



Wir beginnen in diesem Heft mit der Veröffentlichung von Vortragsauszügen aus der im Oktober und November 1938 im Haus der Technik, Essen, durchgeführten „Naturwissenschaftlichen Vortragsreihe“. Eine zweite Folge wird in einem der nächsten Hefte erscheinen.

Die Schriftleitung.

Determinismus oder Indeterminismus?*)

Nach einem Vortrag von Prof. Dr. Max Planck, Berlin, von Dr. Dorner, Essen

Max Planck, Träger des Nobelpreises und Inhaber des Adlerschildes des Deutschen Reiches, hat der Physik durch die Erkenntnis des quantenhaften Charakters der Energie völlig neue Bahnen gewiesen. Die Quantentheorie zwingt zu einer Umprägung der Grundbegriffe der klassischen Physik und eröffnete damit die vielleicht bisher revolutionärste Periode physikalischer Forschung.

Im letzten Jahrzehnt hat Planck sich vornehmlich den erkenntnistheoretischen Grundlagen der Naturwissenschaften gewidmet und in einer Reihe bedeutungsvoller Vorträge zu diesen Fragen Stellung genommen. Da der Vortrag „Determinismus oder Indeterminismus“ bei Johann Ambrosius Barth, Leipzig, erschienen ist, können wir hier leider nur einen Auszug aus dem Vortrage bringen.

Planck führte etwa folgendes aus:

Ist alles, was in der Welt geschieht, im voraus bis auf jede Einzelheit festgelegt, determiniert, oder ist es nicht determiniert? In der Wissenschaft gibt es gegenwärtig zwei Richtungen, die sich diametral gegenüberstehen, die Determinismus, die Indeterminismus. Die eine Gruppe von namhaften Gelehrten ist der Meinung, alles Geschehene verlaufe gesetzmäßig, die andere glaubt sich zu der Annahme gezwungen, daß man in manchen Fällen Ursache habe, an dem gesetzmäßigen Ablauf eines Prozesses zu zweifeln, so daß dann an die Stelle der Gesetzmäßigkeit der Zufall oder die Willkür zu treten habe. Planck zeigte dann an verschiedenen Beispielen, daß beide Richtungen von ganz verschiedenen Voraussetzungen ausgehen und daher zu verschiedenen Resultaten kommen. Als erstes Beispiel wählte er die Wetterprognose. Ist das morgige Wetter determiniert oder indeterminiert? „Unter allen Prophezeiungen scheint die Wetterprognose die trügerischste zu sein; wenn man aber bedenkt, daß die Faktoren, von denen das Wetter abhängt, Temperatur, Luftdruck, Windrichtung und -stärke, Feuchtigkeit usw., bekannten physikalischen Gesetzen unterliegen, wird man das morgige Wetter als durchaus determiniert ansehen müssen.“ Unsere Unkenntnis der tatsächlichen Verhältnisse indessen läßt es uns indeterminiert erscheinen. Zur genauen Entscheidung der Frage, ob ein Vorgang determiniert oder indeterminiert sei, ist eine scharfe Untersuchung und Präzisierung der Begriffe: wirklich, scheinbar, als ob nötig. Was ist

z. B. bei einem Stern, den wir beobachten, das Wirkliche? Die glühende Materie oder die Lichtempfindung? Beim Beispiel des Wetters kann man sagen, wirklich sind nicht die physikalischen Gesetze und ihre Anwendung zur Berechnung der Einzelheiten des Wetters, sondern wirklich sind die Meteorologen, alles andere ist Theorie. Bei diesem Standpunkt ist das morgige Wetter indeterminiert.

Je nachdem man also für die Wetterbestimmung die genaue Anwendung der physikalischen Gesetze oder die tatsächlich zur Verfügung stehenden Hilfsmittel der Meteorologie als Voraussetzung zugrunde legt, kann man das Wetter als determiniert oder indeterminiert bezeichnen.

Ein zweiter Fall. Jemand stürzt sich von einem Turm herunter. Hier tritt das uralte Problem der Willensfreiheit auf. Vom Standpunkte objektiver, wissenschaftlicher Beobachtung ist der menschliche Wille als durchaus determiniert anzusehen, denn der Historiker, Psychologe, Psychiater müssen voraussetzen, daß die Willensentscheidungen der Persönlichkeiten auf Motive und damit Ursachen bewußter oder unbewußter Art zurückgehen; diese Motive sind in der Art der Persönlichkeit begründet und werden durch äußere Ursachen ausgelöst. Es gibt auch hier zwei Standpunkte. Der zweite vom eigenen Ich ausgehende sagt: Das Wirkliche ist unser Selbstbewußtsein. Dieses hat bei seinen Entscheidungen das Gefühl, sich frei entscheiden zu können. Auch im Falle des Problems der Willensfreiheit liegt ein Streit über die Betrachtungsweise oder die Voraussetzungen vor. Sie sind anders für einen fremden Beobachter als für das eigene Ich. Vom objektiven Standpunkte aus muß der menschliche Wille unter Einbeziehung aller ihn bestimmenden Ursachen als determiniert gelten, vom subjektiven des Selbstbewußtseins aus als frei. Allgemein kann man sagen, bei der Entscheidung der Frage, ob bestimmte Erscheinungen determiniert oder indeterminiert sind, sind verschiedene Voraussetzungen möglich. Passende Änderung der Voraussetzungen wird es meist erlauben, ein indeterminiertes Geschehen zu einem determinierten zu machen und umgekehrt.

Da die Wissenschaft die Aufgabe hat, die Zusammenhänge im Ablauf von Geschehnissen zu erkennen, wird sie stets ihre Voraussetzungen so zu wählen haben, daß das Geschehnis voll determiniert ist. Diesem Prinzip zuliebe muß sie sich stellenweise vom praktischen Leben entfernen; das ist zwar ein schweres Opfer, aber es muß gebracht werden.

*) Vortrag, gehalten am 28. Oktober 1938 im Haus der Technik, Essen.

Nach dieser allgemeinen Klärung der Begriffe kam Planck auf die moderne Physik, vor allem die Fragen zu sprechen, die durch die Quantenmechanik aufgeworfen wurden. Sind die feinsten atomaren physikalischen Vorgänge determiniert oder nicht determiniert? Er wählte als Beispiel einen Strahl von Elektronen, die sich in gleicher Richtung und Geschwindigkeit, sonst ungeordnet bewegen. Sie fallen schräg auf ein sehr dünnes Kristallblättchen. Dann wird ein genau angegebener Prozentsatz vom Kristall reflektiert; der Rest fliegt durch. (Die evtl. zurückbleibenden Elektronen brauchen nicht berücksichtigt zu werden). Nehmen wir nun diesen Vorgang nur für ein Elektron an, dann gibt es hier nur ein Entweder-Oder: entweder es wird reflektiert, oder es geht durch; denn spalten kann es sich nicht. Der Vorgang des Aufprallens eines Elektronenstrahls auf ein Kristallblättchen unterliegt demnach einem statistischen Gesetz. Die Reflexion eines einzelnen Elektrons muß als indeterminiert angesehen werden; bei einer großen Anzahl von Elektronen aber wird das Verhalten durch das Reflexionsgesetz bestimmt. Kann nun der als indeterminiert erkannte Vorgang der Reflexion eines einzelnen Elektrons an einem Kristallblättchen wie bei den anderen Beispielen durch passende Wahl der Voraussetzungen auch zu einem determinierten gemacht werden? Man behauptet vielfach, daß dieser Vorgang der Elektronenreflexion prinzipiell indeterminiert sei und die Frage nach den Bedingungen seiner Reflexion physikalisch sinnlos sei, denn sinnvoll seien nur Fragen, die durch Messungen geprüft werden können. Planck untersuchte zunächst diesen Einwand. Er kam zu der Feststellung, daß keine physikalische Frage ohne Zuhilfenahme einer Theorie eindeutig beantwortet und durch Messungen geprüft werden könne. Denn bei jedem Meßergebnis wirken mehrere verschiedene physikalische Vorgänge zusammen. Sie zu entwirren, bedarf es einer Theorie. Außerdem verlangt jedes Meßergebnis Korrekturen, z. B. sind diese bei jeder feineren Wägung nötig. Dazu kommt die Feststellung, daß eine ganze Anzahl von Fragen, je nach dem Wandel der Theorie, als sinnlos oder sinnvoll zu gelten hat. Z. B. waren früher als sinnlos anzusehen: Die Fragen nach der gegenseitigen Umwandlung der Elemente, oder die Entstehung der Materie aus Licht. Heute erscheint uns die Frage nach der Konstruktion eines „perpetuum mobile“ sinnlos, weil und solange wir auf dem Boden des Gesetzes der Erhaltung der Energie stehen.

