

Über die astrophysikalischen Arbeiten von Carl Friedrich von Weizsäcker

Reimar Lüst

Max-Planck-Institut für Meteorologie

Ich bin gebeten worden, über die Arbeiten zur Astrophysik von Carl Friedrich von Weizsäcker zu berichten. Bevor ich damit beginne, ist es vielleicht doch von Interesse, Ihnen zu schildern, auf welche Weise ich zu Carl Friedrich von Weizsäcker gekommen bin und damit auch seine astrophysikalischen Arbeiten kennenlernte.

Es kommt wahrscheinlich nicht oft vor, daß ein einziges Buch, als Student gelesen, die ganze wissenschaftliche Laufbahn eines Menschen, ja sein Leben bestimmt. Mir ist das so ergangen mit Carl Friedrich von Weizsäckers Buch "Zum Weltbild der Physik". Ich las es 1945 in einem Kriegsgefangenenlager in Texas, in dessen Lageruniversität ich begonnen hatte, Mathematik und Physik zu studieren. Ich war hingerissen von dem, was ich über "Die Physik der Gegenwart und das physikalische Weltbild" las - so der Titel des ersten Kapitels -, ohne daß ich behaupten würde, auch alles verstanden zu haben. Ich denke da besonders an die Ausführungen über "Das Verhältnis der Quantenmechanik zur Philosophie Kants". Aber eines wußte ich - damals ein 22 jähriger U-Boot-Fahrer mit Notabitur - mit Bestimmtheit: Ich wollte bei ihm studieren.

Daß sich das nicht von selbst verstand, lernte ich, als ich im März 1946 aus der dreijährigen Kriegsgefangenschaft zurückkehrte und mich zwei Tage später in Göttingen zum Studium anmelden wollte. Ex cathedra wurde mir erklärt, die Einschreibefrist sei seit einer Woche abgelaufen. Ich wurde nicht mehr zugelassen und konnte deshalb auch die damalige - zur Legende gewordene - große Vorlesung von C.F. von Weizsäcker über "Die Geschichte der Natur" als Student nicht hören.

Ich ging nach Frankfurt, weil ich dort in Erwin Madelung einen verständnisvollen Dekan fand, der bereit war, mich alle Hindernisse überspringen und theoretische Physik studieren zu lassen.

In den drei Jahren, die es dauerte, bis ich schließlich doch noch nach Göttingen übersiedeln konnte, lernte ich schon ein wenig mehr über C.F. von Weizsäcker. Für mich war er damals ein bekannter Atomphysiker. In der Bibliothek stand sein Buch über "Die Atomkerne", das er schon 1937 in Leipzig geschrieben hatten. Ich hörte jedoch auch schon vom Bethe-Weizsäcker Zyklus über die Energieerzeugung im Inneren der Sonne.

Als ich 1949 meine Diplomprüfung bei Erwin Madelung an der Universität Frankfurt abgelegt hatte, nahm ich den zweiten Anlauf nach Göttingen. Ich wollte bei ihm Atom- und Kernphysik studieren.

Was ich jedoch noch nicht wußte, war, daß seine Liebe auch der Astronomie galt. So schrieb er darüber in seinem Buch "Der Garten des Menschlichen". "Zu meinem 12. Geburtstag, im Juni 1924, wünschte ich mir eine drehbare, also auf Tag und Sekunde einstellbare Sternkarte. Bald danach gingen wir von Basel, wo mein Vater deutscher Konsul war, für die Sommerferien in die einsame Pension Mont Crosin im Berner Jura. Am Abend des 1. August wurde dort der Schweizer Nationalfeiertag wie üblich mit Höhenfeuern und Raketen begangen. Ein Tanzvergnügen der Pensionsgäste begann mit einer langen Polonäse im Freien. Bei einer der Trennungen der Schlange gelang es mir, meine etwa gleichaltrige Dame zu verlieren. Mit meiner Karte entwich ich von den Menschen in die warme, wunderbare Sternennacht, ganz allein".

