

Vom Atomkern zum kosmischen Wirbel

Dem Physiker, Philosophen und Friedensforscher Carl Friedrich von Weizsäcker zum 90. Geburtstag mit herzlichen Wünschen gewidmet

Helmut Rechenberg

Im Frühjahr 1929 schrieb der Abiturient Carl Friedrich von Weizsäcker dem ihm bekannten Werner Heisenberg wegen eines Philosophiestudiums. Dieser lud ihn nach Leipzig ein und riet: „Physik macht man am besten, wenn man jung ist, und in unserem Jahrhundert muß man die Natur durch die Physik deuten lassen. Philosophie aber, das findest du bei Platon, setzt einen reifen Menschen voraus, wohl fünfzig Jahre alt. Also studiere zunächst Physik.“ Von Weizsäcker folgte diesem Rat und sagte später: „Ich habe das nie bereut.“ [1].

Nach dem ersten Semester in Berlin wechselte er im Winter 1929/30 nach Leipzig und wurde bereits im folgenden Sommer in Heisenbergs theoretisches Seminar aufgenommen. Im Frühjahr 1931 vollendete er die Studie „Ortsbestimmung eines Elektrons durch ein Mikroskop“, in der er die Unbestimmtheitsrelation seines Lehrers mit Hilfe einer genaueren Betrachtung der optischen Abbildung und der Heisenberg-Paulischen Quantenelektrodynamik bestätigte [2]. 1932 begann er, sich mit „einer etwas langweiligen, aber nicht ganz leichten Doktorarbeit abzuquälen“, die er „nicht ohne Heisenbergs bergführerisches Ziehen und Schieben zur Zeit zu Ende geführt hätte“. Das Thema, „Durchgang schneller Korpuskularstrahlen durch ein Ferromagnetikum“, handelte von der Energiebestimmung der in der Höhenstrahlung auftretenden Elektronen und Protonen, und der Doktorand bewies im ersten Teil der Dissertation, dass die magnetische Induktion, nicht das Magnetfeld für die Messung wichtig ist, während er im zweiten einen einfachen Zusammenhang zwischen Bremsung eines Elektrons und der elektrischen Leitfähigkeit herstellte. „Die Arbeit ist klar und knapp geschrieben, mehrere hübsche anschauliche Überlegungen zeugen von einem klaren physikalischen Verständnis der quantenmechanischen Methoden“, rühmte der Lehrer und bewertete sie mit „Sehr gut“ [3].

Eine dritte Publikation mit dem Titel „Ausstrahlung bei Stößen sehr schneller Elektronen“ [4] ging aus Diskussionen in Kopenhagen hervor. Der Autor bewies das damals angezweifelte Ergebnis, dass die existierende Quantenelektrodynamik richtige Ergebnisse auch für Hochenergieprozesse liefern konnte. Wieder bediente er sich einer „anschaulichen Überlegung“ und zeigte durch entsprechende Lorentz-Transformationen, dass Kollisionen in der kosmischen Strahlung meist nur mit kleinem Energieaustausch einhergehen („Weizsäcker-Williams-Methode“). Damit beendete er seine Lehr- und Wanderjahre und kehrte als Assistent ans Heisenbergsche Institut zurück.

Theorie der Atomkerne und ihrer Kräfte

In den gemeinsam im Thüringerwald verbrachten Pfingstferien 1932 hatte von Weizsäcker erlebt, wie Heisenberg nach der Entdeckung des Neutrons eine quantenmechanische Theorie der Atomkerne entwickelte. Der Student hatte sich aber wegen seiner Doktorarbeit und dem anschließenden Aufenthalt in Kopenhagen nicht an ihrem Ausbau beteiligt. „Ich glaube, man muß versuchen, aus dem experimentellen Material in der nächsten Zeit die richtige Wechselwirkungsenergie zu finden, und muß dann erst versuchen, die Massendefekte darzustellen,“ schrieb Heisenberg im Oktober 1934 an Wolfgang Pauli. Er widmete sich damals dem ersten Teil des Programmes und überließ seinem neuen Assistenten den zweiten Teil, der es diesem ermöglichte, mit Studenten und Gästen im Leipziger Seminar zusammenzuarbeiten und sie anzuleiten [5].