Den prinzipiellen Indeterminismus vermag man durch ein allgemeines Kriterium nicht zu begründen. Um so vorsichtiger muß man bei seiner Einführung sein. Planck geht nun auf die Schwierigkeiten bei der Durchführung des Prinzips des Indeterminismus näher ein. An sich wäre ein Versuch der Durchführung des Indeterminismus logisch denkbar.

Die meisten Forscher, die für Indeterminismus eintreten, gehen nicht so weit, einen prinzipiellen allgemeinen Indeterminismus anzunehmen. Sie sagen: Bei allen atomaren mikrophysikalischen Vorgängen herrscht Indeterminismus, bei den molaren makrophysikalischen Determinismus. Diese Trennung würde eine scharfe Grenze zwischen Makro- und Mikrophysik bedingen. Eine solche ist aber nicht möglich, weil Größenordnungsgebiete allmählich ineinander übergehen; wie die Forschungen der Kolloid- und Biochemie zeigen, lassen sich auch molare und molekulare nicht prinzipiell voneinander unterscheiden. Auch bei Annahme eines allmählichen Überganges zwischen deterministisch-molaren und indeterministisch-atomaren Vorgängen kommt man in Schwierigkeiten, denn jeder Vorgang, in den nur eine Spur von Indeterminismus hineinspielt, wird indeterminiert.

Will man nun prinzipiell nur Indeterminismus gelten lassen, so würden unsere universellen Konstanten, Elektronenladung, Wirkungsquantum usw. nur noch als Mittelwerte zu gelten haben, keine exakten Zahlen mehr sein. Gesetze wie das Prinzip der Erhaltung der Energie würden nur noch statistischen Charakter tragen. Das erscheint nicht gerade „verheißungsvoll“. Es ist außerdem noch folgender grundsätzlicher Einwand zu machen. Es ist unmöglich, der erfahrungsgemäßen Gesetzmäßigkeit der Natur gerecht zu werden bei grundsätzlicher Annahme des Indeterminismus; denn man kann nicht die Ordnung aus der Unordnung, den Kosmos aus dem Chaos ableiten. Der behauptete Vorteil der indeterministischen Betrachtungsweise, daß sie keiner besonderen Voraussetzungen bedürfe, um die Gesetzmäßigkeit abzuleiten, besteht auch nicht zu Recht; denn die Gesetze der Wahrscheinlichkeitsrechnung verlangen bestimmte Festsetzungen über gleichwahrscheinliche Fälle.

Es bleibt also nur übrig zu versuchen, auch die atomaren Vorgänge als deterministisch zu betrachten. Ist ihr scheinbarer Indeterminismus vielleicht nur durch die Art unserer heutigen Voraussetzungen bedingt? Sollte es vielleicht gelingen, durch Änderung oder Ergänzung unserer klassischen Vorstellungen vom Elektron als Korpuskel auch den Vorgang der Elektronreflexion zu einem determinierten zu machen? Es wurde angenommen, daß das Elektron wie ein materieller Punkt mit bestimmter Geschwindigkeit an bestimmter Stelle auf den Kristall treffe. Diese Angabe genügt nicht, um zu entscheiden, ob das einzelne Elektron hindurchgeht oder reflektiert wird. Die Voraussetzung, das Elektron verhalte sich wie ein materieller Punkt, der zu bestimmter Zeit an einem und nur an einem Orte sich befindet, muß fallen. Dieser Schritt wird in der Wellenmechanik vollzogen. Nach Heisenbergs Gesetz der Unschärfe ist der Ort des Elektrons bestimmter Geschwindigkeit völlig unbestimmt, weil es keinen bestimmten Ort einnimmt. Denn ein Elektron entspricht einer bestimmten Materiewelle, die weder zeitlich noch räumlich begrenzt ist. Das Elektron befindet sich demnach an allen Orten zugleich. Man kann also keine bestimmte Antwort auf die Frage nach der Bahn des Elektrons verlangen. Das Gesetz der Unschärfe wird so die Vorbedingung, „der Rahmen“, wie Planck sagt, für die Möglichkeit einer determinierten Theorie der atomaren Vorgänge, es genügt aber noch nicht zur Entwicklung einer solchen Theorie, denn es enthält keine Gleichung, sondern nur eine Ungleichung. Niemand weiß, wie das neue Prinzip lauten wird, aus dem mit logischer Konsequenz eine determinierte Theorie der atomaren Vorgänge sich ableiten läßt. Die Aufstellung dieses Prinzips ist noch der Zukunft überlassen, der es auch obliegen wird, Wellenmechanik und Relativitätstheorie in Einklang zu bringen.

Wir müssen jedenfalls festhalten an dem Grundprinzip, daß alles Weltgeschehen unabhängig von den Menschen und den Meßinstrumenten ist. Bei immer steigender Verfeinerung der zu messenden Gegenstände genügen unsere Meßinstrumente nicht mehr, weil sie aus einer ungeheuren Zahl von Atomen bestehen. Diese groben Meßwerkzeuge beeinflussen die zu messenden Vorgänge und sind für die Erkenntnis der Vorgänge der Atome viel zu groß.

Hier hilft nur ein besonders feines Meßinstrument, das an keine Grenzen der Feinheit gebunden ist, der Flug unserer Gedanken.

„Gedanken sind feiner als Atome und Elektronen. In Gedanken vermögen wir leicht einen Atomkern zu spalten sowie eine kosmische Distanz von Millionen Lichtjahren zu überspringen. In dem unermeßlichen Reich der Gedankenwelt nimmt die Natur nur einen ganz

schmalen Bezirk ein. Zwar bedarf das Spiel der Gedanken zu seiner Anregung stets eines Anstoßes von außen durch irgendein Naturerlebnis. Von der Fähigkeit, in Gedanken über die Natur hinauszugehen, macht die physikalische Forschung von jeher erfolgreich Gebrauch." Er zeigte nun an einer Reihe von Beispielen aus der Geschichte der Naturwissenschaften, welche großen neuen Erkenntnisse dieser Wissenschaften gerade auf Gedankenexperimente zurückgehen.

In der klassischen Mechanik werden die Bewegungsgesetze materieller Systeme auf die einfachste und allgemeinste Form gebracht durch Heranziehen sogenannter virtueller Veränderungen (das sind solche Änderungen, die nur in Gedanken, aber nicht in der Natur vorkommen).

Willy Wien entdeckte das nach ihm benannte Verschiebungsgesetz durch die theoretische Berechnung der Farbenänderung, die ein Lichtstrahl bei Reflexion an einem bewegten Spiegel erleidet.

Heinrich v. Hoff leitete die Gesetze des osmotischen Druckes vermöge der Fiktion der semipermeablen Wand ab, die für Salz als undurchdringlich, für Wasser als voll durchdringlich anzusehen ist.

Emil Fischer entlehnte seine Gedankenbilder der Atomverkettungen der Kunstschlosserei. Sie verhalten ihm zur Aufspaltung und zur Synthese hochkomplizierter Moleküle.

Clerk Maxwell erkannte durch ein Gedankenexperiment den statistischen Charakter des zweiten Hauptsatzes der Wärmetheorie. Dieser Satz bezieht sich nur auf Vorgänge, an denen eine große Anzahl von Molekülen beteiligt ist, läßt aber die Bewegung einzelner Moleküle indeterminiert. Der zweite Wärmesatz besagt: Es ist unmöglich, in einem Körper von gleichmäßiger Temperatur ohne Arbeitsaufwand Temperatur- oder Dichtigkeitsunterschiede hervorzurufen. Maxwell denkt sich einen mit Gas gefüllten Raum durch eine Scheidewand, in der sich ein kleines Loch befindet, das verschließbar ist, in zwei Räume geteilt. In einem solchen Raume haben die Gasmoleküle verschiedene Geschwindigkeit. Wenn nun der Schieber des Loches von einem kleinen Wesen, das die einzelnen Gasmoleküle sehen kann, immer dann geöffnet gehalten wird, wenn ein schneller fliegendes Molekül aus dem ersten in den zweiten Raum, oder ein langsames vom zweiten in den ersten fliegt, so müssen nach einiger Zeit in dem zweiten Raum die schnelleren, im ersten die langsameren sich befinden. Die Betätigung des Schiebers würde keine Arbeit, sondern nur Intelligenz erfordern. Da den schnelleren Molekülen eine höhere Temperatur zukommt als den langsameren, so wäre damit ohne Arbeit eine Temperaturdifferenz hervorgerufen.

Ludwig Boltzmanns Feststellung der Zusammenhänge zwischen Entropie und Wahrscheinlichkeit setzt die Er-

kenntnisse Maxwells voraus; aber auch ihm verhalf ein „Gedankenspiel“, nämlich die Abzählung der Kombinationen bei Gruppierung gewisser passend ersonnener symbolischer Elemente zu seiner neuen Einsicht. Auch bei der kommenden Erweiterung der Begriffsbildung der klassischen Physik wird diese gedankliche Forschungsmethode ihre Leistungsfähigkeit erweisen.

