

„Es war ungeheuer lohnend, Physik zu studieren“  
Carl Friedrich von Weizsäcker (1912–2007)

(vorgetragen in der öffentlichen Gedenkfeier am 8. Februar 2008)

KLAUS-PETER LIEB

*1. Einleitung*

„Als ich vier Jahre alt war, bin ich oft zwischen Wilhelmshaven, wo mein Vater, im ersten Weltkrieg, Marine-Offizier war, und unserer elterlichen Familienheimat Stuttgart in der Obhut meiner Mutter in der Eisenbahn gefahren. Ich sah die Landschaft und wollte Lokomotivführer werden. Sechsjährig wollte ich Forschungsreisender werden, achtmjährig Astronom; also immer der Blick auf die weite Welt. Vierzehnjährig lernte ich, in Kopenhagen, wo mein Vater an der deutschen Gesandtschaft als Diplomat tätig war, den jungen Physiker Werner Heisenberg kennen, der dort bei dem großen dänischen Physiker Niels Bohr arbeitete. Heisenberg fand eben damals die endgültige mathematische Fassung der Gesetze der Atomphysik, die Quantenmechanik.“ Mit diesen Worten erinnert sich der fast 90-jährige Carl Friedrich von Weizsäcker an die Anfänge seines beruflichen Werdegangs [1] und nennt die Koordinaten seines Forscherlebens als Theoretischer Physiker und Philosoph. In der Tat waren Bohr und Heisenberg seine wichtigsten Lehrer in der Physik und, neben Platon und Kant, auch in der Philosophie. Und schon früh, unter dem überwältigenden Eindruck eines prächtigen Sternenhimmels, begegnen sich Wissenschaft und Religion [2]: „Mit zwölf Jahren das Erlebnis der Nacht des 1. August 1924: In den Sternen des Himmels ist Gott gegenwärtig, und sie sind Gaskugeln; wie gehört das zusammen?“

Einen modernen Mystiker hat man Carl Friedrich von Weizsäcker genannt, einen Universalisten, Querdenker, Zeitdiagnostiker. Ich würde ihn als so etwas wie einen genialen Grenzgänger bezeichnen. Grenzgänger sind immer in Bewegung, sie sind schwieriger zu orten und einem Lager zuzuordnen. Sie erforschen Wege in unwegsamem Gelände und rufen gelegentlich Widerspruch zu dem Etablierten hervor. Weizsäcker hat dies nicht im Verborgenen getan, sondern öffentlich, eloquent und vielseitig, ja brillant und

oft geradezu charismatisch. Oder um es mit seinem Kollegen Hans-Peter Dürr [3] zu sagen: „Wohl keiner in unserer Zeit hat sich so detailliert und intensiv mit allen Teilen unserer komplexen Wirklichkeit, ihren verschiedenen Ebenen, ihren unzähligen Facetten auseinandergesetzt. Und dies ohne den Blick für das Ganze zu verlieren und immer mit dem Ziel, hinter der verwirrenden und fein verwobenen Vielfalt ‚das Eine‘ zu entdecken.“

Es wäre anmaßend und im Rahmen eines Vortrags auch unmöglich, zu versuchen, einem solchen Menschen in all seinen unzähligen Facetten Gerechtigkeit widerfahren zu lassen. Und wenn ich in meiner memoria vor allem den Physiker Weizsäcker in seinem Göttinger Umfeld in den Mittelpunkt stelle, bin ich mir dessen bewusst, dass ich ihm gerade nicht über viele Grenzen folgen kann und will, und ich bedaure dies. Immerhin war die Physik Ausgangspunkt seines Denkens [4], sowohl inhaltlich als auch formal. Und ich vermute, es ist nicht nur Nostalgie, wenn er spät in seinem Leben zu dem Schluss kommt, er habe „das Glück gehabt hineinzukommen in die zweite ganz große abendländische Phase“ (nach der ersten großen Phase eines Newton und eines Descartes), „wo die Physik eigentlich der Kern des wissenschaftlichen Fortschritts war. Da war es wirklich ungeheuer lohnend, Physik zu studieren.“

Ich werde meinen Vortrag in fünf Teile gliedern, die Weizsäckers Physik in den Jahren zwischen 1934 und ca. 1960 zum Inhalt haben, allerdings nicht völlig chronologisch geordnet. In diese Zeit fallen seine grundlegenden Arbeiten in der Kern- und der Astrophysik, seine Tätigkeiten im Uranverein, das Göttinger Manifest und seine Versuche, die Quantenmechanik philosophisch zu begründen. Ich bitte Sie um Nachsicht, wenn dabei Persönliches zu kurz kommt.

## *2. Die Bethe-Weizsäcker-Formeln*

Der Name Weizsäcker ist in der modernen Physik mit mehreren wichtigen Tatsachen und Modellen verbunden, die für die Bedeutung und den frühen Erfolg des Theoretischen Physikers stehen. Zu erwähnen ist zunächst die sogenannte Weizsäcker-Williams-Methode [5], eine Rechenmethode, die die beiden Physiker 1934 unabhängig voneinander auf Anregung von Niels Bohr in Kopenhagen entwickelt haben. Dabei geht es um das elektromagnetische Spektrum, das ein schnelles geladenes Teilchen emittiert, wenn es abgebremst wird, z. B. durch ein Stück Materie fliegt. Diese Strahlung heißt Bremsstrahlung; sie ist auch in modernen Synchrotron-Maschinen von großer Bedeutung.

Nachdem 1932 das Neutron entdeckt und als gleichberechtigter Kernbaustein neben dem Proton erkannt worden war, entwickelte sich eine erste Blütezeit der Kernphysik, an der einige der besten Köpfe auch gerade in Deutschland beteiligt waren. Heisenberg hatte postuliert, dass Proton und Neutron bezüglich ihrer Kernkräfte nahezu identisch seien, obwohl sie sich natürlich in ihrer Ladung unterscheiden. In optischen Messungen an Isotopenreihen (Kerne mit konstanter Protonenzahl  $Z$  und variabler Neutronenzahl  $N$ ) fand man, dass Kerne kugelförmige oder leicht deformierte Objekte sind, deren Volumen mit der Nukleonenzahl  $A = Z + N$  linear anwächst und deren Kernradius der Beziehung  $R \approx 1.3 \times 10^{-15} A^{1/3}$  m folgt. Gleichzeitig stellte sich heraus, dass die gesamte Bindungsenergie der Kerne ebenfalls nahezu proportional zur Nukleonenzahl  $A$  anwächst. Jedes Proton oder Neutron fügt dem Kern einen etwa konstanten Zuwachs an Volumen und Bindungsenergie zu. Diese Beobachtungen führten Gamow und Bohr dazu, Kerne modellmäßig als homogen geladene Tropfen zu betrachten. Und es war Weizsäcker [6], der diese Idee aufgriff und die experimentell bestimmten Bindungsenergien dem Tröpfchenmodell anpasste. Die gesamte Bindungsenergie  $E_B \approx E_V + E_O + E_C + E_S$  beruht auf dem Zusammenwirken einer für Protonen und Neutronen gleichen nuklearen Volumenenergie  $E_V \propto A$ , einer Oberflächenenergie  $E_O \propto A^{2/3}$ , der Coulombabstoßung der Protonen,  $E_C \propto Z^2/A^{1/3}$ , und einem sogenannten Asymmetrieterm  $E_S \propto (N - Z)^2/A$  zwischen Protonen und Neutronen. Die Oberflächen- und die Coulombenergie sind zur Volumenenergie gegenläufig, vermindern also die Bindung. Trägt man die Bindungsenergie pro Nukleon,  $E_B/A$ , als Funktion der Nukleonenzahl auf, so erhält man die in Abbildung 1 gezeigte Kurve. Sie hat ein Maximum bei  $A \approx 60$  und fällt für sehr leichte Kerne und sehr schwere Kerne ab.