Ich Ahnungsloser klingelte in den ersten Märztagen des Jahres 1949 am Max-Planck-Institut für Physik in der Böttingerstrasse in Göttingen. Angemeldet war ich nicht, trotzdem wurde ich ohne Umstände in den zweiten Stock gebeten, wo mich Herr von Weizsäcker sehr freundlich empfing. Aber er hatte es eilig, wir müßten das Gespräch später fortsetzen, denn gleich beginne das Institutskolloquium. Ich solle doch mitkommen.

Ich stand nicht vor einem weltfremden Professor, wie man nach dem Studium seiner Bücher hätte vermuten können, er war auch nicht unnahbar oder von oben herab. Er wirkte sehr jung, sein Alter kannte ich damals noch nicht, mit einem ganz leichten schwäbischen Akzent in seiner klaren Sprache.

Nach dem Seminarvortrag nahm er mich mit in sein Arbeitszimmer, das gegenüber dem Heisenberg'schen lag. Daneben sah ich auf der Tür das Namensschild von Max von Laue und auf der anderen Seite das von Ludwig Biermann. Erst da wurde mir wirklich bewußt, wo ich mich befand. Er erläuterte mir, daß er mich als Doktorand zwar annehmen würden, daß er jedoch in Göttingen an astrophysikalischen Fragen arbeite. Er könnte mir nur ein Thema aus dem Bereich der Astrophysik geben und

nicht - wie ich mir vorgestellt hatte - aus der Quanten- und Atomphysik. In der Zeitschrift für Naturforschung war von ihm gerade eine grundlegende Arbeit zur Weiterentwicklung der Kant'schen Theorie über die Entstehung des Planetensystems veröffentlicht worden, in der er die hydrodynamischen Gleichungen mit Turbulenz herangezogen hatten. Er schlug mir vor, ich sollte doch die Frage des Transports des Drehimpuls einer solchen rotierenden Gasscheibe untersuchen, denn die Klärung dieser Frage war wichtig, da die Sonne heute relativ langsam rotiert, jedoch die Rotation der Zentralmasse während der Kontraktion eigentlich zugenommen haben sollte.

Für uns Junge waren die fünfziger Jahre am Göttinger Institut eine herrliche Zeit. Wir konnten unbeschwert unsere wissenschaftlichen Arbeiten verfolgen und scherten uns nicht groß um unsere Zukunft. Was aus uns werden sollte, wußte keiner. Allerdings hätte ich die ersten Göttinger Jahre nicht ohne die finanzielle Hilfe von Carl Friedrich von Weizsäcker durchstehen können. Diese Mittel kamen aus einem Fond, den er aus den Erträgen aus seinen zahlreichen Vorträge füllte.

In dem kleinen Arbeitskreis, der sich wöchentlich in der Dachkammer des Instituts traf, diskutierten wir die Fragen über die Theorien der Entstehung von Sternen und Galaxien, Probleme der Turbulenz und Stoßwellen, bis hin zur Theorie des Peitschenknalls.

Und damit bin ich ja nun schon bei seinen Arbeiten zur Astrophysik. Ich erwähnte schon, daß seine beiden allerersten Arbeiten hierzu das Thema hatten: "Über die Energieumwandlung im Inneren der Sterne I und II", die 1937 und 1938 in der Zeitschrift für Physik erschienen waren.

1920 hatte der berühmte englische Astrophysiker Eddington die Hypothese formuliert, daß die Fusion von den leichten Atomkernen die Energiequelle im Inneren der Sterne sein müsse. Atkinson und Houtermans haben im Jahre 1929 im größeren Detail gezeigt, daß thermonukleare Reaktionen in der Tat eine Energiequelle der Sterne sein könnten, nachdem Gamow zuvor die Wirksamkeit des sogenannten Tunnel-Effektes propagiert hatte. Gamow und Teller haben 1938 dazu eine verbesserte Gleichung geliefert.