Die kommende Forschung wird in steigendem Maße die Neigung haben, sich besonders von der reinen Anschaulichkeit zu entfernen und eine Wendung zum Abstrakt-Mathematisch Formalen zeigen. Eine Kritik an dieser Tatsache ist unberechtigt, denn dieser Weg ist zwangsläufig.

Im übrigen kommt dem Begriff „anschaulich“ kein bestimmter Inhalt zu. „Jeder Begriff, sei er noch so kompliziert, vermag anschaulich zu werden, wenn man lernt, mit ihm umzugehen, für ihn ein passendes anschauliches Symbol zu schaffen und nach allen Richtungen zu durchdenken. Wie zeitgebunden übrigens der Begriff der Anschaulichkeit ist, kann man aus der Tatsache ersehen, daß vor hundert Jahren der Begriff elektrischer Strom sehr unanschaulich war, heute operieren sogar viele Schüler mit diesem Begriff besser als mit dem Begriff des Flüssigkeitsstromes.

Bei allen Gedankenexperimenten darf nie außer acht gelassen werden, daß ihre Bedeutung nur darin besteht, sinngemäße Fragen an die Natur zu präzisieren. Ihre Berechtigung oder Unberechtigung erweist sich erst durch Prüfung der Resultate durch Messungen.

„Die vorwärtsdrängende Einbildungskraft des Theoretikers bedarf der strengsten Schulung und allseitigen Orientierung nach der Seite des mathematisch Zulässigen und nach der des experimentell Erfafßbaren.“ Plank schloß seine hochinteressanten und geistvollen Ausführungen mit den Worten: „Ich bin mir klar bewußt, daß unser aller Hauptgedanken gerade in der gegenwärtig so bewegten Zeit andere Wege gehen, daß sie häufig voll in Anspruch genommen werden von den großen Ereignissen, die sich rings um uns in der Welt abspielen.“

Aber mögen die Wogen der Erregung noch so hoch emporschlagen, es bleibt doch immer bei der alten Wahrheit, daß dem Gemeinwohl am besten gedient wird, wenn ein jeder an dem Platz, an den ihn das Schicksal gestellt hat, unbeirrt durch äußere Störungen nach bestem Wissen und Können, wenn auch nur in der Stille, den ihm obliegenden Pflichten nachgeht. Das lassen Sie auch uns jetzt beherzigen, und lassen Sie uns auch in diesem Zusammenhange nicht auf den Zufall bauen, sondern lassen Sie uns vertrauen auf die folgerichtige, nach inneren Gesetzen heranreifende Auswirkung einer jeden treuen und gewissenhaften Arbeit, zum Segen unseres teuren deutschen Vaterlandes.“

Die künstliche Umwandlung der chemischen Elemente^{*)}

Von Dr. Carlfriedrich Weiss, Berlin

Das zentrale Problem der Physik, die Frage nach dem Aussehen und dem Verhalten der Urbestandteile der Materie, ist so alt wie die Geschichte der Wissenschaft. Die Antwort, die die jeweiligen Epochen im Laufe stetig fortgeführter und verfeinerter Untersuchung zu erteilen vermochten, ist von Mal zu Mal komplizierter ausgefallen. Zur Erklärung der mengenmäßigen Gesetzmäßigkeiten, die die Chemiker um den Anfang des 19. Jahrhunderts herum konstatierten, und als

Grundlage der kinetischen Gastheorie hatte die Vorstellung eines undifferenzierten, homogenen und kugelförmigen Atoms als Baustein der Materie genügt. Man hatte so viel Atomarten anzunehmen, wie es chemische Elemente gibt, und diesen noch Anziehungskräfte zuzuschreiben, die unter Absättigung zur Molekülbildung führen. Gewiß dachten schon damals spekulative Köpfe weiter, wie Prout, der durch die angenäherte Ganzzahligkeit der Atomgewichte zu dem Postulat veranlaßt worden war, daß alle Atomarten aus

^{*)} Abbildungen des Verfassers.

Wasserstoff bestehen. Aber abgesehen von solchen damals nicht begründbaren und verfrühten Spekulationen, wurde lange Jahrzehnte hindurch das Atom als ein von der Natur gegebenes, letztes und unzerstörbares Gebilde betrachtet. Erst die großen Entdeckungen des 19. Jahrhunderts — die Elektrolyse, die Kathodenstrahlen, die Spektren der Elemente und die Radioaktivität — hatten gezeigt, daß das Atom seinen Namen zu Unrecht trägt. Die Analyse der elektrolytischen Erscheinungen hatte zum Begriff des Ions, d. h. des elektrisch geladenen Atoms, geführt und Aufschluß erteilt über die Art der chemischen Bindungskräfte. Die Beobachtung der Kathodenstrahlen bei der Untersuchung der verwickelten Erscheinungen des Elektrizitätsdurchgangs durch verdünnte Gase hatte zur Entdeckung des ersten Bausteins der Materie, des Elektrons, geführt. Das Elektron erwies sich als exakt definiertes Partikel mit einer Masse von rund $1/2000$ derjenigen des Wasserstoffatoms und war untrennbar mit einer negativ elektrischen Ladung bestimmter Größe verbunden, der Elementarladung. Es mußte auf Grund der Erscheinungen ein Bestandteil aller Atome sein. Wegen der elektrischen Neutralität der Atome nach außen hin mußte der Atomverband notwendigerweise auch noch einen positiven Ladungsträger enthalten. Weiterhin folgte aus der Entdeckung, daß die Atome leuchtender Gase einzelne scharfe Spektrallinien aussenden, in Verbindung mit der elektromagnetischen Lichttheorie, daß die positiv und negativ geladenen Teile des Atoms nicht aneinanderkleben, sondern sich in dynamisch zu beschreibenden Bewegungszuständen befinden. Die Tatsache, daß jedes chemische Element ein spezifisches Spektrum besitzt, erforderte die Annahme, daß die Unterschiede der Atome auf einem Unterschied in der Struktur und auf einem Unterschied in der Zahl der Elektronen beruhen. Die für die Kenntnis des Atombaus wichtigste Entdeckung war die der Radioaktivität. Sie ist der Ausgangspunkt für die gesamte Entwicklung geworden.

Die natürliche Radioaktivität

Der Franzose Becquerel entdeckte 1896 durch einen Zufall eine durchdringende Strahlung, die ohne äußere Einwirkung von der schwersten aller Atomarten, dem Element Uran, ausgeht. Es wurde bald von anderen Forschern eine Reihe weiterer Elemente entdeckt, die auch, wie man sagt, radioaktiv sind. Dazu gehört besonders das Radium, dessen Vermögen, die neuen Strahlenarten auszusenden, oder seine Aktivität, wie man sagt, die des Urans um das Millionenfache übertrifft. Im weiteren Fortgang der Forschung stellte Lord Rutherford fest, daß drei Strahlenarten ausgesandt werden, die sich in ihrem Verhalten stark voneinander unterscheiden. Sie wurden nach den Anfangsbuchstaben des griechischen Alphabets α -, β - und γ -Strahlen benannt. Als man durch Ablenkung in elektrischen und magnetischen Feldern Ladung und Masse der Teilchen bestimmte, da erkannte man die β -Strahlen als Elektronen wieder, während sich erstaunlicherweise die α -Teilchen als zweifach positiv geladene Helium-Ionen entpuppten. Die γ -Strahlen sind im Gegensatz zu α - und β -Teilchen nicht stofflicher Natur, sondern eine Lichtschwingung; sie ähneln den Röntgenstrahlen, sind aber noch viel durchdringender als diese.

Das Merkwürdige an den radioaktiven Vorgängen ist, daß sie sich durch nichts beeinflussen oder stören lassen. Ob man Radium auf 3000° erhitzt oder auf die Temperatur der flüssigen Luft abkühlt, ob man chemische Reaktionen mit ihm vornimmt, ob man es unter hohen Druck setzt oder starken elektrischen oder magnetischen Einwirkungen aussetzt, immer bleiben die Erscheinungen unverändert.