Anfang Juli 1935 reichte von Weizsäcker seinen Artikel „Zur Theorie der Kernmassen“ als Publikation ein [6], in dem er von zwei empirischen Tatsachen ausging: (i) dem starken Ansteigen der Massendefekte (Packungsenergie) bei leichten Atomkernen mit wachsender Ordnungszahl; (ii) der stärkeren Bindung von Kernen mit gera-



Carl Friedrich von Weizsäcker (rechts) erklärt die Spinabhängigkeit der Kernkräfte. Links über ihm Wolfgang Kroll. Das Foto entstand 1935 vor dem Leipziger Institut in der Linnéstraße (Foto: Werner-Heisenberg-Archiv München).

der Protonen- oder Neutronenzahl. Zur Berechnung der Kernmassen ergänzte er die sog. „Thomas-Fermische Methode“ durch die Unbestimmtheitsrelationen und verwendete die exponentiell mit dem Abstand r abfallende Austauschkraft $J(r) = \exp(-br)$, dazu auch bei schweren Kernen die Coulomb-Kräfte. Er erhielt damit die Energieformel $E(Z, N) = E_V + E_O + E_Z$ (mit Z und N Protonen- bzw. Neutronenzahl), wobei er das erste Glied anschaulich als „Volumenenergie“ (im Wesentlichen proportional zu $N + Z$), das zweite als „Oberflächenenergie“ (proportional zu $(N+Z)^{2/3}$) und das letzte (proportional zu Z^2) als „Coulomb-Energie“ deutete. Diese Gleichung heißt heute „Bethe-Weizsäcker-Formel“, obwohl eigentlich Weizsäcker zuerst genannt werden sollte, denn Hans Bethe erhielt im Wesentlichen dieselben Ausdrücke erst in einem zusammen mit Robert Bacher ein dreiviertel Jahr später eingereichten Artikel [7].

Während mehrere Mitglieder des Leipziger Institutes von Weizsäckers Theorie erfolgreich anwandten, arbeitete der 23-jährige Assistent – ihm wurde auf dem Stuttgarter Physikertag im September 1935 ein Hauptvortrag über den „Bau der Atomkerne“ anvertraut – an seiner Habilitationsschrift „Über die Spinabhängigkeit der Kernkräfte“ [8], die Heisenberg am 23. Januar 1936 „zweifelloso als einen sehr wichtigen Beitrag zur Theorie der Atomkerne“ begutachtete. Der Au-

Dr. Helmut Rechenberg, Max-Planck-Institut für Physik, Föhringer Ring 6, 80805 München

tor führte relativistische spinabhängige Kräfte ein, ähnlich wie später seine Konkurrenten Bethe und Bacher in der zitierten Arbeit. Im Sommer 1936 verließ von Weizsäcker Leipzig und ging zu Debye nach Berlin an das Kaiser Wilhelm-Institut (KWI) für Physik. Bevor er in das neue Gebäude einziehen



Carl Friedrich von Weizsäcker um 1950 an seinem Schreibtisch im Göttinger Max-Planck-Institut für Physik (Foto: Werner-Heisenberg-Archiv München).

konnte, vollendete er sein erstes Buch *Die Atomkerne* (AVG, Leipzig 1937), das auch die erste Buchpublikation über die moderne Kerntheorie darstellte und den Namen des Autors in die wissenschaftliche Welt hinaustrug.

Die Kernfusion als Energiequelle der Sterne (1935–1938)

In Berlin wandte sich von Weizsäcker unverzüglich einem neuen wissenschaftlichen Thema zu, der Lösung des alten Problems der Energieerzeugung in Sternen. Seine Ergebnisse legte er in der großen zweiteiligen Veröffentlichung „Über Elementumwandlungen im Innern der Sterne“ vor [9]. Er ging zunächst aus von der „Aufbauhypothese“ Arthur Eddingtons, die er wie folgt erweiterte: „Die Temperatur im Sterninnern stellt sich so ein, daß Umwandlungen der leichten Kerne durch Wasserstoff möglich werden.“ Das heißt, gleichzeitig mit der Ausstrahlungsenergie sollen die zum Aufbau der schweren Elemente im Sterninnern notwendigen Neutronen automatisch erzeugt werden (S. 178). Der Autor behandelte dann thermisch angeregte „Umwandlungen“ leichter Kerne (Proton, Deuteron, Tritiumkern) nach dem neuen Tröpfchenmodell Niels Bohrs und untersuchte Reaktionsketten, die eine kontinuierliche Energieerzeugung ermöglichen. Er kam zu dem Ergebnis, dass zum einen die Temperaturen im Sterninnern ausreichen für entsprechende

Kernreaktionen, die vom Wasserstoff als Grundstoff ausgehen, und zum anderen die dabei auftretende Neutronenerzeugung zum Aufbau der schweren Elemente genügen.