Die Massenformel war ein großer Erfolg für Weizsäcker und beflügelte seine weiteren kernphysikalischen Untersuchungen am Kaiser-Wilhelm-Institut für Physik in Berlin-Dahlem, nachdem er sich 1936 in Leipzig habilitiert hatte. Bereits 1926 hatte Eddington einen Vorschlag entwickelt, wie die Sonne ihre Energie durch thermonukleare Reaktionen erzeugt. Solche Kernreaktionen können nur ablaufen, sofern Kernbindungsenergie gewonnen wird, wenn z. B. Wasserstoff zu Helium reagiert. In der Tat schlug Eddington [7] den sogenannten Proton-Proton-Zyklus vor, bei dem sich vier Wasserstoffkerne, also Protonen, in mehreren Stufen zu einem Heliumkern zusammenbinden. Als Zwischenkerne entstehen dabei auch  ${}^2\text{H}$  und  ${}^3\text{He}$ , und es werden auch Neutrinos und Gammastrahlen emittiert. Ein großer Teil der gewonnenen Energie wird zum Aufheizen des Gemischs verwendet. Im Laufe der Sternentwicklung braucht sich der Wasserstoff auf, man

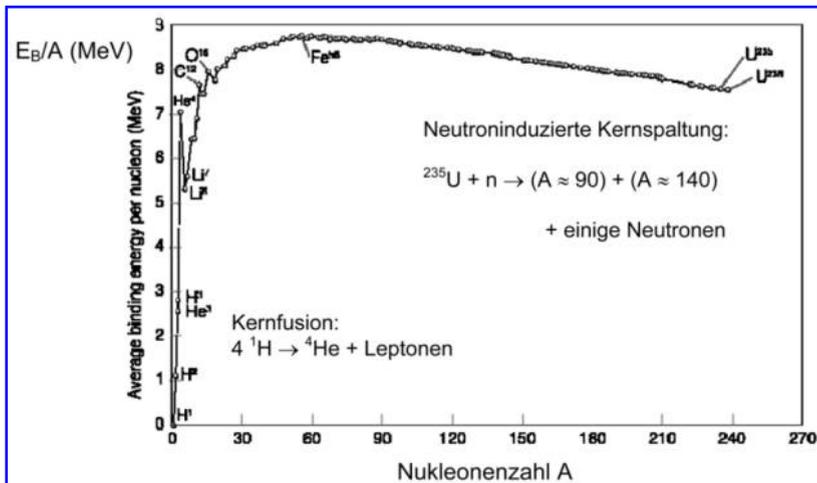


Abbildung 1: Mittlere nukleare Bindungsenergie pro Nukleon,  $E_B/A$ , aufgetragen gegen die Nukleonenzahl  $A$ . Energie kann gewonnen werden in Kernreaktionen, bei denen sich die Bindungsenergie erhöht, so z. B. durch Kernfusion oder Kernspaltung.

sagt: er verbrennt zu Helium, und das entstandene Helium reagiert seinerseits bei höherer Temperatur weiter zu  ${}^{12}\text{C}$ . Der von Weizsäcker und Bethe unabhängig voneinander vorgeschlagene CNO-Zyklus [8] findet verstärkt oberhalb 100 Millionen Grad statt und stellt sich als ein Proton-Proton-Zyklus dar, in dem  ${}^{12}\text{C}$  als Katalysator fungiert und auch Stickstoff- und Sauerstoffisotope erzeugt werden (siehe Abbildung 2). Auf diese Weise beginnt die Nukleosynthese in den Sternen. Per aspera ad astra war Weizsäcker also bei den Sternen angelangt, aber seine nächsten Etappen ad sapientiam et pacem gestalteten sich dorniger als vermutet.

### 3. Uranverein und Farm Hall

Eine zweite Form der nuklearen Energiegewinnung, die ebenfalls von der Massenformel nahegelegt wird und auf Weizäckers Leben und Wirken entscheidenden Einfluss hatte, ist die im Dezember 1938 von Otto Hahn und Fritz Strassmann [9] entdeckte neutroneninduzierte Spaltung von Uran. Dabei fängt ein Urankern ein langsames (moderiertes) Neutron ein, und es entsteht ein schwererer Urankern, der in zwei leichtere Kerne mit den Massenzahlen  $A \approx 90$  und  $A \approx 140$  und einige Neutronen zerplatzt. Diese Entdeckung elektrisierte nicht nur die unmittelbar betroffenen Wissenschaftler am Kaiser-Wilhelm-Institut in Berlin, sondern die Physiker welt-



Spaltung eines Kubikmeters  $U_3O_8$  freiwerdende Energie, um  $1 \text{ km}^3$  Wasser 27 km hochzuheben. So gewann die Kernspaltung wenige Monate nach ihrer Entdeckung und „termingerecht“ zum Ausbruch des II. Weltkriegs große technische und militärische Relevanz.

Auf Wunsch des Heereswaffenamtes wurde das Kaiser-Wilhelm-Institut für Physik wissenschaftliches Zentrum für die deutschen Forschungen an der Kernspaltung, genannt der „Uranverein“. Der Uranverein trat zum ersten Mal im September 1939 zusammen, sein wissenschaftlicher Leiter war Heisenberg. Übrigens hatte Weizsäcker ihn wie auch Hahn zur Teilnahme am Uranverein ermutigt [11], unter anderem mit dem Argument, dass diese Forschung „kriegswichtig“ sei (und damit gut finanziert werde), dass man damit die Institute retten könne und dass die daran Beteiligten u. k. und somit vom Militärdienst und Fronteinsatz freigestellt würden. Man wollte versuchen, wie später Fritz Houtermans aus einem Gespräch mit Heisenberg berichtete, „nicht die Wissenschaft für den Krieg, sondern den Krieg für die Wissenschaft zu nutzen“.

Das schwierigste Problem der technischen und der militärischen Anwendung der Kernenergie ist bekanntlich die Notwendigkeit, eine Kettenreaktion aufrechtzuerhalten. Das gelingt leicht mit dem seltenen und gut spaltbaren Isotop  $^{235}\text{U}$ , während das 150-mal häufigere Isotop  $^{238}\text{U}$  zu selten spaltet. Daraus folgt, dass man entweder  $^{235}\text{U}$  stark anreichern muss, der Weg des Manhattan-Projekts, oder dass man eine große Menge Uran zusammenbringt und geeignete Moderatoren wie schweres Wasser oder reines Graphit zur Thermalisierung der Neutronen verwendet. Im Juli 1940 machte Weizsäcker darauf aufmerksam [20] – und meldete dies zum Patent an –, dass auch  $^{238}\text{U}$  technisch wichtig werden könne: Ein  $^{238}\text{U}$ -Kern fängt ein Neutron ein, und die darauffolgenden  $\beta$ -Zerfälle erzeugen die spaltbaren Kerne  $^{239}\text{Np}$  und  $^{239}\text{Pu}$ , letztere wegen ihrer langen Zerfallszeit ebenfalls ein wichtiges Spaltmaterial. Er vermutet, dass „dieses Eka-Rhenium zum Bau sehr kleiner Maschinen, als Sprengstoff oder durch Beimischung zur Umwandlung anderer Elemente in großen Mengen“ verwendbar sein könne [20]. Der sich in die Länge ziehende Krieg, ein verzögerndes Taktieren der Forscher, mangelnde Aussicht auf einen technischen Durchbruch in der  $^{235}\text{U}$ -Anreicherung, die Bombardierungen von Berlin und andere Umstände waren 1942 der Anlass, das Bombenprojekt aufzugeben, die Aktivitäten des Uranvereins vom militärischen Sektor abzukoppeln und die Experimente auf kleiner Flamme in Haigerloch weiterzuführen, mit dem Ziel, den Prototyp eines Reaktors zu bauen (siehe Abbildung 3).

