in 1931 werkte Von Weizsäcker de theorie ervan rigoureuze uit. Hermann grijpt het voorbeeld aan om het relationele karakter van de quantummechanica duidelijk te maken. In het experiment wordt met een enkel foton de positie van een elektron bepaald met een detector in het beeldvlak van de microscop. Hoe scherper het elektron wordt afgebeeld op de detector, des te onbepaald is zijn impuls. Het is ook mogelijk de detector in het brandvlak van de microscop te plaatsen en zo de impuls van het elektron te meten (zoals in een opstelling die we tegenwoordig een Fouriermicroscop noemen, waarmee de impulsverdeling van elektronen in nanostructuren kan worden gemeten [5]). Voor deze meting geldt: hoe scherper de impuls kan worden bepaald, des te onbepaald is de positie. Hermann legt er de nadruk op dat, afhankelijk van de configuratie (context) van de meetopstelling, andere informatie wordt verkregen. Nieuw is dat ze ook het geval bespreekt waarin het foton zich op een willekeurige positie (buiten beeld- of brandvlak) bevindt: dan bestaat de totale golf functie van het systeem van foton plus elektron uit een lineaire combinatie van producten van golf functies voor foton en elektron. “Through this linear combination the light quantum and the electron are thus not described each by itself, but only in their relation to each other.” Dit is een vroege duidelijke beschrijving in de literatuur van wat we nu verstrengeling tussen twee deeltjes noemen (*entanglement*, een term die Schrödinger pas later in 1935 zal introduceren) [6]. In de twee eerder genoemde metingen kunnen we ook spreken van verstrengeling, namelijk van het foton met het meetinstrument – wat Hermann een relatie noemt. Ze concludeert uit dit voorbeeld dat de quantumtheorie aan zichzelf genoeg heeft om een dergelijk experiment te beschrijven en dat er geen verborgen variabelen nodig zijn.

Dit is radicaal anders dan in de klassieke beschrijving, een breuk die tot uiting komt in het door Niels Bohr geïntroduceerde begrip complementariteit. Recent merkte Guido Bacciagaluppi van de Utrechtse onderzoeksgroep History and Philosophy of Science op dat Hermann dit begrip beter dan Bohr uitlegt. Ze onderscheidt drie verschillende maar aan elkaar gerelateerde complementaire relaties: (a) de beschrijving als golf en deeltje, (b) de relatie tussen karakteristieke eigenschappen zoals plaats en impuls en (c) de complementariteit van de intuïtief klassieke beschrijving en het quantummechanisch formalisme, dat schijnbaar onverenigbare variabelen verenigt en het causale verloop van de natuur vastlegt. Omdat de fysicus via een intuïtief klassieke benadering het meetinstrument uitleest, is er altijd een ‘cut’ tussen de twee beschrijvingen. Hermann eindigt haar artikel met een hoofdstuk over de consequenties van dit alles voor de Kantiaanse filosofie: de quantummechanica leert ons dat de werkelijkheid niet door innerlijke eigenschappen, maar door relationele netwerken wordt bepaald. Een waarnemer ziet daar maar een deel van, afhankelijk van waar hij de ‘cut’ plaatst en dit leidt tot een ‘splitsing van de waarheid’. Hermann schreef in de periode 1935-1937 nog vervolgartikelen, waarin ze de discussie uitbreidt naar de Maxwelltheorie, “which detaches the wave picture from the presupposition of a material support”, en de relativiteitstheorie, die breekt met de intuïtie van tijd en ruimte. Maar de theorie van Kant zoals uitgewerkt door Fries blijft overeind, schrijft ze, in de zin dat “knowledge of nature does not adequately capture reality, but in an imperfect way only extracts relational structures from it”. Ook schreef ze twee artikelen waarin ze de interpretatie door andere filosofen van de quantumtheorie ter discussie stelt. In een bespreking van – het nu beroemde boek – *Logik der Forschung* (1934) van Karl Popper gaat ze in op zijn statistische interpretatie van de quantummechanica. Deze berust volgens haar op een misvatting, die negeert dat de onzekerheidsrelaties ook voor individuele systemen gelden. In een ander kort paper bekritiseert ze de neopositivist Moritz Schlick naar aanleiding van een lezing, uitgesproken in 1936 in Kopenhagen [7]. Hij beweerde dat causaliteit alleen binnen door de onzekerheidsrelaties gegeven marges kan bestaan en Hermann zet hier haar ‘retrodictieve’ interpretatie tegenover. Andere filosofische publicaties, zoals van Alexandre Kojève (1931), Émile Meyerson (1933) en Ernst Cassirer (1936) huldigden soortgelijke opvattingen en negeerden verstrengeling. Alleen Gaston Bachelard zag (in 1934) net als Hermann in dat een essentieel kenmerk van de quantummechanica is dat deze een samenhang tussen verschijnselen impliceert [8].