Im zweiten, eineinhalb Jahre später eingereichten Teil seiner Veröffentlichung korrigierte von Weizsäcker teilweise seine früheren Vorstellungen. Insbesondere schloss er „die Möglichkeit nicht aus, dass chemische Elemente schon vor der Entstehung der Sterne, wie wir sie heute kennen, durch einen anderen Prozeß gebildet waren“. Er stellte fest, dass die Verknüpfung von Energieerzeugung der Sterne mit dem Aufbau der schweren Kerne „beim Versuch einer quantitativen Durchrechnung auf eine Reihe von Schwierigkeiten führt, die kaum überwindbar erscheinen“ (l.c., S. 633). Deshalb schlug er nun eine engere Fassung des „Aufbauprinzips“ vor, die die beiden Vorgänge in gewöhnlichen Sternen entkoppelt und vielleicht nur in massiven Sternen zulässt. Gleichzeitig gab er den in Teil I favorisierten Energie erzeugenden Reaktionszyklus (von H über D und Li zu He) auf, weil die dazu erforderlichen Zwischenkerne der Masse 5 sich als instabil herausgestellt hatten, und schlug den sog. „Kohlestoffzyklus“ vor, später „Bethe-Weizsäcker-Zyklus“ getauft: „Die Energiequelle des Sterns würde demnach zunächst in einem Abbau der Elemente unterhalb des Kohlenstoffs bestehen, und danach in dem angegebenen Zyklus.“ (l.c., S. 639) Falls das ^{12}C durch Nebenreaktionen abgebaut würde, stünde ersatzweise ein Sauerstoffzyklus bereit.

Gleichzeitig mit von Weizsäcker bemühte sich eine starke Konkurrenz in den USA um dieselben Fragen, namentlich die europäischen Emigranten Hans Bethe, George Gamow und Edward Teller. Vor allem Bethe führte in einer im September 1938 eingereichten Arbeit im Gegensatz zu von Weizsäcker detaillierte Rechnungen zum Kohlenstoffzyklus aus [10], die dazu beitrugen, dass er 1967 den Physik-Nobelpreis erhielt. In einem Interview von 1966 äußerte er sich recht kritisch zu den Untersuchungen des deutschen Wettbewerbers, wobei er dessen erstes Aufbauprinzip tadelte, ohne die zweite Arbeit zur Kenntnis zu nehmen [11]. Bei aller Wertschätzung der sorgfältigen Berechnungen Bethes sollte man von Weizsäckers unabhängige und

frühere Ideen als bedeutende Pionierleistungen zum Problem der Sternenergie und des Aufbaues schwerer Elemente im Kosmos angemessen würdigen.

Irdische Kernenergie und kosmische Sternsysteme (1939–1954)

Die Entdeckung der Urkernspaltung durch Otto Hahn und Fritz Straßmann vom benachbarten KWI für Chemie forderten den Kerntheorieexperten von Weizsäcker zweifach heraus. Zunächst wies er darauf hin, dass ein Modell des Institutskollegen Wilfried Welfelmeier, das starke Abweichungen von der bisher angenommenen Kugelform schwerer Kerne forderte, den früher für unmöglich gehaltenen Spaltungsprozess erklärten [12]. Sodann wurde er bei Kriegsausbruch zum geheimen Uranprojekt des Heereswaffenamtes eingezogen, das die großtechnische Kernenergieerzeugung untersuchte. Mit seinen Schülern studierte von

Carl Friedrich von Weizsäcker

- ▶ 1912 geboren am 28. Juni in Kiel; Vater Seeoffizier, Diplomat und Staatssekretär
- ▶ 1929–33 Studium in Berlin, Leipzig und Göttingen
- ▶ 1935 Promotion in Leipzig (unter Werner Heisenberg)
- ▶ 1935–34 Stipendiat bei Niels Bohr in Kopenhagen
- ▶ 1934–36 Assistent bei Heisenberg in Leipzig
- ▶ 1936 Juni: Habilitation an der U Leipzig
- ▶ 1936–42 Mitarbeiter von Peter Debye am Kaiser Wilhelm-Institut für Physik in Berlin (1936 einige Monate bei Lise Meitner am benachbarten KWI für Chemie)
- ▶ 1939–42 Mitarbeiter am geheimen deutschen Uranprojekt
- ▶ 1942–44 a. o. Professor an der U Straßburg
- ▶ 1945–46 in amerikanisch-britischer Internierung (Juli 45 bis Januar 46 im englischen Farm Hall)
- ▶ 1946–57 Leiter der Theorieabteilung am Max-Planck-Institut für Physik in Göttingen
- ▶ 1957–70 Professor für Philosophie an der U Hamburg
- ▶ 1970–80 Direktor des Max-Planck-Instituts zur Erforschung der Lebensbedingungen in der wissenschaftlich-technischen Welt, Starnberg

Weizsäcker theoretisch Anordnungen, die zu einem kritischen Reaktor führen sollten. Im Artikel „Die Möglichkeit der Energiegewinnung aus ^{238}U vom 17. Juli 1940 schloss er, dass man durch Anlagerung von Neutronen an das gewöhnliche Uranisotop eine neue spaltbare chemische Substanz gewinnen könne, die sich wie das seltene ^{235}U als „Kernsprengstoff“ verwenden ließe.