Die ausgesandten Strahlen lassen sich auf verschiedene Art nachweisen. Zunächst einmal kann man sie photo-

graphisch erfassen, denn alle drei Strahlenarten schwärzen die photographische Platte. Weiterhin haben diese Strahlen die Eigenschaft, daß sie die Luft elektrisch leitend machen. Bei ihrem rasenden Flug schlagen die α - bzw. β -Teilchen aus den Atomen, die sie streifen, Elektronen ab, es werden infolgedessen Ionen gebildet, die Luft wird ionisiert. Die Größe der erzeugten Leitfähigkeit der Luft ist ein Maß für die Menge der vorhandenen Strahlen. Auch die γ -Strahlen geben zur Ionisierung Veranlassung, aber auf indirekte Weise, indem sie Sekundärelektronen auslösen, die dann ihrerseits Ionen bilden. Bei den eben genannten Methoden wird die Wirkung einer großen Zahl von Strahlen gemessen. Es gibt aber Mittel und Wege, das einzelne α - oder β -Teilchen zu erfassen. Die anschaulichste Methode ist die der Sichtbarmachung der Bahnspur in einer Nebelkammer. Man läßt die Strahlen in eine durchsichtige Kammer aus Glas eintreten, in der sich feuchte Luft befindet. Verdünnt man plötzlich die Luft in der Kammer, beispielsweise durch einen beweglichen Kolben, so tritt durch die Expansion Abkühlung und damit Übersättigung ein; es schlägt sich Wasser in feinen Nebeltröpfchen nieder, und zwar gerade an den Ionen, die die Strahlen auf ihrem Wege durch die Kammer gebildet haben. Die Ionen dienen also als Kondensationskerne. Die entstandenen Nebelspuren kann man photographieren. Abb. 1 zeigt die Bahnen zweier α -Teilchen. Die untere Bahn ist die normale, geradlinig verlaufende. In seltenen Fällen gibt es auch Bahnen mit einem scharfen Knick, wie die obere Spur zeigt. Abb. 2 enthält Bahnspuren von β -Teilchen, die im Gegensatz zu α -Teilchen-Bahnen unruhig und vielfach gekrümmt verlaufen. Abb. 3 ist eine Aufnahme einer großen Zahl von Bahnen von α -Teilchen, die alle gradlinig von einem punktförmigen Präparat ausgehen. Alle Bahnen dieser Teilchen haben gleiche Länge. Diese scharf definierte Bahnlänge oder Reichweite, wie man sagt, ist ein Maß der Energie des α -Teilchens. Diese werden nämlich auf ihrem Weg durch die Luft allmählich gleichmäßig abgebremst, bis ihre Geschwin-

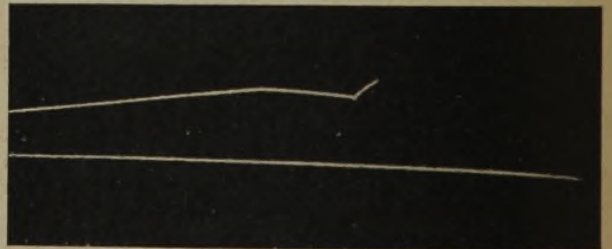


Abb. 1: Bahnspuren von zwei α -Teilchen in der Nebelkammer

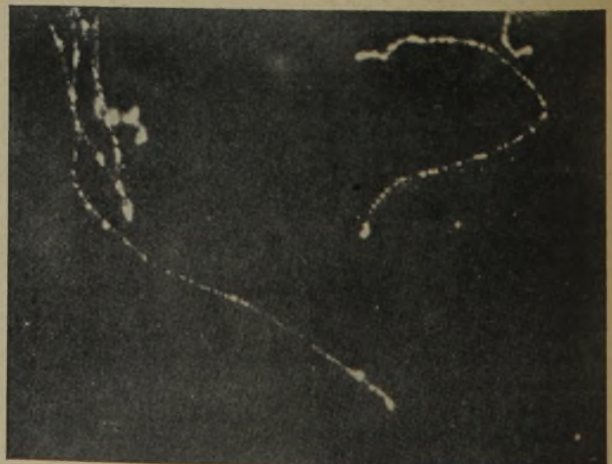


Abb. 2: Bahnspuren von Elektronen

digkeit so klein geworden ist, daß sie keine Ionen mehr bilden können. Dann entziehen sie sich jeder weiteren Feststellung. Diese Reichweite ist spezifisch für jeden α -Strahler; z. B. haben die α -Strahlen des Ra eine Reichweite von 3,39 cm, die des RaC' eine solche von 6,96 cm und die des Po eine solche von 3,87 cm.

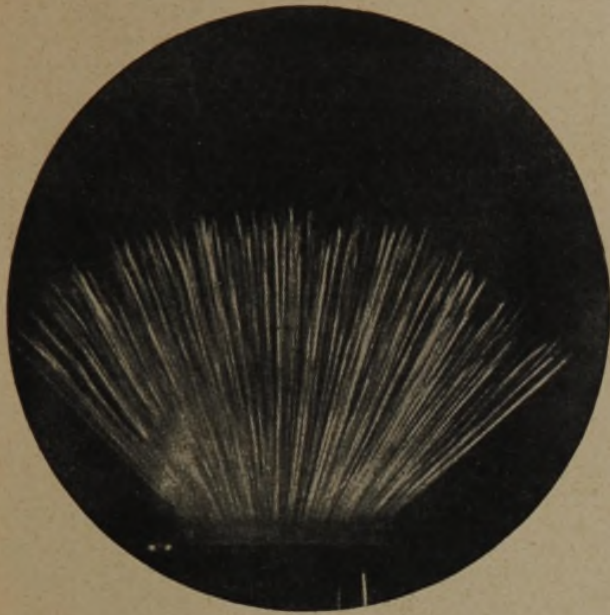


Abb. 3: α -Teilchen, von einem punktförmigen Präparat ausgehend

Eine weitere Methode, einzelne α -Teilchen zu beobachten, ist die sogenannte Szintillationsmethode. Beschießt man gewisse Kristalle, z. B. Zinkblende mit α -Teilchen, dann kann man im völlig verdunkelten Zimmer mit ausgeruhten Augen unter dem Mikroskop winzige Lichtblitze sehen. Jedes α -Teilchen erzeugt beim Auftreffen einen Blitz. Die Beobachtung ist sehr anstrengend, und es gehört große Geduld dazu, Szintillationen zu zählen.

In der neuesten Zeit verwendet man fast nur noch elektrische Zählmethoden. Eine der vielen Arten von „Zählern“ ist der sogenannte Spitzenzähler (Abb. 4); er besteht aus einer Metallspitze D, die in einen Stöpsel E aus isolierendem Material eingepaßt und von einer kleinen zylindrischen Metallkammer A umgeben ist. Durch ein kleines Loch B, gerade vor der Spitze, läßt man die α - oder β -Teilchen eintreten, die beobachtet werden sollen. Lädt man die Kammerwand auf eine bestimmte hohe Spannung auf, so geht jedesmal, wenn ein Teilchen die Öffnung durchläuft, ein sehr kurzer Stromstoß von der Wand zur Spitze über. Man kann diesen Stromstoß, der ankündigt, daß ein Teilchen eingedrungen ist, verstärken, und dann subjektiv oder objektiv zählen.

Atom und Atomkern

Wie man aus den Nebelkammeraufnahmen ersieht, gehen die α -Teilchen geradlinig durch die Luft. Das ist erstaunlich, wenn man bedenkt, daß sie pro Millimeter ihres Weges auf mehrere Tausend Luftatome treffen. Man erwartet, daß die α -Teilchen an den Luftatomen abprallen sollten. Nur sehr selten beobachtet man aber einen scharfen Knick in der Bahnspur. Die

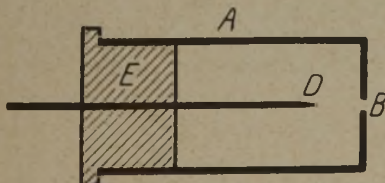


Abb. 4: Geigerscher Spitzenzähler

gleichen Erscheinungen konstatiert man auch beim Durchgang von α -Teilchen durch feste Metallfolien. Diese und viele andere Tatsachen sind es gewesen, die Lord Rutherford zu der Konzeption des heute gültigen Atommodells geführt haben. Bezeichnend für diese Vorstellung, die alle Erfahrungstatsachen widerspruchlos in sich faßt, ist, daß nahezu der gesamte Raum, den das Atom erfüllt, leer ist. In der Mitte des Atoms befindet sich auf ganz winzigem Raum der sogenannte Atomkern. Er enthält die gesamte Masse des Atoms und ist positiv elektrisch geladen. In Abständen, die ungeheuer groß sind im Verhältnis zum Durchmesser des Kerns, bewegen sich die Elektronen. Die mathematische Beschreibung der Elektronenbahnen führt allerdings im Rahmen der klassischen Mechanik und Elektrodynamik zu eklatanten Widersprüchen, die zunächst von Bohr heuristisch durch Einfügung quantentheoretischer Gesichtspunkte überwunden worden sind. Die konsequente Weiterentwicklung führte dann auf dem Weg über die Quanten- und Wellenmechanik zu einer widerspruchsfreien und geschlossenen Darstellung des atomaren Verhaltens, die im Prinzip keine Frage offen läßt.

