

Grundlagen der Quantenmechanik.

31

§ 7.

Der Zirkel in NEUMANNs Beweis.

Es fehlt indessen nicht an Bemühungen, solche Entdeckungen, die von neuem eine Chance für exakte Vorausberechnungen aller Messungsergebnisse liefern könnten, prinzipiell als unmöglich zu erweisen. Besonders weit durchgearbeitet ist dieser Beweis in NEUMANNs mathematischer Durchbildung des Formalismus.⁶ Eine eingehende Prüfung zeigt aber auch hier, daß diese mathematisch sonst einwandfreie Argumentation in ihren formalen Voraussetzungen eine der zu beweisenden These äquivalente Aussage ohne Begründung einführt. Sie ist in dem folgenden Ansatz enthalten: Es sei irgend eine Schar physikalischer Systeme gegeben, \mathfrak{N} und \mathfrak{S} seien physikalische Größen, die an den Systemen dieser Schar gemessen werden können; unter dem Erwartungswert von \mathfrak{N} ($\text{Erw}(\mathfrak{N})$) sei der Mittelwert der Messungsergebnisse verstanden, die sich bei einer \mathfrak{N} -Messung an allen Systemen der Schar einstellen, der Wert also, der als das wahrscheinliche Ergebnis einer Messung an irgend einem nicht näher bezeichneten Element der Schar physikalischer Systeme angesehen werden kann.

Die naturphilosophischen
Grundlagen der Quantenmechanik.

Von
Grete Hermann.



© Archiv der Friedrich Ebert Stiftung Bonn / Bad Godesberg Adsd. Signatur: 6/FOTA 189903

Grete Hermann

Eine Brückenbauerin zwischen Physik, Philosophie und Politik

Andrea Reichenberger

Grete Hermann war eine Pionierin in der mathematisch-physikalischen Grundlagenforschung. Mitte der 1930er-Jahre setzte sie sich intensiv mit Johann (John) von Neumanns Überlegungen zu verborgenen Variablen in der Quantenmechanik auseinander.

Grete Hermann wurde am 2. März 1901 in Bremen geboren. Sie studierte Mathematik, Physik und Philosophie in Göttingen und Freiburg und promovierte 1925 bei der Mathematikerin Emmy Noether mit einer Dissertation zur „Frage der endlich vielen Schritte in der Theorie der Polynomideale“. Nach ihrer Promotion arbeitete Grete Hermann als private Assistentin beim Philosophen Leonard Nelson, einem Freund und Kollegen David Hilberts. Nach Nelsons Tod 1927 veröffentlichte sie zusammen mit Minna Specht Nelsons Arbeiten und hielt Vorträge zu seinem Werk. Specht war eine führende Figur des Internationalen Sozialistischen Kampfbunds ISK, einer kleinen intellektuellen Elite aus Göttingen.

Daher war es kein Zufall, dass Grete Hermann ihre beiden wichtigsten Aufsätze zur Philosophie der Quanten-

mechanik in der von Nelson begründeten „Neuen Folge der Abhandlungen der Fries'schen Schule“ publizierte. Die heute antiquiert klingenden Titel der Aufsätze – „Die naturphilosophischen Grundlagen der Quantenmechanik“ [1] und „Über die Grundlagen physikalischer Aussagen in den älteren und den modernen Theorien“ [2] – behandeln zur damaligen Zeit hoch aktuelle Fragen nach dem revolutionären Charakter der Quantenphysik. Grete Hermann argumentierte in beiden Arbeiten, dass der Indeterminismus der Quantenmechanik zwar bedeute, dass sich die Ergebnisse einer Messung nur mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit vorausberechnen lassen. Daraus folge aber nicht, dass

Quantenphysikerinnen

Alle Beiträge dieser Serie finden sich online in einem Dossier unter folgendem Link: <https://pro-physik.de/dossiers/quantenphysikerinnen>.



quantenmechanische Vorgänge akausal bzw. nichtkausal seien. Die Nichtlokalität verschränkter Zustände und nicht die Widerlegung der Kausalität führe den Laplaceschen Determinismus der klassischen Mechanik ad absurdum [3]. Diese beiden Aufsätze Grete Hermanns entstanden in ihrem schriftlichen und mündlichen Austausch mit Werner Heisenberg, Carl Friedrich von Weizsäcker und anderen Kollegen während und bereits vor ihrem Aufenthalt im Heisenberg-Seminar im Sommersemester 1934 in Leipzig [4].