In der ersten Arbeit in der Physikalischen Zeitschrift behandelt von Weizsäcker zwei Probleme: Die Energieerzeugung und die Entstehung der chemischen Elemente. In der zweiten Arbeit wird die Annahme, daß alle bekannten chemischen Elemente in den heute existierenden Sternen entstanden sind und noch entstehen aufgegeben, da die damals bekannten kernphysikalischen Daten hierzu nicht ausreichten.

Er schlägt aber den CNO-Zyklus, den Kohlenstoff-Zyklus als Energiequelle im Inneren der Sonne vor, eine bahnbrechende Hypothese, die auch unabhängig von Bethe im gleichen Jahr, zwar ein wenig später, jedoch detaillierter, angeführt wurde. Dieser Zyklus hat nun mit Recht den Namen Bethe-Weizsäcker-Zyklus.

Auch die Proton-Proton-Reaktion wird in der Arbeit angeführt, die Bethe detaillierter untersuchte. Jetzt wissen wir, daß der Proton-Proton-Zyklus die bestimmende Energiequelle im Inneren der Sonne ist, während der Carbon-Zyklus nur eine untergeordnete Rolle spielt.

Die beiden erwähnten Arbeiten zur Elementumwandlung im Inneren der Sterne basiert auf Weizsäcker's kernphysikalischen Aktivitäten. Sie zeigen schon sein besonderes Interesse an astrophysikalischen Fragen.

Im Jahre 1943 erscheint in der Zeitschrift für Astrophysik seine erste große Arbeit über die Entstehung des Planetensystems, die er in Strassburg verfasst hat, wo er an der dortigen Reichsuniversität eine Professur übernommen hatte.

Diese Arbeit greift die Kant'sche Theorie der Entstehung des Planetensystems auf, die besagt, daß unser Planetensystem aus einer rotierenden Gasmasse entstanden ist. v. Weizsäcker versucht mit seiner Arbeit, dieser Theorie nun eine wirklich physikalische, mathematische Gestalt zu geben. Dabei ist der entscheidende Ansatzpunkt die turbulente Bewegung einer solchen Gasmasse.

Er zeigt, daß die kosmischen Gasmassen und das gilt auch für die Gasmasse, aus der die Sonne und das Planetensystem sich bildete, immer in turbulenten Bewegungen sein müssen. Eine solche Bewegung stellt sich ein, wenn die sogenannte Reynold'sche Zahl sehr groß ist. Diese Zahl charakterisiert das Verhältnis der Trägheitskräfte zu den Reibungskräften.

Weizsäcker sucht schließlich auch das Titius-Bode'sche Abstandsgesetz für die Planeten durch ein System von Konvektionswirbeln um die Sonne zu erklären. Insgesamt wird mit dieser Arbeit ein umfassendes Bild der Entstehung des Planetensystems vorgestellt.

In einem nächsten Abschnitt überträgt v. Weizsäcker die Grundgedanken seiner Arbeit über die Entstehung des Planetensystems auf die allgemeine Kosmogonie. Es handelt sich im wesentlichen um die konsequente Berücksichtigung jener Tatsachen der Turbulenz aller kosmischen Gasmassen und der Rotation aller aus turbulenten Gasen entstandenen Himmelskörper. Turbulenz und Rotation sind zwar den Astronomen längst bekannt, aber in den theoretischen Modellen, die man sich von

den kosmischen Vorgängen machte, sind sie nicht genug berücksichtigt worden. Dies dürfte vor allem an den außerordentlichen Schwierigkeiten liegen, die beide Vorgänge der mathematischen Behandlung entgegensetzen. Die vorliegende Arbeit versucht daher zunächst keine mathematische Beschreibung, sondern nur eine anschauliche, qualitative Erörterung der zu erwartenden Effekte. In späteren Arbeiten soll dann versucht werden, diese Effekte durch Näherungsansätze mathematisch darzustellen.