Weizsäcker hat zu den Motiven und Konsequenzen seiner Arbeiten im Uranverein im Laufe seines Lebens mehrfach ausführlich Stellung genom-

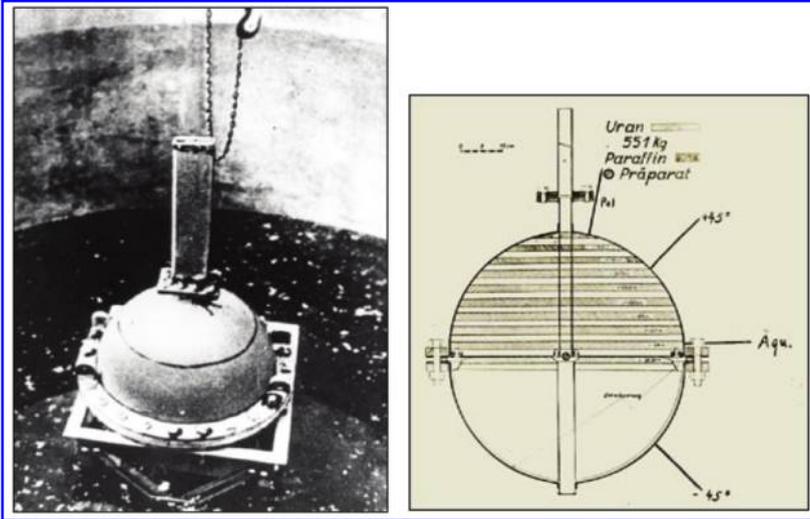


Abbildung 3: Konstruktionsvorschläge zum Bau eines Kernreaktors aus natürlichem Uran und Paraffinmoderator, lagenförmig angeordnet (Quelle: Archiv Deutsches Museum, München).

men. Es ist hier weder der Ort, noch steht es mir zu, diese Aussagen zu bewerten, aber seine Forderung nach intellektueller Klarheit und seine außerordentliche sprachliche Ausdrucksfähigkeit machen sie zu zeitgeschichtlich äußerst wichtigen Zeugnissen und sind – wie ich finde – auch persönlich sehr berührend.

1. Nach dem Kriegsende wird Weizsäcker zusammen mit mehreren anderen deutschen Kernphysikern während der Monate Juli 1945 bis Januar 1946 im englischen Farm Hall von den Amerikanern und den Briten im Rahmen der ALSOS Mission [21] interniert, also zu der Zeit, als die ersten Atombomben in Japan fielen. Die Protokolle der unbemerkt aufgenommenen Gespräche der Internierten zeigen eine erste „Lesart“ (so Max von Laue) des Uranmaschinen-Projekts, die Weizsäcker auf den kurzen Nenner bringt [22]: „Die Geschichte wird festhalten, dass die Amerikaner und die Engländer eine Bombe bauten und dass zur selben Zeit die Deutschen unter dem Hitler-Regime eine funktionsfähige Maschine [sc. einen Reaktor] herstellten. Mit anderen Worten, die friedliche Entwicklung der Uranmaschine fand in Deutschland unter dem Hitler-Regime statt, während die Amerikaner und die Engländer diese grässliche Kriegswaffe entwickelten.“ Diese pointierte Sicht der Dinge,

dazu noch aus dem Munde der Besiegten, löst eine Jahrzehnt dauernde Kontroverse aus.

2. Unter dem Titel „Das politische Kalkül genügt nicht“ nimmt Weizsäcker in einem Festvortrag auf der Mitgliederversammlung des Verbands Deutscher Studentenschaften am 8. Mai 1957, also kurz nach Veröffentlichung des Göttinger Manifestes, differenzierter Stellung [23]: „Ich wünsche, dass Ihnen klar ist, dass ich über diese Vorgänge keine moralischen Urteile fälle. Alle Mitspieler dieses schrecklichen Stücks haben nicht nur im Bewusstsein, sondern unter dem schweren Druck der auf ihnen lastenden Verantwortung gehandelt.“
3. Noch kritischer erinnert sich Weizsäcker in seiner Selbstdarstellung [24] aus dem Jahre 1977: „Uns blieb die Entscheidung erspart, ob wir überhaupt, und das für Hitler, Atombomben bauen wollten. Wir erkannten nach etwas mehr als einem Jahr, dass dies unsere Möglichkeiten weit überstieg, und konzentrierten uns auf die Arbeit an einem Reaktormodell. Das moralische Problem lag am Anfang. Das damalige Risiko würde ich nach dem, was ich heute weiß, nicht noch einmal übernehmen [. . .]. Ich träumte eine Zeitlang von einem Einfluss auf das Geschehen, ein Traum, der sich zu meinem Glück nicht erfüllte.“
4. Nochmals eine Dekade später, im Jahre 1988, beschließt er sein „Selbstgespräch“ [25] mit der Einschätzung: „Als 1945 der Krieg zu Ende war, war ich 33 Jahre alt. Rückblickend empfinde ich meine damaligen Verhaltensweisen und Äußerungen als unausgereiften Ausdruck von Ahnungen und Wahrnehmungen, die meine intellektuelle Verarbeitungsfähigkeit überstiegen. Ich hatte rationale Nüchternheit nachzulernen, ein Stück nicht vollzogener Aufklärung [. . .].“
5. Aber halten wir fest: „Was mich daran interessierte, war eigentlich nur, dass man erkennen sollte, ob Atombomben möglich sind oder nicht.“ Und: „Wir waren keineswegs dafür, dass nun Bomben gemacht werden. Wir waren aber überzeugt, dass wenn man sich selber davor zurückhält, man nur die Genugtuung hat, eine reine Weste behalten zu haben, aber überhaupt nichts dafür getan hat, dass die Menschheit dieses Problem löst.“ So Weizsäcker in dem sehr aufschlussreichen Gespräch mit Schaaf und Spitzer im Jahre 1996 [14].

Ich habe den über die Jahre variierenden Tenor dieser Aussagen deshalb so ausführlich zitiert, weil ich glaube, dass in ihnen die Grundlage zu finden ist für das so segensreiche Engagement Weizsäckers in der Friedenspolitik und der Friedensforschung und für seinen später vertretenen, leidenschaftlichen Pazifismus. Schon 1939 ist ihm klar [14] und wird allmählich zu einer Maxime seines Handelns: „Wenn Atombomben möglich sind, wird

es – so wie die Menschheit heute beschaffen ist – jemanden geben, der sie baut [. . .] und militärisch verwendet. Dann aber hat die Menschheit nur die Wahl, entweder sich selbst zugrunde zu richten oder den Krieg als Institution abzuschaffen.“ Und daraus folgert er: „Unsere Meinung war, in einer Menschheit, die technisch so weit fortgeschritten ist [. . .], ist eine veraltete politische Institution wie der Krieg selbstmörderisch und muß abgeschafft werden.“ Erst mit den Jahren habe er nach und nach gelernt, dass dieser (große) Krieg unwahrscheinlich wurde und zwar genau durch die Atombombe. Aber wie diese Einsichten politisch umsetzen, wie die „bittere Pflicht des Physikers“ – so nannte er mehrfach sein politisches Engagement [11, 14] – in dem neuen Staate einlösen, wenn es so viele wissenschaftlich interessantere und weniger heikle Dinge gibt, „die Astronomie oder die Philosophie oder die Quantentheorie als philosophisches Problem“?

#### *4. Jahre in Göttingen: Kosmogenie. Das Manifest*

1946 kehrt Weizsäcker als Abteilungsleiter des neu gegründeten Max-Planck-Instituts für Physik nach Göttingen zurück und wird am 6. Februar 1947 zum Honorarprofessor an der Universität Göttingen ernannt. Seine Aufnahme in die Akademie erfolgt im Sommer 1950 auf Vorschlag von Heisenberg, Heimpel und Becker. In ihrer Laudatio [26] führen sie aus, dass er neben seinen wichtigen Fortschritten in der Atom- und der Astrophysik die Grenzprobleme zwischen Naturwissenschaft, Erkenntnistheorie und Philosophie mit großem Erfolg aufgegriffen habe: „Seine Arbeiten auf diesem Gebiet zeichnen sich durch ihren großen Ernst und ihre sprachlich und didaktisch meisterhafte Darstellung aus. An Kenntnissen in der Geschichte der Philosophie und der philosophischen Systematik überragt v. Weizsäcker wohl alle jetzt lebenden Naturwissenschaftler.“ Darauf Weizsäcker [27] mit der für ihn und die Akademie so treffenden Antwort: „Das Zusammenwirken der Wissenschaften, das eines der Hauptanliegen der Akademie ist, liegt mir besonders am Herzen.“

Vor einigen Jahren hat Reimar Lüst [28], einer der bekanntesten Schüler Weizsäckers, die astrophysikalischen Forschungsarbeiten aus Göttinger Tagen zusammengefasst. Sie handeln von der Entstehung des Planetensystems und später dann von Galaxien, also von allgemeiner Kosmogenie. Dabei erinnert sich Lüst [28] besonders auch an seine unbeschwerete, „herrliche“ Zeit als Doktorand in Göttingen, in der er sich nicht groß um die Zukunft scherte. Übrigens wäre das Studium für ihn ohne finanzielle Hilfe aus dem sogenannte Vortragsfonds nicht möglich gewesen, den Weizsäcker

u. a. durch eine reiche und geradezu missionarische Vortragstätigkeit auf-füllte.