Um zunächst eine Vorstellung von den Abständen im Atom zu bekommen und von dessen Dimensionen, denke man sich das Atom so vergrößert, daß der Kern die Größe einer Erbse erlangt hat. Dann bewegen sich die Elektronen, als Grießkörnchen, erst in etwa 250 Meter Entfernung. Man begreift, daß ein α -Teilchen, ebenfalls in der Größe einer Erbse, das man in dieses System schießt, ungehindert hindurchgeht. Nur wenn das α -Teilchen zufälligerweise in die Nähe eines Atomkernes gelangt, dann wird es, weil es positiv geladen ist, von dem ebenfalls positiv geladenen Kern abgestoßen und aus der Bahn geworfen. Noch seltener kommt es natürlich vor, daß ein Teilchen genau auf den Kern stößt — etwa ein α -Teilchen auf eine Million trifft. Das β -Teilchen, das rund 8000mal leichter ist als das α -Teilchen und sich daher viel leichter ablenken läßt, kann schon von den den Kern umgebenden Hüllenelektronen aus seiner Bahn geworfen werden. Daher auch seine unregelmäßige Spur.

Wie groß sind nun die Kernladungen der Atome? Sie nehmen in besonders einfacher Weise mit dem Atomgewicht zu. Schreibt man die Elemente in der berühmt gewordenen Reihenfolge des periodischen Systems der Elemente auf, beginnend mit dem leichtesten — Wasserstoff — und endend mit dem schwersten — Uran —, so zeigt sich, daß jedes Element eine Kernladung hat, die seiner Platznummer in dieser Reihe entspricht. Diese Nummer, die sogenannte Ordnungszahl, ist also gleich der Kernladungszahl. Der Wasserstoff hat demgemäß eine positive Elementarladung, der Urankern 92 Elementarladungen. Der Zahl der positiven Kernladungseinheiten entspricht die Zahl der Hüllenelektronen. Um den Wasserstoffkern läuft also ein Elektron, um den Urankern bewegen sich 92 Elektronen. Jedes chemische Element ist damit gekennzeichnet durch eine ganz bestimmte Kernladungszahl Z, eben seine Ordnungszahl in der Reihe der Elemente. Alle physikalischen und chemischen Vorgänge spielen sich nun nur an der Peripherie der Atome ab, eben in der Elektronenhülle. Die Emission von Licht oder Röntgenstrahlen hängt z. B. nur von Zustandsänderungen in der Elektronenhülle ab. Chemische Prozesse sind nur durch die Wechselwirkung der Elektronen bedingt. Der Kern des Atoms, also die Natur oder Art des Elements, bleibt von allen Vorgängen unbehelligt. Wenn man Elemente verwandeln will, dann muß man die Kernladung Z verändern, und dazu reichen die Energien der normalen physikalischen und chemischen Prozesse,

die sich nur zwischen den Außenelektronen abspielen, nie aus.

Was geht nun bei den radioaktiven Erscheinungen vor sich? Die schwersten Elemente senden von selbst α - und β -Teilchen aus. Wie sich gezeigt hatte, sind die Prozesse durch keinerlei uns zur Verfügung stehende Mittel zu stören oder zu beeinflussen. Also müssen diese Teilchen aus dem Kern der radioaktiven Atome stammen. Daraus folgt zweierlei: erstens, daß die Atomkerne selbst wieder zusammengesetzt sind, und zweitens, daß bei den radioaktiven Erscheinungen fortgesetzt Elementverwandlungen vor sich gehen, allerdings von selbst, ohne unser Zutun. Wenn aus einem Kern elektrisch geladene Bestandteile herausgehen, dann ändert sich ja seine Kernladung und damit sein chemischer Charakter. Im Lauf einer langen Zeit wandelt sich z. B. ein Uranatom unter fortgesetzter α - und β -Strahlung dauernd von einem Element ins andere um, um schließlich als Blei zur Ruhe zu kommen. Die vielen Umwandlungen vom Uran bis zum Blei sind bis ins einzelne untersucht und chemisch nachweisbar.

Jeder Kern ist außer durch seine Ladung noch durch eine weitere Konstante gekennzeichnet, nämlich durch seine Masse. Die Masse tritt nur bei einigen physikalischen Vorgängen als wesentlich in Erscheinung, z. B. bei Ablenkungen von schnellen Ionen in elektrischen und magnetischen Feldern. Gerade durch Kombination solcher Felder im sogenannten Massenspektrographen konnte Aston erstmalig zeigen, daß die Kernmasse eines chemischen Elements nicht eindeutig mit seinem chemischen Charakter gegeben ist, sondern, daß die meisten Elemente Gemische von mehreren Isotopen sind. Isotope sind also Atomarten, die chemisch identisch sind, deren Massen sich aber unterscheiden. Die Masse des reinen Isotops erweist sich als nahezu ganzzahlig, als ein Vielfaches einer Einheit, der Atomgewichtseinheit; diese Einheit ist ein $\frac{1}{16}$ der Masse des häufigsten Sauerstoffisotops = 16,00000 und weicht nur wenig von der Masse des Wasserstoffkerns ab. Die Konstanz der Atomgewichte der chemischen Elemente rührt nur von der Konstanz der Mischungsverhältnisse der zugehörigen Isotope her. Zu jedem Kern gehört also noch eine Massenzahl A, das zu ganzen Zahlen aufgerundete Vielfache der Kernmasseneinheit. So haben z. B. alle Sauerstoffatome die Kernladung 8, aber es gibt neben den weitaus häufigsten mit der Masse 16 auch solche mit der Masse 15, 17 und 18. Es ist üblich geworden, die Isotope dadurch zu bezeichnen, daß man Z und A als unteren bzw. oberen Index an das Elementsymbol anfügt, also $^{15}_8\text{O}$, $^{16}_8\text{O}$, $^{17}_8\text{O}$, und $^{18}_8\text{O}$.

Künstliche Kernumwandlung

Die künstliche, willkürlich vorgenommene Kernumwandlung — die sogenannte Atomzertrümmerung¹⁾ — verfährt nun gerade auf dem umgekehrten Wege, den die Natur bei der Radioaktivität beschreitet. Es werden Kernbausteine eingefügt, oder besser gesagt, eingeschossen. Nach allem, was vorhin über die Seltenheit von Kerntreffern gesagt wurde, sind solche Kern- oder Elementumwandlungen seltene Einzelereignisse am einzelnen Atom. Es erregte mit Recht großes Aufsehen, als es Lord Rutherford zum ersten Male gelang, den Einbau eines α -Teilchens in einen Kern zu beobachten, und zwar im Falle des Stickstoffs. Beschießt man Stickstoff mit α -Teilchen, so dringt bei einem Kerntreffer das α -Teilchen in den Stickstoffkern ein, bleibt drin stecken und wirft einen anderen Kern-

baustein, nämlich einen Wasserstoffkern, heraus. Der Wasserstoffkern hat Ladung und Masse 1 und ist der einzige Kern, der nicht zusammengesetzt ist. Deshalb hat er auch einen eigenen Namen erhalten, Proton. Abb. 5 zeigt schematisch die Kernumwandlung beim Stickstoff. Die linke Seite stellt einen Stickstoffkern

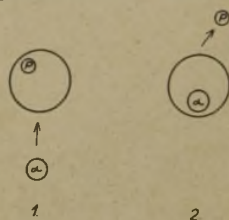


Abb. 5: Schematische Darstellung einer unter Protonenemission verlaufenden Umwandlung durch ein α -Teilchen

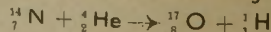
(großer Kreis) dar, in dem ein der vielen im Kern enthaltenen Protonen durch einen ganz kleinen Kreis mit einem P darin markiert ist. Ein α -Teilchen fliegt auf den Kern zu. Das rechte Bild zeigt, daß das α -Teilchen eingedrungen ist. Das herausgeworfene Proton fliegt nach irgendeiner Seite ab. Was ist nun aus dem Stickstoffkern geworden? Stickstoff hat die Kernladung 7. Das α -Teilchen

fügt zwei Ladungen zu, das Proton nimmt eine weg. Der neue Kern hat also die Ladung $7 + 2 - 1 = 8$. Das ist aber ein Sauerstoffkern. Dieser Schluß ist experimentell wohl fundiert. Abb. 6 ist eine Wilsonaufnahme der besprochenen Umwandlung. Die Bahnspur eines solchen Prozesses ist eine sogenannte Gabel. Man sieht zuerst die Bahn eines α -Teilchens, die sich an irgendeiner Stelle der Spur, nämlich da, wo das Teilchen zufällig einen Kern getroffen hat, vergabelt. Die eine Gabelspitze ist die Bahn des herausgeworfenen Protons, die andere die des neugebildeten Kerns.