Das Ziel der Arbeit ist eine Theorie der Entstehung von Sternensystemen und Sternen aus diffus verteilten Gasmassen. Die folgenden Arbeitshypothesen charakterisieren das verwendete Modell der kosmischen Entwicklung: Sternensysteme und Sterne sind innerhalb der Zeitspanne entstanden, die man als das "Alter der Welt" bezeichnet und zu 2 bis $6 \cdot 10^9$ Jahren abschätzt. Während dieser Zeitspanne haben alle uns bekannten Gesetze der Physik gegolten; neuartige Gesetze sollen nicht postuliert werden. Insbesondere soll sich in dieser Zeit die Gesamtmasse des uns heute bekannten Teils der Welt, bis auf die geringfügigen Massenverluste durch Strahlung, nicht geändert haben. Vor der Entstehung der Sterne und Sternensysteme war diese Materie ein diffuses Gas. Die chemische Zusammensetzung dieses Gases dürfte im wesentlichen dieselbe gewesen sein wie heute, die Bildung der zusammengesetzten Atome, zumal derjenigen der Elemente oberhalb von Sauerstoff, wird also vor den Beginn der betrachteten Zeitspanne verlegt. Wesentlich für das Folgende ist die Annahme, daß in der Gasmasse zu Anfang sehr starke Bewegungen der Teile gegeneinander vorhanden waren. Diese Bewegungen hängen möglicherweise mit der Expansion der Welt zusammen, entweder so, daß die Expansionsbewegung von vornherein stark turbulent war, oder so, daß sie im Lauf der Zeit eine turbulente Komponente entwickelt hat. Der Ursprung der Expansion liegt wie der Ursprung der zusammengesetzten Atome vor dem Beginn der betrachtenden Zeitspanne und wird hier nicht untersucht.

Er zeigt dabei auf, daß praktisch alle kosmischen Gebilde in eine der drei Kategorien der Kugel, der Rotationsfiguren, der Wolken eingeordnet werden können.

Wieder ist die Anwendung der Turbulenz der Kernpunkt dieser Arbeit. Dabei geht er dann auf die Bildung von Sternensystemen und von Sternen selbst ein.

Über die Gestalt der Spiralnebel verfasste er im Jahre 1947 gemeinsam mit Heisenberg eine Arbeit, die in der Zeitschrift für Physik wiedergegeben ist. Er ergänzt dies noch durch eine Arbeit in den Naturwissenschaften über die obere Grenze der Größe der Spiralnebel

Reimar Lüst, C.F. von Weizsäcker in Göttingen – Arbeiten zur Astrophysik, Gastvortrag im Proseminar „Carl-Friedrich von Weizsäcker: Physiker, Naturphilosoph und Friedensforscher“, FB Physik, Universität Hamburg, im Sommersemester 2004.

Ein weiterer Schritt in der quantitativen Erfassung der Probleme der Rotation kosmischer Gasmassen enthält seine umfassende Arbeit aus dem Jahre 1948 in der Zeitschrift für Naturforschung, in der er sowohl zwei- als auch dreidimensionale Modelle untersucht. Einen sehr schönen Überblick stellt ein Beitrag in der Festschrift zur Feier des 200jährigen Bestehens der Akademie der Wissenschaften in Göttingen dar, in dem er sehr ausführlich Anwendungen der Hydrodynamik auf Probleme der Kosmogonie behandelt.

Schließlich werden seine astrophysikalischen Arbeiten mit einer Arbeit in dem Astrophysical Journal aus dem Jahre 1951 mit dem Titel: "Evolution of Galaxies and Stars" abgeschlossen. Diese Arbeit war während eines USA-Aufenthalts, vor allem am Yerkes-Observatory der University of Chicago entstanden.