Bei der Entstehung der Planeten vor ca. 4,5 Milliarden Jahren spielten Turbulenz und Rotationen der diffus verteilten kosmischen Gasmassen eine wichtige Rolle, das war den Astronomen bekannt. Die chemische Zusammensetzung dieser Gasmassen, zumal der Elemente oberhalb des Sauerstoffs, war im wesentlichen die gleiche, wie wir sie heute vorfinden, aber die Prozesse der Planetenbildung waren nur ansatzweise verstanden, da ihre exakte mathematische Behandlung außerordentlich schwierig ist. Aufbauend auf einer ersten großen Arbeit, die er 1943 als Professor an der Reichsuniversität Straßburg verfasst hat [29], packt Weizsäcker die Probleme an und entwirft zunächst eine anschauliche, qualitative Beschreibung der zu erwartenden Effekte. In einem weiteren Schritt überträgt er die Ergebnisse auf die Entstehung und die Eigenschaften von Galaxien. Über die Gestalt von Spiralnebeln und zur Kosmogenie verfasst er schließlich im Jahre 1947/48 zwei Publikationen, eine davon zusammen mit Heisenberg in der „Zeitschrift für Physik“ [30].

Die Siegermächte untersagten die kernphysikalische Grundlagen- und die angewandte Forschung in Deutschland, aber die atomtechnischen Einschränkungen wurden in den folgenden Jahren langsam gelockert. Der erste „kleine“ Forschungsreaktor, das Münchner Atomei, nahm im Oktober 1956 den Betrieb auf, der erste „große“ Leistungsreaktor im Jahre 1961 in Kahl am Main. Zeitlich parallel wurde auch die Bundeswehr aufgebaut, nachdem die Bundesrepublik im Mai 1955 unter Kanzler Adenauer der NATO beigetreten war [31, 32]. In der Person des Atomministers und ab Oktober 1956 Verteidigungsministers Franz-Josef Strauß fokussierten sich die Probleme taktischer Atomwaffen beim Ausbau der Bundeswehr, die dann in der Göttinger Erklärung kulminierten. Das 50-jährige Jubiläum dieses Manifestes hat kürzlich die politischen Umstände jener Monate wieder in unser Bewusstsein gerückt [32], und ich kann mir also Details sparen. Auslöser des Protestes der 18 renommierten Kernphysiker war die ohne Konsultation angekündigte Absicht von Adenauer und Strauss, die Bundeswehr mit taktischen Atomwaffen auszurüsten, gemäß dem harmlos klingenden Motto [33], taktische Atomwaffen seien „nichts weiter als die Weiterentwicklung der Artillerie.“ Weizsäcker nahm die Sache in die Hand und entwarf innerhalb einer Woche ein Manifest, das die 18 Professoren, darunter auch die Nobelpreisträger Born, Hahn, Heisenberg und Strassmann, unterzeichneten.

Die wesentliche These der Göttinger Erklärung [34] besteht darin, dass taktische Atomwaffen die zerstörende Wirkung normaler Atombomben

hätten, also ähnlich wirkungsvoll wie die Hiroshima-Bombe seien. Eine kleinere taktische Atombombe könne – entgegen der verniedlichenden Bezeichnung – eine kleinere Stadt völlig zerstören, und es gebe keine technische Möglichkeit, die Bevölkerung vor dieser Gefahr sicher zu schützen. Daraus ziehen die Physiker drei Folgerungen: „Für ein kleines Land wie die Bundesrepublik glauben wir, dass es sich heute noch am besten schützt und den Weltfrieden noch am ehesten fördert, wenn es ausdrücklich und freiwillig auf den Besitz von Atomwaffen jeder Art verzichtet. Keiner der Unterzeichneten wäre bereit, sich an der Herstellung, Erprobung oder dem Einsatz von Atomwaffen in irgendeiner Weise zu beteiligen. Gleichzeitig betonen wir, dass es äußerst wichtig ist, die friedliche Verwendung der Atomenergie mit allen Mitteln zu fördern.“ Der Protest der Göttinger Achtzehn, vor allem ihre einstimmige Selbstverpflichtung, an keinerlei Atomwaffenforschung mitzuarbeiten, hatte enorme nationale und internationale Resonanz. Als auch ein Gespräch mit Adenauer im kleinen Kreise keine Lösung brachte und die Physiker standhaft ihre Haltung verteidigten, gab Adenauer angesichts der Erregung in der Bevölkerung und des laufenden Wahlkampfes die Idee vom Eigenbesitz taktischer Atomwaffen in Deutschland auf.

In dem schon erwähnten Vortrag vor dem Verband Deutscher Studentenschaften hat sich Weizsäcker kurz nach Veröffentlichung des Manifestes ausführlich zu seiner Einschätzung der politischen Weltlage und zu den eigenen Motiven geäußert [23]: „Im sicheren Bewusstsein von der Unabänderlichkeit der menschlichen Natur stürmen wir dem ebenso unabänderlich über uns verhängten Untergang entgegen.“ In seiner Erklärung nennt er drei Argumente: 1. Der Westen schütze seine eigene Freiheit und den Weltfrieden durch die atomare Aufrüstung auf die Dauer nicht, da 2. die Mittel der Diplomatie und des politischen Kalküls dazu offenbar nicht ausreichen. Wer also glaubwürdig zur atomaren Abrüstung rate, müsse überzeugend darlegen, dass er selbst die Atombombe nicht wolle. Auf den Vorwurf, die Göttinger 18 hätten den Appell weltweit an ihre Kollegen statt an die Politiker richten sollen, erwidert er, dass keine der Großmächte einseitig auf Atomwaffen verzichten würde, ein „kleines Land aber könne das tun, und unsere Meinung ist, unsere eigene Heimat, Deutschland, solle das tun“, denn für dieses Land hätten die Autoren eine direkte bürgerliche Verantwortung. In der „Frankfurter Allgemeinen Zeitung“ vom 11. Juni 1958 hat N. Benckiser [35] zum Vorgehen und zu den Argumenten Weizäckers Stellung genommen und anerkannt, dass „ein Professor sich mit der Methodik und Gründlichkeit, zu der wissenschaftliche Berufung verpflichtete, mit einem brennenden Gegenwartsproblem befasst hat. Von jener Methodik

fließt ihm die Autorität zu, nicht vom Fachgebiet oder den akademischen Würden, die in Deutschland allzu oft einschüchternd wirken.“

Die friedliche Nutzung der Atomenergie mit allen Mitteln zu fördern, darauf hatten sich die Unterzeichner des Göttinger Manifests verständigt. Zwanzig Jahre später ist die politische Auseinandersetzung mit dieser Forderung voll entbrannt. Anlässlich der Entscheidung der Niedersächsischen Landesregierung für die langfristige Zwischenlagerung in Gorleben und gegen eine Wiederaufbereitungsanlage nimmt Weizsäcker 1979 erneut Stellung zum Komplex Kernkraft [35]. In seiner Schrift „Diagnosen zur Aktualität“ umreißt er kurz den Bedarf an Kernenergie und deren Gefahren, übrigens ohne sich explizit für oder gegen auszusprechen. Ausführlich analysiert er dann die Gründe für die Vehemenz und Leidenschaftlichkeit der Auseinandersetzung. In der Gegnerschaft gegen die Kernenergie sieht er „eine neue Gestalt der Kritik, welche die neuzeitliche rationalistisch-technokratische Zivilisation seit ihren Anfängen begleitet hat, einen heute fast panischen Widerstand gegen eine bloße Willens- und Verstandeswelt“. Er hält diese Kritik für die Vorankündigung tiefer Krisen, ja Katastrophen und glaubt, dass „der Bewusstseinsprozess in lebensbedrohender Weise hinter dem realen technisch-ökonomisch-gesellschaftlichen Prozess hinterherhinkt“. Daraus folgert er zunächst, dass die Behandlung des Energieproblems Entscheidungsspielräume zulasse, aber vor allem möchte er „das moralische Engagement, das zumal die Gegner oft auszeichne, entmythologisieren“, wohl wissend, dass sich „in der so oft sachlich irrenden Simplität dieser Moral ein Instinkt dafür verbirgt, was die Menschheit in ihrem Bewusstseinsstand an technischer Komplexität verkraften kann“.