Verzet, ethiek en pedagogiek

Tijdens bovengenoemd werk woonde Hermann bij Specht in Denemarken, maar bleef ze naar Duitsland reizen. Daar ontmoette ze niet alleen genoemde fysici, maar ook haar vrienden van de socialistische ondergrondse om hen in socratische gesprekken de betekenis van verzet tegen de nazi's duidelijk te maken. “Those were philosophical courses; they went deeper and were more vivid than any teaching I have ever done in my life.” In die tijd schreef ze tevens onder verschillende pseudoniemen voor het

tijdschrift *Sozialistische Warte*. Eind 1937 vertrok ze naar Londen, waar ze in 1938 in het huwelijk trad met Edward Henry. Hiermee kreeg ze de Britse nationaliteit; we zouden het nu een schijnhuwelijk noemen. Ze bleef in die jaren socratische gesprekken voeren met verzetslieden in ballingschap. In 1946 keerde ze terug naar Duitsland, aanvankelijk als lerares aan een middelbare school. Vanaf 1949 had ze een betrekking aan de Pädagogische Hochschule in Bremen en werkte ze mee aan de opbouw van het schoolsysteem van de Bondsrepubliek. Ze schreef nog enkele artikelen waarin ze haar inzichten over causaliteit toepaste op onderwerpen als vrije wil en ethische en politieke verantwoordelijkheid. Dit culmineerde in 1953 in wat wel haar filosofische hoofdwerk wordt genoemd, *Die Überwindung des Zufalls. Kritische Betrachtungen zu Leonard Nelsons Begründung der Ethik als Wissenschaft*. Hierin onderzoekt ze in hoeverre Nelson zijn streven waarmaakt om de mens te bevrijden van *the reign of chance* bij het nemen van morele beslissingen. In haar inleiding schrijft ze dat het helpt bij dergelijke ethische vraagstukken gebruik te maken van aspecten van de filosofie van de natuurwetenschappen “*which has emerged in modern physics and which has thrown new light on crucial issues and doctrines in critical philosophy*”. Ze houdt zich dus niet zozeer bezig met de ontwikkelingen van de natuurwetenschap zelf, maar met de toepassing van de methode ervan op de ethiek. Een van de problemen die ze bespreekt, is dat van de vrije wil. Als een onderzoeker daar een deterministische beschrijving van wil geven, is dat niet alleen in strijd met de quantummechanica, maar, betoogt ze, kan ook de eigen gedachtegang van de onderzoeker niet in de berekeningen worden betrokken. Er is naast een causale beschrijving een – in de zin van Bohr – complementaire beschrijving nodig in termen van zelfonderzoek, zoals de socratische methode voorschrijft. In 1956 was ze van plan haar natuurwetenschappelijke kennis op te frissen aan het Max Planck instituut voor fysica waaraan Von Weizsäcker toen leiding gaf, maar uiteindelijk besloot ze dat pedagogiek belangrijker was en deed ze een sabbatical aan het Pedagogisch Instituut in Marburg. Van 1970 tot 1976 kwamen onder haar redactie de verzamelde werken van Nelson uit. Ze ging in 1966 met pensioen en overleed in 1984.

Receptie

Hoewel Heisenberg en Von Weizsäcker in de jaren dertig van de vorige eeuw de nodige aandacht besteedden aan het werk van Hermann, leek het vergeten te zijn tot eind vorige eeuw. Wel werd haar werk nog aangehaald door Victor Lenzen (1949) en door Paul Feyerabend (1954), maar in het algemeen was tijdens de Tweede Wereldoorlog en de Koude Oorlog de sfeer er niet naar zich bezig te houden met de interpretatie van de quantummechanica, die in de praktijk goed werkte (“*shut up and calculate*”). Dat veranderde pas in de jaren zestig met het werk van John Bell. Onafhankelijk van Bell hielden ook Simon Kochen en Ernst Specker zich met dezelfde problematiek bezig. In hun artikel *The Problem of Hidden Variables in Quantum Mechanics* (1967) verwijzen ze naar Hermanns artikel uit 1935 als ze het bewijs van Von Neumann bekritisieren. Pas in 1974 werd Hermanns artikel uitgebreid besproken, in *The Philosophy Of Quantum Mechanics* van Max Jammer. Hij gaat