Im September 1934 nahm Grete Hermann am 8. Internationalen Kongress für Philosophie in Prag teil. Sie beteiligte sich an einer Diskussionsreihe zu spezifischen Themen der Philosophie. Am selben Ort fand als Satellitentagung zur Hauptveranstaltung der in der Philosophiegeschichte berühmt gewordene Erste Internationale Kongress für Einheit der Wissenschaft statt. Auf diesem lernte Grete Hermann Vertreter des Wiener Kreises kennen, darunter Moritz Schlick und Otto Neurath. Zwei Jahre später, vom 21. bis 26. Juni 1936, fand in Kopenhagen der Zweite Internationale Kongress für Einheit der Wissenschaft statt. Hermann war erneut unter den Teilnehmenden [5]. Niels Bohr, der Kopenhagen als Veranstaltungsort vorgeschlagen hatte, eröffnete den Kongress mit einer Begrüßung in seinem Haus. Er war es auch, der gemeinsam mit Philipp Frank in der ersten Rede das Rahmenthema des Kongresses, „Kausalität in der Physik und Biologie“, vorstellte.

Anfang September 1936 lud Grete Hermann selbst zu einer Tagung ein, die am Kaiser-Wilhelm-Institut für medizinische Forschung an der Universität Heidelberg stattfand und sich der naturphilosophischen Interpretation des physikalischen Erkennens widmete. Sie hatte die Tagung mit dem Ziel organisiert, den Dialog zwischen Physik und Philosophie zu fördern und Vertreter unterschiedlicher Disziplinen und Schulen zur vertieften Auseinandersetzung mit Fragen- oder Problemstellungen der aktuellen physikalischen Forschung zusammenzubringen, wie dies auch schon in Kopenhagen der Fall war. Die Ergebnisse der Heidelberger Tagung wurden im sechsten und letzten Band der Neuen Folge der Abhandlungen der Fries'schen Schule publiziert, deren Herausgeberschaft Grete Hermann gemeinsam mit dem Medizinnobelpreisträger Otto Meyerhof und Minna Specht übernommen hatte [6].

Die Reihe erschien im Verlag „Öffentliches Leben“, dessen Geschichte eng mit dem Widerstand des ISK gegen den Nationalsozialismus verbunden ist. Als aktives ISK-Mitglied publizierte Grete Hermann in den 1930er-Jahren unter verschiedenen Pseudonymen unter anderem in der antifaschistischen Zeitschrift „Der Funke“. Ihre Artikel bieten einem Sozialdarwinismus und einer Rassenideologie ebenso die Stirn wie einem Rechtspositivismus [7].

Wiederentdeckt als Kritikerin John von Neumanns

1934 ging Grete Hermann nach Dänemark, um dort ihre antifaschistische Arbeit und Tätigkeit an dem von Minna Specht und anderen dorthin verlagerten Landerziehungsheim Walkemühle auf Østrupgaard fortzusetzen. Zwei Jahre zuvor hatte John von Neumann mit seinem Buch „Die mathematischen Grundlagen der Quantenmechanik“

einen wichtigen Grundstein für die kanonische Formulierung der Quantenmechanik auf axiomatischer Basis gelegt [8]. Darin behandelte er auch die Frage, ob es möglich ist, „verborgene Parameter“ in die Quantenmechanik einzuführen. Bei nichtkommutierenden Observablen spielt die Reihenfolge der Messungen eine Rolle. Ohne gemeinsame Eigenzustände variieren die Messergebnisse mit der Reihenfolge der Messungen und streuen bei Wiederholungen. Von Neumann behauptete, dass unter der Voraussetzung des von ihm vorgeschlagenen Quantenformalismus eine Einführung verborgener Variablen nicht ohne Widerspruch möglich ist. Wenn diese existierten, ließen sich streuungsfreie Koordinatenzustände konstruieren. Solche Zustände sind jedoch im Hilbert-Raum-Formalismus der Quantenmechanik unmöglich.