Die künstlich hervorgerufene Kernumwandlung, die anfangs zunächst durch Beschießen von Kernen mit den natürlichen α -Teilchen, später auch mit hochbeschleunigten Wasserstoffkernen der Masse 1 (Protonen) oder 2 (Deuteronen) erzielt wurde, hat sich zu der Methode der Kernforschung entwickelt. Bei diesen künstlichen Umwandlungen vermögen die schnellen He- und H-Kerne, die durch hohe elektrische Felder auf Geschwindigkeiten um 10^8 bis 10^9 cm/sec beschleunigt worden sind, anderen Kernen entgegen den abstoßenden Coulombschen Kräften so nahe zu kommen, daß sie unter Umständen also in diese eindringen. Es entsteht dabei vorübergehend ein labiles Zwischengebilde, das wieder in andere stabile Kerne zerfällt. In den meisten Fällen entstehen dabei wieder nur zwei Kerne. Gewöhnlich ist dann der eine leicht ($A \leq 4$) und der andere schwer. Der leichtere hat nach dem Impulssatz unter den üblichen Beobachtungsbedingungen (Richtung nach vorwärts, d. h. in der

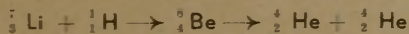


Abb. 6: Nebelkammeraufnahme der Umwandlung



¹⁾ Der Ausdruck Atomzertrümmerung ist unsinnig, weswegen er nicht mehr verwendet wird.

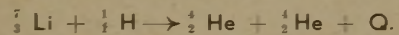
Richtung des einfallenden Teilchens oder auch senkrecht dazu) größere Geschwindigkeit und damit größere Reichweite; somit ist er auch einfacher zu beobachten. Man nennt daher auch den leichten Kern „das emittierte Teilchen“ und den schweren Kern, der in der Reaktion gebildet wird, den „Restkern“. Als einfaches Beispiel sei nun die Umwandlung des Lithium-Isotops ${}^7_3\text{Li}$ durch schnelle Wasserstoffkerne betrachtet, die erste, von Cockroft und Walton entdeckte Kernumwandlung durch künstlich beschleunigte Teilchen. Diese Kernreaktion verläuft nach dem folgenden Schema



Lithium- und Wasserstoffkerne sind verschwunden und zwei Heliumkerne (also α -Teilchen) sind entstanden; hier sind also Restkern und emittiertes Teilchen identisch. Bei der Umwandlung bleibt die Summe der Kernladungen erhalten, wie ein Vergleich der unteren Indizes in den einzelnen Stadien der Reaktionsgleichung zeigt, was nach dem Satz der Erhaltung der Ladung selbstverständlich ist. Auch die Summe der Massenzahlen bleibt erhalten, wie eine Betrachtung der oberen Indizes zeigt. Faßt man jedoch die genauen Massenverhältnisse ins Auge, dann muß man feststellen, daß bei dem Prozeß ein wenig Masse verschwunden ist. In der Tat, die gesamte Masse vor Ablauf des Prozesses beträgt $7,018 + 1,008 = 8,026$. Die gesamte Masse nach der Umwandlung ist dagegen nur die von zwei Heliumkernen $= 8,008$, so daß ein Betrag von $8,026 - 8,008 = 0,018$ Atomgewichtseinheiten an Masse fehlt. Der Satz von der Erhaltung der Masse ist also nicht exakt erfüllt. Das ist aber nicht verwunderlich, wenn man bedenkt, daß dafür bei dem Prozeß auch ein großer Betrag an Energie frei wird. Die beiden Heliumkerne gelangen ja nur dadurch zur Beobachtung, daß sie eine hohe kinetische Energie besitzen; denn alle Partikel lassen sich nur dann nachweisen, wenn ihre Geschwindigkeit einen bestimmten, recht hohen Betrag überschreitet. Man kommt nun zu einem streng gültigen Erhaltungsgesetz, wenn man die allgemeine Beziehung zwischen Energie und Masse berücksichtigt, die als das relativistische Prinzip der Äquivalenz von Masse und Energie formuliert worden ist. Nach diesem grundlegenden Prinzip sind Masse und Energie identisch, d. h. jede Energie E besitzt einen bestimmten Betrag an Masse m derart, daß $m = \frac{E}{c^2}$, und umgekehrt ist jede Masse m ein Energiereservoir $E = mc^2$, wobei c die Lichtgeschwindigkeit ist. Die kinetische Energie der bei der genannten Reaktion entstehenden Heliumkerne wurde nun zu je etwa 9 MeV gemessen; das entspricht zusammen genau dem Massenverlust der 0,018 Masseneinheiten¹⁾. Die kinetische Energie der Protonen vor dem Stoß, die ja eigentlich auch berücksichtigt werden müßte, betrug bei diesen Versuchen nur einige Zehntel MeV, käme also erst in der vierten Dezimalstelle der Atommassen zur Geltung. Der Satz der Erhaltung der Masse zeigt sich hier als ein Sonderfall des allgemeineren Satzes von der Erhaltung der Energie. Der Energiesatz in dieser erweiterten Form wurde bei den zahlreichen Kernreaktionen, für die zur Zeit genaue Versuchswerte vorliegen, bisher in jedem Fall bestätigt gefun-

den. Daß bei anderen Erscheinungen, z. B. bei gewöhnlichen chemischen Reaktionen Erhaltung der Masse beobachtet wird, liegt daran, daß die dabei freiwerdenden Energien, die Wärmetönungen, bezogen auf die einzelnen Atome, außerordentlich viel kleiner sind als bei den Kernreaktionen; sie betragen nur höchstens einige eV, die ihnen entsprechenden Massenveränderungen liegen also weit unter der erreichbaren Meßgenauigkeit.

Um nun die Tatsache auszudrücken, daß bei Kernreaktionen sehr erhebliche Beträge an kinetischer Energie freiwerden können, schreibt man die Reaktionsverläufe als Energiegleichung, z. B. die vorhin genannte Reaktion in der Form



Die Kernsymbole bedeuten jetzt zugleich die Masse des betreffenden Kernes im Massen- oder Energiemaß. Q ist die freiwerdende kinetische Energie, die sogenannte Umwandlungsenergie oder Energietönung. Ist Q positiv, dann verläuft der Prozeß exotherm, es wird also Energie frei, wofür ein äquivalenter Betrag an Masse verlorengeht. Ist Q negativ, dann verläuft der Prozeß endotherm, d. h. nur unter Energiezufuhr, wofür dann Masse gewonnen wird. Die einzige Energiequelle, die bei negativem Q zur Verfügung steht, ist die kinetische Energie des eindringenden Partikels; diese Energie muß also eine bestimmte Mindestgröße übersteigen, damit der Prozeß energetisch möglich ist. Bezeichnet E_g die kinetische Energie des eindringenden Partikels (Geschofs), E_r die des gebildeten Rückstoßkerns und E_e die des emittierten Teilchens, so ist, weil der ursprüngliche umzuwandelnde Kern ja immer ruht, offenbar die Energietönung $Q = E_r + E_e - E_g$. Die Größe E_g ist durch die Beschleunigungsspannung definiert; kann man E_r und E_e messen, dann ist damit Q bestimmt. Mit Hilfe dieses Wertes von Q kann man dann aus der Energiebilanz eine der auftretenden Kernmassen berechnen, sofern man alle andern kennt. In dem genannten Beispiel kann man also die Masse

des ${}^7_3\text{Li}$ bestimmen, falls die Massen von ${}^1_1\text{H}$ und ${}^4_2\text{He}$ genau bekannt sind, und sofern man die Energietönung auf Grund von Messungen ermittelt hat. Diese Methode der Bestimmung der Massen von Isotopen aus Energiebilanzen hat sich als sehr genau erwiesen. Falls die Massen aller Reaktionspartner bereits bekannt sind, kann man den aus den Massendifferenzen berechneten Wert der Energietönung mit dem experimentell ermittelten vergleichen und hat damit ein Mittel, das Maß der erreichten Meßgenauigkeit abzuschätzen.

Die Messung der kinetischen Energie des Rückstoßkerns ist nun allerdings nicht einfach und häufig überhaupt nicht durchführbar. Die Reichweiten der Rückstoßkerne sind klein, und um so kleiner, je schwerer der Rückstoßkern ist. Dazu kommt noch, daß für die meisten schweren Kerne die Beziehung zwischen der Reichweite und der Energie nicht genau genug bekannt ist. Diese Messung kann aber zum Glück umgangen werden, weil die Größen E_g , E_r und E_e nicht unabhängig voneinander sind, aus Gründen des Impulssatzes. Die zugehörigen Impulse p_g , p_r und p_e setzen sich vektoriell zu einem Dreieck zusammen. Kennt man den Emissionswinkel, d. h. den Winkel zwischen den Richtungen des einfallenden und des emittierten Partikels, der durch die gewählte Beobachtungsrichtung vorgegeben ist, dann kann man E_r aus E_e und E_g berechnen.