uitgebreid in op haar tegenwerpingen tegen Von Neumann (al vindt hij haar claim van een cirkelredenering te sterk). Ook bekritisert hij haar begrip van retrodictieve causaliteit. Wel is hij onder de indruk van Hermanns radicale relationalisme. Na de geslaagde experimenten in de jaren zeventig en tachtig aan verstrengelde fotonen van Clauser en Aspect en medewerkers schreef David Mermin in 1993 zijn reviewartikel *Hidden variables and the two theorems of John Bell*. Hierin zegt hij naar aanleiding van het ‘bewijs’ van Von Neumann: “*A few years later Grete Hermann, 1935, pointed out a glaring deficiency in the argument, but she seems to have been entirely ignored*”. In 2018 schreef hij nog een uitgebreide uitleg over de juistheid van de argumenten van Hermann en Bell, nadat er twijfel was gerezen aan de geldigheid ervan [9]. Eind vorige eeuw kwamen de eerste geannoteerde vertalingen uit van Hermanns werk over de quantummechanica, in deze eeuw gevolgd door meer uitgebreide beschouwingen. In 2012 vond in Aberdeen (Verenigd Koninkrijk) de workshop Grete Hermann: Between Physics and Philosophy plaats, waar de implicaties van haar werk uitgebreid besproken werden [10]. Onder andere daar is gezocht naar een verklaring voor het feit dat het werk van Hermann zo lang onbekend is gebleven. Behalve de genoemde tegenzin tegen beschouwingen over interpretaties van de quantummechanica, speelde ook een rol dat haar belangrijkste artikel in een relatief onbekend tijdschrift werd gepubliceerd. Verder leek na de oorlog haar eigen interesse te zijn verschoven naar het toepassen van haar denkbeelden op ethiek en pedagogiek en heeft ze zich niet meer gemengd in discussies over quantummechanica. Daarnaast is geopperd dat het feit dat ze een vrouw is te maken heeft met de aanvankelijk geringe waardering. Ze kreeg misschien wel een schouderklopje van Heisenberg, aldus Mineke Bosch, hoogleraar moderne geschiedenis aan de Rijksuniversiteit Groningen, maar: “*Zolang vrouwen geen formele waardering krijgen, raken ze alsnog in de vergetelheid*” [11]. Het is goed dat Hermann en haar opvattingen over de quantummechanica aan de vergetelheid zijn onttrokken. Ze vormen een welkom richtsnoer in het woud van interpretaties!

REFERENTIES EN NOTEN

- 1 De gegevens zijn grotendeels ontleend aan de in referentie 10 genoemde bundel.
- 2 Van de meeste artikelen van Hermann zijn Engelse vertalingen voorhanden. Een aantal verschenen in referentie 10.
- 3 Bell geeft als voorbeeld een spin $\frac{1}{2}$ die in twee richtingen gemeten wordt en laat zien dat in dit geval verborgen variabelen gedefinieerd kunnen worden.
- 4 De relationele quantummechanica van Rovelli is op soortgelijke beschouwingen gebaseerd, zie: Carlo Rovelli, *Helgoland* (2021).
- 5 I. Sersic, C. Tuambilangana en A.F. Koenderink, *Fourier microscopy of single plasmonic scatterers*, *New Journal of Physics* 13, 083019 (2011).
- 6 Aanleiding was het artikel uit 1935 van Einstein, Podolsky en Rosen over de vermeende incompleetheit van de quantummechanica. Zie: Herman de Lang, *Quantumverstrengeling*, *NTvN* 80-6, 190 (2014).
- 7 Schlick was zelf niet aanwezig op het Zweiter Internationaler Kongress für Einheit der Wissenschaft, juni 1936 te Kopenhagen, maar werd tijdens het congres in Wenen vermoord door een nazi.
- 8 Bachelard zou deze notie van samenhang tussen verschijnselen later uitwerken tot zijn theorie van *phénoménotechnique*.
- 9 N.D. Mermin en R. Schack, *Homer Nodded: Von Neumann's Surprising Oversight*, *Foundations of Physics* 48, 1007 (2018).
- 10 Elise Crull en Guido Bacciagaluppi (eds), *Grete Hermann – Between Physics and Philosophy*, Springer (2016).
- 11 Klein Douwel, *Grete Hermann, vrouwelijke quantumheld naast Bohr en Heisenberg, komt eindelijk in de geschiedenisboeken*, *de Volkskrant*, 26 maart 2021.