Unter der Überschrift „Der Zirkel in Neumanns Beweis“ kritisierte Grete Hermann in ihrem 1935 publizierten Artikel den von Neumannschen Beweis [9]. Die Annahme der linearen Additivität der Erwartungswerte sei im Fall von nichtkommutierenden Observablen, die quantenmechanische Zustände charakterisieren, nicht gerechtfertigt. 2024 haben Robert Golub und Steven K. Lamoreaux – beziehungsweise auf Arbeiten von Dennis Dieks (2018), Pablo Acuña (2021) und anderen – von Neumanns Argumentation und auch Grete Hermanns Kritik detailliert analysiert [10]. Dabei stellten sie klar, dass von Neumann nicht behauptete, dass die lineare Additivität der Erwartungswerte eine notwendige Voraussetzung für die Ableitung dispersionsfreier (streuungsfreier) Zustände sei, vielmehr folgte sie aus der Annahme dispersionsfreier Zustände. Hermanns Kritik am Beweis von John von Neumann legte daher keinen Fehler in der Beweisführung offen, sondern zeigte vielmehr die Grenzen der Aussagekraft und Reichweite des von Neumannschen Beweises. Unmöglichkeitbeweise, die messtheoretische Aussagen betreffen, haben nur auf der mathematisch-formalen Basis Gültigkeit, von der ausgehend der Beweis geführt wird. In diesem Fall ist dies der Hilbert-Raum-Formalismus und Borns Wahrscheinlichkeitsinterpretation.

Rückblickend hatte Grete Hermann also recht, wie Dennis Dieks [10] bemerkt, dass die Annahme der Linearität der Erwartungswerte in der Quantenphysik für nicht-kommutierende Observablen nicht zu überprüfen und folglich nicht trivial ist. Denn für nicht-kommutierende Observablen kann (anders als in der klassischen statistischen Me-



Philosophisch-Politische Akademie Bonn

Grete Hermann um 1970

chanik) i. A. kein gemeinsamer Wahrscheinlichkeitsraum angegeben werden. Dieks kritisiert aber auch, dass Grete Hermann John von Neumann missverstanden hat. Denn von Neumann habe einen Beweis für die Additivität der Erwartungswerte physikalischer Größen gar nicht geben wollen, da es sich in seiner Argumentationsweise überhaupt nicht um eine Annahme, sondern um eine Schlussfolgerung handelte. Von Neumann sei davon ausgegangen, dass die so definierten linear verknüpften physikalischen Größen bijektiv linearen Operatoren in einem Hilbert-Raum zugeordnet sein sollten. Aus dieser Annahme schlussfolgerte von Neumann, dass, wenn es „streuungsfreie Scharen“ (dispersionsfreie Ensembles) gibt, in einer Theorie verborgener Variablen nicht alle physikalischen Größen des so definierten Systems Operatoren im Hilbert-Raum entsprechen können. Doch damit sind wir wieder an dem springenden Punkt angelangt, um den es Grete Hermann ging: John von Neumanns Argumentation ist zu restriktiv, als dass diese als prinzipieller Unmöglichkeitbeweis verborgener Variablen gelten könnte. Denn von Neumanns Axiomatik geht von einem bestimmten mathematischen Formalismus aus, dem die später als Kopenhagener Interpretation der Quantenphysik bekannt gewordene Deutung zugrunde liegt. Dass in dispersionsfreien Zuständen der Erwartungswert einer Variablen einer der Eigenwerte des entsprechenden Operators sein müsste, hat John S. Bell viel später, nämlich 1966, geltend gemacht [11], ohne die Arbeit von Grete Hermann zu kennen.

Als der deutsch-israelische Physiker und Wissenschaftsphilosoph Max Jammer Grete Hermann darüber zur Rede stellte, erwiderte sie ihm in einem Brief vom 11. April 1968, dass es ihr darum ging deutlich zu machen, dass es John von Neumann entgegen seiner Behauptung nicht gelungen sei nachzuweisen, dass Quantenphänomene akausal seien [12].

Emigration und Wirken nach dem Weltkrieg

Als das Landerziehungsheim Walkemühle 1938 aufgelöst wurde und das Lehrpersonal mit den Kindern und Jugendlichen nach Großbritannien emigrierte, folgte Grete Hermann nach. In London ging sie eine Scheinehe ein, um nicht wie Minna Specht als „feindliche Ausländerin“ interniert zu werden. Nach dem Krieg kehrte sie mit Specht nach Deutschland zurück und wirkte am Aufbau der Pädagogischen Hochschule Bremen mit, deren Leitung sie übernahm. Sie lehrte dort als Professorin für Philosophie und Physik und war zudem lange Vorsitzende der pädagogischen Hauptstelle der Gewerkschaft Erziehung und Wissenschaft.