Bei den meisten Prozessen ergibt sich nun nicht nur ein Wert der Energietönung, sondern eine Reihe von diskreten Werten Q_1, Q_2, Q_3 usw. Experimentell

¹⁾ Als Maß der Energie wird in der Kernphysik gewöhnlich das Elektronvolt (eV) verwendet, das ist diejenige Energie, die ein mit einer Elementarladung geladenes Teilchen, z. B. ein Elektron, beim freien Durchlaufen einer Wegstrecke gewinnt, an deren Enden ein Potentialunterschied von 1 Volt liegt. Man kürzt ab: $10^6\text{eV} = 1\text{MeV}$ und $10^3\text{eV} = 1\text{keV}$. Aus dem Äquivalenzprinzip folgt dann die leicht zu merkende Beziehung zwischen Massen- und Energiemaß, daß 1 MeV gleich ist rund $\frac{1}{1836}$ Atomgewichtseinheiten. Die gesamte Masse eines Protons entspricht also 1000 MeV, die eines Elektrons ungefähr 0,5 MeV.

wirkt sich das so aus, daß die emittierten Partikel in Energiegruppen (d. h. also Reichweitengruppen) auftreten. Wenn weniger Energie frei wird, so ist das nur dadurch möglich, daß ein Teil der zur Verfügung stehenden Energie als innere Energie des Rückstoßkerns zurückbehalten wird. Da diese Beträge (nämlich $Q_1 - Q_2$, $Q_1 - Q_3$ usw.) nur in wenigen diskreten Werten existieren, muß offenbar diese innere Energie gequantelt sein. Die Differenzen der Energietönungen entsprechen also den Anregungszuständen der gebildeten Rückstoßkerne, wobei der größte Wert der Energietönung Q_1 der Bildung eines solchen Rückstoßkerns im Grundzustand zugeordnet wird. Wie in der Theorie der Atomhüllen ist zu folgern, daß diese angeregten Kernzustände nur von sehr kurzer Lebensdauer sind, d. h. der angeregte Kern muß sehr schnell wieder in den Grundzustand übergehen, wobei die Energiedifferenz, also $Q_1 - Q_2$, $Q_1 - Q_3$ usw. als Lichtquant ausgestrahlt wird. Diese Quanten, die wegen ihrer großen Energien viel härter und kurzweilliger sind als die Röntgenstrahlen, hat man in den meisten Fällen mehrerer Q -Werte beobachten können. Diese durchdringenden Lichtquanten sind nichts anderes als die bereits genannten γ -Strahlen. Sie sind eine Begleiterscheinung aller Kernvorgänge.

Wie bereits bemerkt worden ist, verlaufen die Kernumwandlungen derart, daß das die Umwandlung hervorruftende Teilchen, das Geschöß, in den umzuwandelnden Kern eindringt und von diesem eingefangen wird. Ein bloßes Steckenbleiben des Geschößes, also ein stabiles Fortbestehen des Zwischengebildes ohne Emission eines neuen Teilchens, widerspricht im allgemeinen der gleichzeitigen Gültigkeit von Energie- und Impulssatz. Denn bezeichnen M und V Masse und Geschwindigkeit des Zwischengebildes, so folgt unter Benutzung der vorhin definierten Bezeichnungen aus dem Impulssatz $V = \frac{m_g}{M} \cdot V_g$, dagegen aus dem

$$\text{Energiesatz } V = \sqrt{\frac{m_g}{M}} \cdot V_g$$

Diese beiden Aussagen sind unvereinbar. Da m_g/M ein echter Bruch ist, so würde aus dem Energiesatz ein größeres V folgen. Ein solcher Prozeß ist also nur möglich, wenn ein bestimmter Betrag an kinetischer Energie verschwindet, der, wie man sich leicht ausrechnen kann, von der Größe

$$[\Delta E = \frac{m_k}{M} \cdot E_g = \frac{m_k}{m_k + m_g} \cdot E_g$$

ist!). Diese Energie müßte also in innere Energie des Zwischenkerns umgewandelt werden. Da die innere Energie der Kerne, wie schon bemerkt, gequantelt ist, so ist das normalerweise unmöglich. Nur, wenn zufällig der Wert von ΔE gleich der Energiedifferenz zwischen Grundzustand und einem der angeregten Zustände ist, dann kann der Betrag ΔE vom Zwischenkern selbst aufgenommen werden. Dazu gehört also ein bestimmter Resonanzwert von ΔE , d. h. auch von E_g ; man nennt deshalb solche Prozesse **Resonanz Einfangen**. Infolge der kurzen Lebensdauer der angeregten Zustände geht der angeregte neugebildete Gesamtkern bald in den Grundzustand über, unter Ausstrahlung eines γ -Quants, weshalb die Prozesse immer in der Art verlaufen $A + B \rightarrow (AB)^* \rightarrow (AB) + h\nu$. Wie gesagt, sind solche Prozesse aber nur für bestimmte Geschwindigkeiten des eindringenden Partikels möglich; z. B. ist beim Beschießen von ${}^7_3\text{Li}$ mit Protonen auch der folgende Prozeßablauf möglich ${}^7_3\text{Li} + {}^1_1\text{H} \rightarrow {}^8_3\text{Be} + h\nu$,

¹⁾ m_k ist die Masse des ruhenden, umzuwandelnden Kerns.

aber nur dann, wenn das Proton z. B. eine Energie von 440 keV besitzt.

Künstliche Radioaktivität

Der bei einer Kernumwandlung gebildete Restkern, der also nach der Ausschleuderung des emittierten Partikels übrigbleibt, kann nun von zweierlei Art sein. Entweder nämlich gehört er zu den bereits in der Natur vorhandenen Isotopen; dann ist der Vorgang mit der Bildung des Rückstoßkerns beendet. In außerordentlich vielen Fällen entstehen andere, neue Isotope, deren Massenzahlen höher oder niedriger sind als diejenigen der natürlichen Isotope; diese neuen Kerne erweisen sich als nicht stabil, sie existieren nur vorübergehend, sie sind, wie man sagt, **künstlich radioaktiv**. Während z. B. ${}^{14}_7\text{N}$ und ${}^{15}_7\text{N}$ stabil sind, also den natürlichen Isotopen zugehören, sind ${}^{13}_7\text{N}$ und ${}^{16}_7\text{N}$ radioaktiv. Es handelt sich bei dieser

künstlichen Radioaktivität im wesentlichen um den gleichen Vorgang wie beim natürlichen radioaktiven Zerfall der schwersten Elemente. Zwischen natürlicher und künstlicher Radioaktivität besteht jedoch ein wichtiger Unterschied: die künstlich aktiven Kerne emittieren nur β -Teilchen, d. h. genauer gesprochen, Teilchen von der Masse des Elektrons. Der α -Zerfall ist also nur auf die schwersten natürlich aktiven Kerne beschränkt. Eine Besonderheit der künstlichen Radioaktivität ist die, daß auch β -Teilchen, also Elektronen, mit positiver Ladung emittiert werden. Diese Positronen genannten Elementarteilchen sind kurz vor der Entdeckung der künstlichen Radioaktivität als Bestandteil der kosmischen Höhenstrahlung von Andersson zufällig aufgefunden worden. Diese neuen Teilchen paßten zunächst überhaupt nicht in das gewohnte Schema. Sie unterscheiden sich in vieler Hinsicht nicht von den Elektronen. Sie haben die gleiche Masse, gleiches Ionisierungsvermögen wie die Elektronen, die gleichen Schwärzungsgesetze gegenüber photographischen Platten usw. In einem Punkt verhalten sich die neuen Teilchen total anders als die Elektronen, und das ist der Grund, weshalb ihre Existenz so lange verborgen blieb: sie haben eine nur sehr kurze Lebensdauer. Das merkwürdige Verhalten des Positrons, sein Entstehen und Wiederverschwinden, zeigt in besonders schöner Form die Umwandlung von Masse in Energie und umgekehrt!). Die künstlich radioaktiven Kerne emittieren in der Regel dann Elektronen, wenn sie schwerer sind, und dann Positronen, wenn sie leichter sind als die natürlichen Isotope. Der Kern ${}^{13}_7\text{N}$ ist aktiv unter Positronenemission, dagegen der Kern ${}^{16}_7\text{N}$ ist aktiv unter Elektronenemission. Man kann den Sachverhalt auch so ausdrücken: ${}^{13}_7\text{N}$ ist zu leicht für seine Kernladung, deshalb wird sie durch Positronenzerfall erniedrigt, ${}^{16}_7\text{N}$ ist zu schwer für seine Ladung, deshalb wird sie durch Elektronenzerfall erhöht.