### *5. Die Vollendung der Physik*

Schon in der Berliner Zeit während der Arbeiten im Uranverein hatten einige Kernphysiker begonnen, sich Gedanken über die neu entdeckten instabilen Elementarteilchen zu machen, die man zunächst vor allem in der kosmischen Strahlung fand. In einer Seminarankündigung am KWI für Physik aus dem Jahre 1941 lesen wir, dass Heisenberg, Bopp, von Weizsäcker und Flügge über Mesonen berichteten [36]. Mesonen sind kurzlebige, mittelschwere Teilchen mit Massen zwischen jenen des Elektrons und denen des Protons. Sie waren die ersten Species des Teilchenzoos, der sich nach dem Krieg in beeindruckender Vielfalt und Schnelligkeit füllte, vor allem, als es gelang, Hochenergiebeschleuniger und intelligente Detektoren zu bauen. Die Freude und auch die Sorge der Experimentatoren angesichts so vieler

blühender Exotik rief natürlich auch die Theoretiker auf den Plan, die nach dem möglichen Bauplan und den Ordnungsprinzipien suchten. Feynman [37] hat die Situation auf den Punkt gebracht: „Nature has always looked like a horrible mess, but as we go along we see patterns and put theories together; a certain clarity comes and things get simpler.“ Es dauerte dann bis Mitte der 70er Jahre, bis der Theorie die erwarteten Durchbrüche gelangen. Aber es waren bekanntlich nicht die Heisenbergsche Weltformel und die Weizsäckerschen Ure [37], die das Rennen machten und zu den heute akzeptierten Vorstellungen führten (Abbildung 4). Weizsäckers damaliger Mitarbeiter Thomas Görnitz bemerkte kürzlich dazu [38]: „Die Ur-Anzahlen (Qubits), die Weisäcker genial (aber damals kaum nachvollziehbar) vorgeschlagen hatte, überforderten die Phantasie der Physikergemeinde zu sehr, und sie blieb auf Distanz. Außerdem stand die rudimentäre Kosmologie im Widerspruch zur Allgemeinen Relativitätstheorie.“

In einem vielbeachteten Vortrag auf der Physikertagung 1966 in München hat Weizsäcker die Zusammenhänge aus seiner Sicht vorgetragen und die eigenen Gedanken in den großen Strom der Physik einfließen lassen [39]. Und er hat dort die wichtigsten zukünftigen Aufgaben skizziert, die seiner Meinung nach zur „Einheit der Physik“ [3], ja sogar zur „Einheit der Natur“ führen könnten, wie er die Sammlung seiner Aufsätze und Vorträge aus dem Jahre 1971 überschrieb. In dem Münchner Vortrag, betitelt „Ein Entwurf der Einheit der Physik“, stellt Weizsäcker zunächst fest, dass die Physik heute eine größere reale begriffliche Einheit als jemals zuvor in ihrer Geschichte erreicht habe. Er vermutet, dass es daher eine endliche Aufgabe sei, die Physik zur vollen begrifflichen Einheit zu bringen. Der Zeitpunkt der Vollendung könne sogar nahe sein, aber die Vollendung der Physik in ihrer begrifflichen Einheit bedeute keineswegs die Vollendung oder auch nur die Vollendbarkeit des geistigen Wegs der Menschheit zur Erkenntnis. Der Gedankengang gipfelt in der Feststellung: „Wenn es gleich schwer ist, sich vorzustellen, dass eine vollendbare wie dass eine unvollendbare Physik möglich sein soll, so ist es vielleicht schwerer als man denkt, sich vorzustellen, dass überhaupt Physik möglich ist.“ Mit diesem schweren philosophischen Gepäck beladen, betrachtet Weizsäcker die Quantenmechanik, die Theorie der Elementarteilchen und die Kosmologie als jene Gebiete, deren Klärung zur begrifflichen Vollendung der Physik führen würde. Ich erinnere mich noch gut daran, dass diese von vielen Teilchenphysikern erwartete, unmittelbar bevorstehende Vollendung der subatomaren Physik nicht nur Begeisterung hervorrief, sondern auch Enttäuschung und die Frage „Lohnt es sich überhaupt noch, Physik zu machen?“ So wie ein Bergsteiger reagieren mag, wenn er den lang ersehnten Gipfel bezwungen hat.



Abbildung 4: W. Heisenberg und C. F. von Weizsäcker im Gespräch (Quelle: IWF, Göttingen, 1966).

Es liegt nahe, eine Parallele zu dem Physiker Max Planck zu ziehen, der vor 150 Jahren in eine Zeit hineingeboren wurde, in der die Physik ebenfalls vollendet und zur Gänze verstanden schien. Aber wie grundlegend hat sich die Physik in fast allen ihren Prinzipien im Laufe seines Lebens verändert, gerade auch dank seinen Erkenntnissen! Er resümiert: „Der unermesslich reichen, stets sich erneuernden Natur gegenüber wird der Mensch, soweit er auch in der wissenschaftlichen Erkenntnis fortgeschritten sein mag, immer das sich wundernde Kind bleiben und muss sich stets auf neue Überraschungen gefasst machen.“

Ebenfalls lohnt es sich, kurz zu skizzieren, welchen Weg die moderne Feldtheorie gegangen ist und ob Weizsäckers Vermutungen sich als richtig erwiesen haben. Diese Frage ist auch deshalb interessant, weil zum Zeitpunkt des Münchner Vortrags einige Eckpunkte des heute akzeptierten Standardmodells der Teilchenphysik bereits vorhanden waren. Bekanntlich gibt es in der Natur vier Typen von Kräften: neben den klassischen Kräften der Gravitation und des Elektromagnetismus sind das die schwache Kraft und die starke nukleare Kraft, deren Eigenschaften wir inzwischen weitgehend aus der Kern- und der Teilchenphysik kennen (siehe Abbildung 5). Kräfte wirken zwischen Objekten, die z. B. Massen oder elektrische Ladungen haben oder nuklear „aufgeladen“ sind. Eine einheitliche vollständige Feldtheorie muss nun alle Objekte als Grundbausteine enthalten und die zwischen ihnen herrschenden vier Wechselwirkungen konsistent im Rah-

<b>1. Gravitation</b>	
Johannes Kepler:	<i>Harmonices Mundi (1619)</i>
Isaac Newton:	<i>Philosophiae Naturalis Principia Mathematica (1682)</i> <i>De Motu Corporum (1679)</i>
<b>2. Elektromagnetismus</b>	
James Maxwell:	<i>A Dynamical Theory of the Electromagnetic Field (1865)</i>
<b>3. Schwache Wechselwirkung</b>	
Sheldon L. Glashow, Abdus Salam, Steven Weinberg: <i>Eichtheorien (1961-67)</i>	
<b>4. Starke (nukleare) Wechselwirkung</b>	
Murray Gell-Mann, George Zweig: <i>Quarks (1964)</i> ; <i>Standard-Modell (ab 1978)</i>	

Abbildung 5: Die vier Kräfte in der Natur und die historische Entwicklung einer vereinheitlichten Feldtheorie bis zum Standardmodell. Die Namen der repräsentativsten Theoretischen Physiker und ihre Hauptwerke bzw. -begriffe sind angegeben.

men der Quanten- und der Relativitätstheorie beschreiben. Und gerade hier kam es in den Jahren 1960–80 zu revolutionären Neuerungen: Glashow, Salam und Weinberg [40] erfanden eine Theorie, die die elektromagnetische mit der schwachen Wechselwirkung vereinigt. Und auf der Seite der nuklearen Objekte kreierten Gell-Mann und Zweig mit den sechs Quarks die „richtigen“ nuklearen Bausteine. Somit wurde der exotische Teilchenzoo relativ zügig durch ein wohlgeordnetes Standardmodell erklärt, das sich bisher bestens bewährt hat. Insofern hat sich das Physikprogramm, was die von Weizsäcker genannten Gebiete der Astro- und der Teilchen-Physik anbetrifft, jedenfalls teilweise realisiert, wenn ich auch nicht verhehlen möchte, dass die Quantengravitation und die starke Wechselwirkung noch nicht völlig erfolgreich und widerspruchsfrei eingebunden sind. Daher erfreut sich die Astro-Teilchen-Physik eines ungebrochenen Interesses (auch hier in Göttingen).