Während der Autor diese kern-technischen Kriegsarbeiten wohl zu Recht als ganz selbstverständliche Folgerungen aus der Hahn-Straßmannschen Entdeckung betrachtete, wandte er sich 1942 in Straßburg wieder wissenschaftlich grundsätzlichen astrophysikalischen Problemen zu. Im August 1943 legte er den umfangreichen Artikel „Über die Entstehung des Planetensystems“ vor [13]. Unter der Annahme, die Planeten seien aus einer um die Sonne rotierenden abgeplatteten Gasmasse hervorgegangen, die nur zu 1 % aus schweren Elementen bestand und sich in turbulenter innerer Bewegung befand, leitete er die Existenz von Konvektionsströmen ab, „welche bestimmte für die Planetenentstehung geeignete Stellen auszeichneten“ („Titius-Bode-Regel“, S. 319). Die Konvektionsströme würden auch den Drehsinn von Mondläufen und die Planetenrotationen erklären. Diese kosmogonischen Fragen – der Autor wandelte auf den Spuren des von ihm so verehrten Immanuel Kant – verfolgte er in den nächsten Jahren weiter. Dazwischen diskutierte er 1945 während der Internierung in Farm Hall mit Heisenberg eine physikalische Grundlage seiner astrophysikalischen Forschung: beide publizierten später ihre international anerkannten Beiträge zur Theorie der statistischen Turbulenz [14]. Anschließend untersuchte von Weizsäcker die Rotation kosmischer Gasmassen auf der Basis der physikalischen Turbulenztheorien und erhielt Ergebnisse etwa über die Größe von Spiralnebeln [15]. Die „Bemerkung über die Gestalt kugelförmiger Sternhaufen“ [16] beendete die Reihe der fruchtbaren wissenschaftlichen Publikationen des Leiters der Theorieabteilung in Heisenbergs Göttinger Max-Planck-Institut für Physik. Bevor der 45-jährige die Hamburger Philosophieprofessur annahm, hatte er einer deutschen Nachkriegsgeneration Wege in die Astro- und die Plasma-physik gewiesen.

Schlussbemerkung

Mit Absicht wurde hier die Bezeichnung Physik auf die im 19. und 20. Jahrhundert kanonisierten Gebiete und ihre Methoden beschränkt, und wir sind nicht auf von Weizsäckers durchaus wichtige Arbeiten über die logische Interpretation der Quantenmechanik oder die Bedeutung der Zeit eingegangen, die auf eine *Begründung* der konventionellen Physik abzielen. Die Weizsäckersche Naturphilosophie wäre das Thema eines neuen Aufsatzes, der seine Rolle in der Wissenschaft des 20. Jahrhunderts weiter befestigen würde. Während die Geduld zu detaillierten mathematisch-technischen Berechnungen vielleicht nicht zu den stärksten Veranlagungen dieses reich begabten Forschers zählte, richtete er das Hauptgewicht seiner Bemühungen auf die „Geschichte der Natur“ (so erfolgreiche Vorlesungen und ein Buch aus dem Jahr 1948). Hierin muss er freilich als einer der herausragenden Vertreter seiner Zeit gelten.

Literatur

- [1] C. F. v. Weizsäcker, Erinnerungen, Manuskript 2000, S. 18
- [2] Z. Phys. **70**, 114 (1931)
- [3] Heisenberg, Gutachten vom 2. 6. 1933
- [4] Z. Phys. **88**, 612 (1934)
- [5] Siehe H. Rechenberg, Die Theorie der Atomkerne in Leipzig, in C. Kleint und G. Wiemers, Werner Heisenberg in Leipzig 1927–1942, Akademie Verlag, Berlin 1993, S. 30–52.
- [6] Z. Phys. **96**, 431 (1935)
- [7] Rev. Mod. Phys. **8**, 81 (1936)
- [8] veröffentlicht in Z. Phys. **102**, 572 (1936)
- [9] Phys. Zeitschrift **38**, 176 (1937) und **39**, 633 (1938), eingereicht am 23. Januar 1937 bzw. 11. Juli 1938
- [10] Phys. Rev. **55**, 434 (1939)
- [11] J. Mehra und H. Rechenberg, The Historical Development of Quantum Theory, Band 6, Teil 2, Springer-Verlag, New York 2001, S. 991–999
- [12] Naturwiss. **27**, 133 (1939)
- [13] Z. Astrophys. **22**, 319 (1943)
- [14] z. B. C. F. v. Weizsäcker, Z. Phys. **124**, 614 (1948)
- [15] Naturwiss. **35**, 188 (1948)
- [16] Z. Astrophys. **35**, 252 (1955)