Der Wiederaufbau und die damit verbundenen politischen und pädagogischen Verpflichtungen hinderten Grete Hermann nicht daran, am politischen Diskurs um die Risiken der Anwendung physikalischer Forschung im nuklearen Kontext und am philosophischen Diskurs um die Grundlagen der Physik teilzunehmen. Sie befürwortete die antinukleare Bewegung „Kampf dem Atomtod“ in den 1950er-Jahren in der Bundesrepublik und nahm mit einem Vortrag zu den Grundlagen der Quantenmechanik an den „Gesprächen von Zürich“ 1952 unter der Schirmherrschaft der UNESCO teil. Im Wesentlichen knüpfte Grete Hermann

dabei an das Thema „Die Kausalität in der Physik“ an [13], zu dem sie 1948 einen Beitrag verfasst hatte [14], der wiederum ihre Thesen der Vorkriegszeit aufgriff. In allen ihren Beiträgen ging es Grete Hermann dabei immer auch um das subtile Verhältnis von Ethik und Wissenschaft. Für sie ließen sich ethische Normen und Werte nicht durch wissenschaftliche Erkenntnisse verifizieren oder falsifizieren, sondern lagen der wissenschaftlichen Forschung zugrunde.

Grete Hermann fungierte von 1961 bis 1978 als Vorsitzende der Philosophisch-Politischen Akademie [15]. Sie starb am 15. April 1984 in ihrer Heimatstadt Bremen [16, 17].

Literatur

- [1] G. Hermann, *Abhandlungen der Fries'schen Schule*, N. F. 6:2, 69 (1935), auch in: [17], S. 204
- [2] G. Hermann, *Abhandlungen der Fries'schen Schule*, N. F. 6:3/4, 309 (1937), auch in: [17], S. 275
- [3] Weiterführend zu Grete Hermanns Argumentation: A. Reichenberger, in: P. Charbonneau et al. (Hrsg.), *Women in the History of Quantum Physics*, Cambridge University Press, Cambridge 2025, S. 309 [im Erscheinen]
- [4] S. Müller und H. Müller (Hrsg.), *In der Spannung zwischen Naturwissenschaft, Pädagogik und Politik: zum 100. Geburtstag von Grete Henry-Hermann*, Philosophisch-Politische Akademie e.V., Bonn 2001
- [5] G. Hermann, *Erkenntnis* 6:1, 342 (1936), auch in: [17], S. 273
- [6] A. Reichenberger, in: K. Hermann und B. Schwitzer (Hrsg.), *Der Geist der kritischen Schule*, Metzler, Berlin 2024, S. 271
- [7] K. Herrmann und B. Neißer (Hrsg.), *Grete Henry-Hermann: Sittlichkeit und Vernunft*, Springer, Wiesbaden 2023
- [8] J. von Neumann, *Mathematische Grundlagen der Quantenmechanik*, Springer, Berlin 1932
- [9] G. Hermann, *Abhandlungen der Fries'schen Schule*, N. F. 6:2, 69 (1935)
- [10] P. Acuña, *Euro. J. Phil. Sci.* 11:2, 1 (2021); D. Dieks, *Stud. Hist. Philos. Sci. B* 60, 136 (2017); R. Golub und S. K. Lamoureux, *Academia Quantum* 1:1 (2024)
- [11] J. S. Bell, *Rev. Mod. Phys.* 38, 447 (1966)
- [12] A. Reichenberger, *Physics Today* 77:9, 44 (2024)
- [13] A. Reichenberger, Appendix: Contribution to the Third Zürich Dialogue, April 20, 1951, Übersetzung des Manuskripts im Magdalena Aebi Nachlass, Zentralbibliothek Zürich, in [3], S. 328
- [14] G. Henry-Hermann, *Studium Generale* 1:6, 375 (1948)
- [15] I. Hansen-Schaberg, Prof. Dr. Grete Henry-Hermann (1901–1984), in: *Akten-Einsicht*, LIT Verlag, Berlin 2012, S. 104
- [16] E. Crull und G. Bacciagaluppi (Hrsg.), *Grete Hermann: Between Physics and Philosophy*, Springer, Dordrecht 2016
- [17] K. Herrmann (Hrsg.), *Grete Henry-Hermann: Philosophie – Mathematik – Quantenmechanik*, Springer VS, Wiesbaden 2019

Die Autorin

Andrea Reichenberger war bis Februar 2025 Vertretungsprofessorin für Technikgeschichte an der TU München und davor Nachwuchsforschungsgruppenleiterin am Department Mathematik an der Universität Siegen. Sie leitet derzeit ein DFG-Projekt (Projektnummer: 550233858) an der TU München, das zum Ziel hat, Beiträge von Frauen in der Geschichte der Quantenphysik sichtbar zu machen.



Andreas Heddergott / TU München

Dr. Andrea Reichenberger, TUM School of Social Sciences and Technology, Department of Science, Technology and Society, c/o Deutsches Museum, Museumsinsel 1, 80538 München