### 6. Zur Kopenhagener Deutung

Das dritte Gebiet, die Quantenmechanik und ihre Weiterungen in verschiedene physikalische und philosophische Richtungen, wurde Weizsäckers liebstes Kind. Als seine Mutter 1926 den jungen und sympathischen Werner Heisenberg, den sie bei einem Konzert in Kopenhagen kennengelernt hatte, in ihre Familie einführte, riet dieser dem wissbegierigen Sohne, dass man erst die Physik verstehen müsse, um die Philosophie zu erlernen. Das war ein weitschauender und eher ungewöhnlicher Rat, entstanden aus den revolutionären Resultaten der quantenmechanischen Theorien, die Heisenberg und andere kurz vorher entwickelt hatten. Radikaler noch als die Rela-

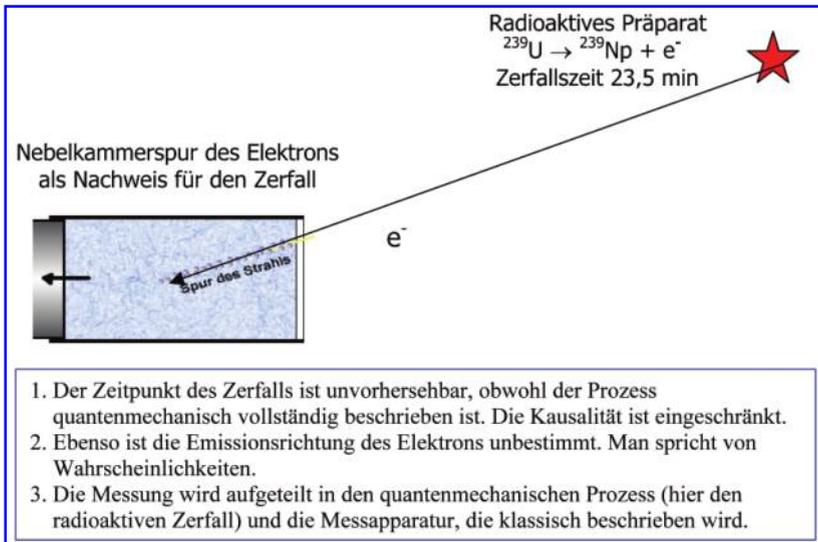


Abbildung 6: Zur Kopenhagener Deutung: Eingeschränkte Kausalität und Trennung zwischen quantenmechanischem Prozess und klassischer Beschreibung der Messresultate.

tivitätstheorie hatte die Quantenmechanik gezeigt, so Eckhard Scheibe in seinem opus magnum „Die Philosophie der Physiker“ [41], „dass die Philosophie auf die Dauer in der Gefahr ist, an der Wissenschaft vorbeizureden, wenn sie nicht gelegentlich ihre Resultate zur Kenntnis nimmt.“

In seiner Autobiographie „Der Teil und das Ganze“ berichtet Heisenberg [42] im Kapitel „Quantenmechanik und Kantsche Philosophie“ von den Versuchen Anfang der dreißiger Jahre, die philosophischen Grundlagen der Quantenmechanik zu verstehen. In diesen Gesprächen, die er in Leipzig mit Weizsäcker und der Neukantianerin Grete Hermann führte, ging es auch darum, wieweit der Begriff Kausalität zur Beschreibung der physikalischen Erfahrungen atomarer Systeme oder Prozesse tauglich sei. Heisenberg merkt an, dass Weizsäcker eine „philosophische Note“ in die Gespräche brachte; „obwohl er Physik studierte, war deutlich zu spüren, dass er immer dann, wenn durch unsere physikalischen Probleme im Seminar Fragen der Philosophie oder der Erkenntnistheorie aufgeworfen wurden, besonders aufmerksam zuhörte und unter starker innerer Beteiligung mitdiskutierte.“ Neben der Kritik an den klassischen Grundbegriffen Raum und Zeit durch Einsteins Relativitätstheorie war es vor allem der Kausalitätsbegriff in der Quantenmechanik, der hinterfragt wurde. Ich möchte dies an einem Beispiel skizzieren, das dem bei Heisenberg disku-

tierten ähnlich ist und die Frage der Kausalität im Zusammenhang mit dem radioaktiven Zerfall behandelt. Darüber hinaus werde ich dann – als Vorbereitung auf Herrn Patzigs Ausführungen – versuchen, dieses Beispiel weiterzuentwickeln und aufzuzeigen, was man unter der „Kopenhagener Deutung der Quantenmechanik“ versteht.

Nehmen wir an, wir hätten eine radioaktive Quelle präpariert, die  $^{239}\text{U}$ -Atome enthält. Jeder  $^{239}\text{U}$ -Kern zerfällt zu  $^{239}\text{Np}$  unter Aussendung eines Elektrons, und zwar mit einer Lebensdauer von 23,5 min (siehe Abbildung 6). Das heißt: Nach 23,5 min sind 63% der anfänglich vorhandenen  $^{239}\text{U}$ -Kerne zerfallen. Außerdem stellt man fest, dass die Emissionswahrscheinlichkeit der Elektronen im Raum isotrop ist. Wenn wir diesen radioaktiven Zerfall klassisch beschreiben, dann müssten wir für jeden  $^{239}\text{U}$ -Kern im Prinzip vorhersagen können, zu welchem Zeitpunkt er aus welchen Gründen zerfällt und in welche Richtung das dazugehörige Elektron ausgesandt wird. Genauer: wir sondern experimentell oder gedanklich ein einzelnes  $^{239}\text{U}$ -Atom aus und müssten nun – klassisch gesehen – den Zeitpunkt seines Zerfalls vorausberechnen können. Offensichtlich widerspricht dies aber der Beobachtung, indem die Zerfälle zeitlich unregelmäßig geschehen und wir nur die Zerfallswahrscheinlichkeit messen und auch theoretisch vorhersagen können. Somit ist entweder das strenge Kausalgesetz im Kantischen Sinne verletzt, oder aber wir haben den Prozess nicht vollständig beschrieben. Es könnte z. B. verborgene Parameter geben, die wir entweder experimentell nicht kennen oder – was verhängnisvoller wäre – in der Theorie gar nicht berücksichtigt haben. Falls aber die quantentheoretische Beschreibung des Systems vollständig ist, wovon Bohr und Heisenberg ausgingen, dann ist das Kausalgesetz im strengen Sinne des Einzelprozesses verletzt, und wir können nur über Wahrscheinlichkeiten sprechen. Soweit die Gedankengänge in Heisenbergs Buch [42, 43].

Wie ich Ihnen bisher den  $^{239}\text{U}$ -Zerfall beschrieben habe, ist noch recht rudimentär, denn ich habe Ihnen den Messprozess nicht geschildert. Für jeden zerfallenden  $^{239}\text{U}$ -Kern wird ein Elektron ausgesandt, und gerade dieses Elektron (mit seinen Eigenschaften wie Masse, Flugrichtung, Geschwindigkeit) ist der einfachste experimentelle Indikator des Prozesses. Zu seinem Nachweis benötigen wir eine Apparatur und verwenden dazu (historisch korrekt, aber heute etwas antiquiert) eine Nebelkammer. Sie erinnern sich: im übersättigten Wasserdampf entstehen entlang der Bahn des Elektrons kleine Tröpfchen, die wir entweder direkt oder unter dem Mikroskop beobachten können. Die Dichte der Tröpfchen und die Länge der Spur verraten uns etwas über die Masse und die Energie des durchfliegenden Teilchens. Ich habe nun gerade diesen Detektortyp gewählt, weil er die individuellen

Zeitpunkte der Zerfälle und die Geometrie der Elektronenspuren im Ortsraum zu messen erlaubt und damit die Folgen des radioaktiven Prozesses in unseren gewohnten klassischen Koordinaten von Raum und Zeit direkt anschaulich sichtbar = erfahrbar macht. Die Trennung zwischen dem quantenmechanisch zu beschreibenden atomaren Prozess, eben dem  $\beta$ -Zerfall von  $^{239}\text{U}$ -Kernen, und der klassischen Beschreibung der Information über diesen Prozess nennt man die „Kopenhagener Deutung“.

Vordergründig können wir uns in unserem Beispiel mit der Deutung der Elektronenspuren in der Nebelkammer zufriedengeben. Wir können z. B. die Zahl der Zerfälle pro Minute und damit die Lebensdauer von  $^{239}\text{U}$  bestimmen. Und so ähnlich machen es unsere Studenten im Physikalischen Praktikum. Aber wir haben nicht wirklich verstanden, auf welche Weise die Elektronen im übersättigten Dampf der Nebelkammer Spuren erzeugen. Diesen relativ komplizierten Prozess möchte ich hier nicht in seinen Einzelheiten beschreiben. Man weiß aber, dass das hochenergetische Elektron aus dem  $^{239}\text{U}$ -Zerfall inelastische Stöße mit den Molekülen der Füllgase der Nebelkammer, also z. B. Luft und Wasserdampf, macht, dabei geladene Atome und Moleküle, sogenannte Ionen, erzeugt, die ihrerseits Wassermoleküle an sich binden und schließlich zu makroskopisch sichtbaren Tröpfchen reifen. Wichtig an diesen Vorgängen ist, und deshalb habe ich das anschauliche Beispiel der Nebelkammer gewählt, dass es sich auch hier wieder weitgehend um atomare Prozesse handelt, die wir teilweise ebenfalls quantenmechanisch behandeln müssen und keinesfalls klassisch. Nur die Tatsache, dass das Zerfallselektron auf seinem Weg eine große Zahl von Stößen macht, bei jedem Stoß nur etwas Energie abgibt und seine Richtung kaum ändert, führt dazu, dass wir eine makroskopische Nebelkammerspur beobachten können. Nebenbei gesagt, ist dieser Kondensstreifen einige  $\mu\text{m}$  breit und damit im Ortsraum so schlecht definiert, dass wir auch mit der Unschärferelation nicht in Konflikt kommen. Außerdem: würden wir beispielsweise – und völlig hypothetisch – die Zerfallselektronen durch Beugung an einem Doppelspalt nachweisen, so ergäbe sich ein Beugungsmuster, das wir im Wellenbild des Elektrons erklären müssten. Unschärferelation und Welle-Korpuskel-Antinomie sind aber gerade die klassisch nicht erklärbaren Pfeiler der Quantenmechanik.

Ich habe diese Zusammenhänge in der sehr vereinfachenden Sprache des Experimentalphysikers und nicht in jener eines Philosophen oder Quantentheoretikers an dem relativ einfachen Beispiel des spontanen radioaktiven Zerfalls und der Messung eines Zerfallsproduktes beschrieben. Einfach deshalb, da hier der Messprozess am Elektron den Kernzerfall selbst nicht beeinflusst, z. B. den Zeitpunkt des nächsten Zerfalls. Viel häufiger tre-

ten jedoch Situationen auf, in denen der Messprozess selbst den quantenmechanischen Zustand des zu untersuchenden Objekts beeinflusst oder gar erzeugt, und dann ist natürlich die Grenze zwischen klassischer und quantenmechanischer Beschreibung noch schwieriger, wenn nicht gar unmöglich zu ziehen. Dann muss man wirklich in die Sprache der Wellenpakete oder die der  $\psi$ -Funktion einsteigen, und das möchte ich Ihnen nicht zumuten. Mit „dankenswerter Klarheit“ [41] hat Weizsäcker, den man ebenfalls der Kopenhagener Schule zurechnen darf, diesen Standpunkt formuliert [44]: „Die  $\psi$ -Funktion ist als Wissen definiert. [. . .] Sie ist identisch mit dem Ereignis, in dem der Beobachter ein Faktum erkennt. Sie geschieht noch nicht, solange nur Messobjekt und Messapparatur wechselwirken, auch nicht, solange der Apparat nach Ablauf der Messwechselwirkung unabgelesen dasteht; sie ist der Wissensgewinn durch die Ablesung.“ In dem Kriminalroman „Schilf“ [45] der Autorin Julie Zeh liest sich dieser Zusammenhang fast wie ein Bonmot: „Kein elementares Phänomen ist ein reales Phänomen, bis es ein beobachtetes Phänomen geworden ist.“

### 7. Übergang

Ich nannte Carl Friedrich von Weizsäcker einen genialen Grenzgänger und füge hinzu: er war ein genialer Kommunikator. Lüst [46] hat 2002 in seiner Geburtstagsansprache Weizäckers hervorragende Gaben des Vortrags und des Zuhörens gerühmt, als er sagte: „In Ihren Vorträgen zeigen Sie eine Meisterschaft der Darstellung, auch die schwierigsten Probleme können Sie verständlich machen. Inhalt und Sprache waren in ihrer Klarheit stets auf das Neue beeindruckend.“ Diese Fähigkeit ist vor allem in seiner zweiten Lebenshälfte einem breiten Publikum offenbar geworden und hat auch zu einer großen Zahl von Ehrungen auf vielen Gebieten geführt, bis hin zum Vorschlag, ihn zum Bundespräsidenten zu wählen. Aus dem Jungen, der sich mit 11 Jahren als „träumerisch, ängstlich, zugleich exuberant“ [25] fühlte, ist ein hervorragender, weithin sichtbarer Wissenschaftler und mitreißender Redner geworden, dessen Rat gesucht und dessen Ansichten über die Parteien hinweg gehört werden, sei es zu Politik und Bewusstsein, zu Religion und Anthropologie, zur Rolle Deutschlands und Europas innerhalb der Weltmächte. Und immer wieder seine Mahnung zum Frieden und zu dem dazu notwendigen Bewusstseinswandel. So überschreibt Weizsäcker sein letztes großes Werk, das er mit dem Gedicht von Karl Kraus „Zum Ewigen Frieden“ beschließt:

Für alles Werden, das am Menschen krankt,  
 stirbt der Unsterbliche. Er glaubt und dankt.  
 Ihm hellt den Abschied von dem dunklen Tag,  
 dass dir noch einst die Sonne scheinen mag.  
 Durchs Höllentor des Heute und Hienieden  
 vertrauend träumt er hin zum ewigen Frieden.

Die höchste Form vernünftigen Denkens ist jedoch die Philosophie – und ihr gehörte Weizsäckers besondere Liebe, wie Herr Patzig im folgenden ausführen wird. In einer sehr typischen Mischung aus Bescheidenheit und Selbstdarstellung schrieb Weizsäcker dazu 1977 [47]: „Ich weiß, wie weit ich noch hinter gründlicher Kenntnis und adäquatem Verständnis Kants und Platons zurückbleibe, aber ich denke mir, wenn ich ihnen auf den Wiesen des Hades begegnete, würden sie mich eines Gespräches würdigen.“ Hoffen wir, dass diese Erwartung nun in Erfüllung gegangen ist!

Der Verfasser dankt herzlich Hubert Goenner, Otto Gerhard Oexle, Hermann Schmalzried und Ute Vos für Anregungen und Hinweise und seinem Vater Willi Lieb für viele fruchtbare Gespräche. In dessen Bücherschrank waren Weizsäckers Werke kurz nach Erscheinen zu finden und wurden dort sorgfältig gehütet. Herrn Feindt vom IWF, Göttingen, danke ich für die Überlassung von Bildmaterial und Herrn Dr. Hunger für Akteneinsicht im Universitätsarchiv.

## Literatur

- [1] C. F. von Weizsäcker, *Lieber Freund! Lieber Gegner!* (Hanser, München, 2002).
- [2] C. F. von Weizsäcker, *Selbstgespräch*, in: *Bewußtseinswandel* (Hanser, München, 1988) S. 354 ff.
- [3] P. Dürr, *Physik Journal* 6 (2007) 54.
- [4] C. F. von Weizsäcker, *Die Geschichte der Natur* (Hirzel, Leipzig, Stuttgart, Zürich, 1948).
- [5] C. F. von Weizsäcker, *Zeitschrift für Physik* 88 (1934) 612;  
 J. E. Williams, *Physical Review* 45 (1934) 729.
- [6] C. F. von Weizsäcker, *Zeitschrift für Physik* 96 (1935) 431.
- [7] A. S. Eddington, *Internal Constitution of Stars* (Cambridge University Press, 1926).
- [8] C. F. von Weizsäcker, *Zeitschrift für Physik* 39 (1938) 633; H. Bethe, *Physical Review* 55 (1939) 434.
- [9] O. Hahn und F. Strassmann, *Naturwissenschaften* 27 (1939) 11 und 89.
- [10] S. Flügge, *Naturwissenschaften* 37 (1939) 402.
- [11] K. Schlüpmann, *Vergangenheit im Blickfeld eines Physikers. Hans Kopfermann 1895–1963*, in: <http://www.aleph99.org/etusci/ks/index.htm> (2003).
- [12] H. Wohlfahrt, Hrg., *40 Jahre Kernspaltung* (Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt, 1979).

- [13] F. Krafft, *Im Schatten der Sensation. Leben und Wirken von Fritz Strassmann* (Chemie-Verlag, Weinheim, 1981).
- [14] C. F. von Weizsäcker im Gespräch mit M. Schaaf und H. Spitzer (1996), in: [http://censis.informatik.uni-hamburg.de/publications/Art\\_M\\_Schaaf\\_Weizsaeck.pdf](http://censis.informatik.uni-hamburg.de/publications/Art_M_Schaaf_Weizsaeck.pdf)
- [15] O. G. Oexle, Hahn, Heisenberg und die anderen. Anmerkungen zu „Kopenhagen“, „Farm Hall“ und „Göttingen“, in: *Geschichte der Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft im Nationalsozialismus*, Teil 9 (Berlin, 2003).
- [16] M. Walker, *Die Uranmaschine, Mythos und Wirklichkeit der deutschen Atombombe*, (Siedler-Verlag, Berlin, 1990); M. Walker, *Otto Hahn, Verantwortung und Verdrängung*, in: *Geschichte der Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft im Nationalsozialismus*, Teil 10 (Berlin, 2003).
- [17] L. Meitner und O. R. Frisch, *Nature* 143 (1939) 230.
- [18] N. Bohr und J. A. Wheeler, *Physical Review* 36 (1939) 470.
- [19] H. von Halban, F. Joliot und L. Kowarski, *Nature* 143 (1939) 470 und 680.
- [20] C. F. von Weizsäcker, *Bericht für das Heereswaffenamt vom 17.07.1940* (Deutsches Museum, München).
- [21] S. A. Goudsmit, *ALSOS* (Henry Schuman Inc., New York; 1949); zitiert in: [11] K. Schlüpmann, Kap. 9.
- [22] Vgl. C. Frank, Hrg., *Operation Epsilon: The Farm Hall Transcripts* (Bristol, 1993); hier zitiert nach der Übersetzung von D. Hoffmann, Hrg., *Operation Epsilon: Die Farm-Hall-Protokolle oder Die Angst der Alliierten vor der deutschen Atombombe* (Berlin, 1993) S. 172.
- [23] C. F. von Weizsäcker, *Deutsche Studentenzeitung* (8. Mai 1957).
- [24] C. F. von Weizsäcker, *Selbstdarstellung*, in: *Der Garten des Menschlichen. Beiträge zur geschichtlichen Anthropologie* (Hanser, München, 1977) S. 412 ff.
- [25] C. F. von Weizsäcker, in *Selbstgespräch*, in: *Bewußtseinswandel* (Hanser, München, 1988) Kap. 6.4.
- [26] W. Heisenberg, *Schreiben vom 24. Mai 1950*, *Archiv der Akademie der Wissenschaften, Göttingen*.
- [27] C. F. von Weizsäcker, *Schreiben vom 21. Juli 1950*, *Archiv der Akademie der Wissenschaften, Göttingen*.
- [28] R. Lüst, C. F. von Weizsäcker in: *Göttingen – Arbeiten zur Astrophysik* (2004), in: [http://censis.informatik.uni-hamburg.de/publications/Vortrag\\_Luest\\_CFvW\\_Sem\\_SoSe04.pdf](http://censis.informatik.uni-hamburg.de/publications/Vortrag_Luest_CFvW_Sem_SoSe04.pdf).
- [29] C. F. von Weizsäcker, *Zeitschrift für Physik* 22 (1943) 39.
- [30] C. F. von Weizsäcker, *Zeitschrift für Astrophysik* 24 (1947) 181; W. Heisenberg und C. F. von Weizsäcker, *Zeitschrift für Physik* 125 (1948) 290; siehe auch C. F. von Weizsäcker, *Astrophysical Journal* 114 (1951) 165; *Zeitschrift für Astrophysik* 35 (1955) 252.
- [31] D. Bald, *Die Zeit* (2. Juni 2005); D. Bald, *Die Bundeswehr – eine kritische Geschichte 1955–2005* (Beck, München, 2005); B. Fleckenstein, *50 Jahre Bundeswehr*, *Aus Politik und Zeitgeschichte* Nr. 21 (2005).
- [32] F. Walter, *Aufstand der Atomforscher*, *Spiegel online* (10. April 2007)
- [33] O. Nassauer, <http://www.friedenskooperative.de/ff/ff05/4-51.htm> (2005).

- [34] C. F. von Weizsäcker, *Bewußtseinswandel* (Hanser, München, 1988) S. 384; W. Heisenberg, in: *Der Teil und das Ganze* (Pieper, München, 1969) Kap. 18.
- [35] N. Benckiser, *Frankfurter Allgemeine Zeitung* (11. Juni 1958).
- [36] J. C. Street und E. C. Stevenson, *Physical Review* 52 (1937) 1003; C. M. G. Lattes, H. Muirhead, G. P. S. Occhialini und C. F. Powell, *Nature* 159 (1947) 694.
- [37] R. P. Feynman, *QED – The Strange Theory of Light and Matter* (Princeton University Press, Princeton, 1985).
- [38] Th. Görnitz, *Physik Journal* 6 (2007) 56.
- [39] C. F. von Weizsäcker, in *Die Einheit der Natur* (Hanser, München, 1971) S. 207.
- [40] S. L. Glashow, *Nuclear Physics A* 22 (1961) 579; A. Salam und J. C. Ward, *Physics Letters* 13 (1964) 168; S. Weinberg, *Physical Review Letters* 19 (1967) 1264; A. Salam, in: *Elementary Particle Theory, The Nobel Symposium No. 8* (Almqvist & Wiksell, Stockholm, 1968) S. 367.
- [41] E. Scheibe, *Die Philosophie der Physiker* (Beck, München, 2006) Kap. X.
- [42] W. Heisenberg, in: *Der Teil und das Ganze* (Pieper, München, 1969) Kap. 10.
- [43] W. Heisenberg, in: *Physik und Philosophie* (Ullstein, Berlin, 1959) Kap. III.
- [44] C. F. von Weizsäcker, in: *Aufbau der Physik* (Hanser, München, 1985) S. 526.
- [45] J. Zeh, in: *Schilf* (Schöffling & Co, Frankfurt, 2007) S. 345.
- [46] R. Lüst, *Physik Journal* 6 (2007) 53.
- [47] C. F. von Weizsäcker, in: *Der Garten des Menschlichen. Beiträge zur geschichtlichen Anthropologie* (Hanser, München, 1977) S. 435.