Aus der Tatsache, daß der Restkern häufig künstlich radioaktiv ist, folgt selbstverständlich, daß dieses Gebilde kein Elementarteilchen darstellt. Wie steht es in dieser Hinsicht mit den emittierten Teilchen? Das α -Teil-

¹⁾ Das beim Durchgang durch Materie abgebremste Positron lagert sich an ein Elektron an, und beide Teilchen verschwinden. An ihrer Stelle entstehen zwei γ -Quanten, deren Energie insgesamt gleich dem Äquivalent der doppelten Elektronenmasse ist, also je gleich 0,5 MeV. Umgekehrt können sich harte γ -Quanten materialisieren, unter Entstehung eines Zwillingspaars von Elektron und Positron. Die Energie des Quants muß dazu natürlich größer als 1 MeV sein.

chen, wie auch sein Isotop mit der Masse 3 (${}^3_2\text{He}$), welches letzteres bei einigen Umwandlungen emittiert wird, ist sicher nicht elementar, sondern zusammengesetzt. Das folgt z. B. schon aus der oben besprochenen Umwandlung des ${}^7_3\text{Li}$ durch Protonen, bei der als Endprodukt zwei α -Teilchen entstanden sind. Das als Geschöß viel verwendete Deuteron (${}^2_1\text{H}$), dessen Auftreten als emittiertes Teilchen umstritten ist, ist auch nicht elementar, wie aus vielerlei Reaktionen hervorgeht. Das gleiche gilt von dem Wasserstoffisotop mit der Masse 3, dem Triton (${}^3_1\text{H}$). Das bei sehr vielen Umwandlungen emittierte Proton ist dagegen sicher elementar. Es ist keine experimentelle oder theoretische Möglichkeit bekannt, das Proton irgendwie zu zerlegen. Elementarteilchen sind auch unzweifelhaft die leichten Teilchen Elektron und Positron. Das Elektron ist der Baustein der Atmhülle.

Der Bau des Atomkerns nach bisheriger Auffassung

Solange man die neuen Elementarteilchen Positron und Neutron noch nicht kannte, gab es offenbar nur eine, übrigens sehr plausible, Möglichkeit, sich die Zusammensetzung der Atomkerne zu erklären: man mußte annehmen, daß sie aus Protonen und Elektronen zusammengesetzt sind. Dafür spricht eine Reihe von Gründen. Bei einem Kern, der nur aus Protonen bestünde, so wie sich das einmal Prout vorgestellt hat, müßten stets Massenzahl und Ladungszahl einander gleich sein, da eben für das Proton beide gleich eins sind. Bekanntlich ist aber, außer eben beim Wasserstoff selbst, die Ladungszahl höchstens gleich der halben Massenzahl. Im Kern vorhandene Elektronen würden nun die Gesamtladung herabsetzen, ohne die Massenzahl zu verändern. Gleichzeitig sollten die Elektronen („als Elektronenkitt“) die Bindung der sich gegenseitig abstößenden Protonen besorgen.

So dachte man sich bis vor kurzem z. B. den ${}^4_2\text{He}$ -Kern aufgebaut aus 4 Protonen und 2 Elektronen und den Urankern ${}^{238}_{92}\text{U}$ aus 238 Protonen und 146 Elektronen ($238 - 92 = 146$). Beim β -Zerfall würde dann ein Kernelektron emittiert, beim α -Zerfall ein Komplex von 4 Protonen und 2 Elektronen. So plausibel indessen dieses einfache Kernmodell erscheint, so groß werden die Schwierigkeiten bei näherem Zusehen. Es zeigte sich einmal, unter Zuhilfenahme der Unbestimmtheitsrelation der Quantentheorie, daß die Elektronen im Kern eine Nullpunktsenergie haben müssen, die um vieles größer wäre als die Bindungsenergie. Das heißt mit anderen Worten, die kinetische Energie der Elektronen im Kern ist so groß, daß die Bindungsenergie der Kerne nicht ausreicht, um diese Teilchen festzuhalten. Weiter ergab sich in markanten Fällen ein falsches Impulsmoment. Jedes Elementarteilchen hat nämlich einen fest zu ihm gehörigen Drehimpuls, das ist der sogenannte Spin, der für alle Teilchen den gleichen Wert $\frac{1}{2} \cdot \frac{h}{2\pi}$ besitzt. Der resultierende Drehimpuls eines Kerns setzt sich nun aus den einzelnen Spins zusammen, und zwar so, daß jeder Einzelspin sich entweder parallel oder antiparallel zu einer bestimmten vorgegebenen Richtung einstellt. Dabei können die verschiedenen Einzelspins sich weitgehend aufheben. Schreibt man nun den resultierenden Gesamtimpuls in der Form $n/2 \cdot \frac{h}{2\pi}$, dann muß n eine gerade Zahl sein, wenn der Kern eine gerade Zahl von Teilchen enthält, eine ungerade bei ungerader

Zahl der Kernpartikel. Den Wert des Gesamtdrehimpulses kann man aus gewissen optischen Phänomenen, z. B. aus dem Intensitätswechsel in Bandenspektren entnehmen. So ergab sich für Stickstoff der Wert $n = 2$, woraus folgt, daß Stickstoff eine gerade Zahl von Kernpartikeln enthalten muß. Aus dem alten Kernmodell aber folgt für ${}^{14}_7\text{N}$ die ungerade Zahl von $14 + 7 = 21$ Kernpartikeln. Schließlich liefert gerade das Hauptargument, nämlich, daß beim β -Zerfall Elektronen emittiert werden, diese also vorher im Kern „drin“ gewesen sein müssen, sofort das Gegenargument. Es gibt ja auch Kerne, die radioaktiv sind und dabei Positronen emittieren, wie vorhin festgestellt wurde. Also müßten diese Kerne Positronen enthalten. Es gibt sogar viele stabile Kerne, die sich unter Einfangung eines Elementarpartikels in einen künstlich aktiven Kern umwandeln, der Elektronen emittiert, und unter Einfangung eines anderen Elementarpartikels in einen solchen Kern umwandeln, der Positronen emittiert. Also müßten diese Kerne sowohl Elektronen wie Positronen enthalten. Das ist aber unmöglich, denn Elektron und Positron können nicht nebeneinander zusammen existieren; sie vernichten sich gegenseitig. Außerdem hätten wir dann drei Kernbausteine, während jeder Kern bereits durch zwei Parameter, eben Kernladungszahl Z und Massenzahl A bestimmt ist. Die Schwierigkeiten des Kernbaus wurden in dem Augenblick beseitigt, als man das Elektron im Kern nicht mehr brauchte. Seinen Platz nimmt nun ein anderes Partikel ein, das Neutron. Wie kam es nun zur Entdeckung des Neutrons, und was für Eigenschaften hat es?

Das Neutron

Im Jahr 1930 entdeckten Bothe und Becker in der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt, daß eine Reihe leichter Elemente, vor allem das Beryllium, bei der Beschiefung mit α -Teilchen eine sehr durchdringende γ -Strahlung aussendet. Während sich bei einigen dieser Elemente die γ -Strahlung als Begleiterscheinung einer Umwandlung unter Protonenemission quantitativ erklären ließ, fehlte beim Beryllium, das die intensivste γ -Strahlung aufwies, jede Erklärungsmöglichkeit. Bei der Wiederholung dieser Versuche mit größeren Mitteln durch Curie und Joliot in Paris zeigte es sich, daß diese Berylliumstrahlung imstande war, aus Paraffin oder anderen wasserstoffhaltigen Substanzen Wasserstoffkerne auszulösen, was völlig unerklärlich erschien. Der Engländer Chadwick stellte schließlich fest, daß diese Berylliumstrahlung nicht nur Wasserstoffkerne, sondern auch andere leichte Kerne in schnelle Bewegung versetzen kann, und zwar ist die kinetische Energie, welche diese Kerne erhalten, um so kleiner, je größer ihre Masse ist. Da diese Erscheinungen nicht mit der vorhandenen γ -Strahlung zusammenhängen konnten, mußte eine andere, unbekanntere Strahlung mit bisher unbekanntem Eigenschaften die beobachteten Phänomene verursacht haben. Da diese Strahlung nicht von der Art der γ -Strahlung, also nicht eine Wellenstrahlung, sein konnte, mußte sie korpuskularer Natur sein. Allerdings mußten diese hypothetischen Partikel sich in einem Punkt von den bisher bekannten unterscheiden: Sie blieben selbst völlig unbemerkbar. Sie hinterließen z. B. keine Bahnspur in der Nebelkammer. Solche Spuren können nur entstehen, wenn Ionen längs des Weges eines Partikels gebildet werden, d. h. durch die Wechselwirkung seiner Ladung mit derjenigen der Hüllenelektronen der Atome längs des Weges. Die unbekanntem Korpuskeln mußten also ungeladen sein; ihre Existenz kann sich dann nur durch gelegentliche elastische Stöße im Gasraum der Nebelkammer bemerkbar

machen, wobei ein Atomkern aus dem Atomverband herausgeschlagen wird, und nur dieser in Bewegung gesetzte geladene Rückstoßkern allein eine Bahnspur erzeugt. Der Vorgang spielt sich also, um ein mechanisches Bild zu gebrauchen, so ab, wie ein Stoß zwischen zwei Billardkugeln, von denen die stoßende unsichtbar bleibt. Bezeichnet man mit m_0 die Masse des unbekanntes Partikels, mit v_0 seine Geschwindigkeit, mit M und V Masse und Geschwindigkeit des zuvor in Ruhe befindlichen, durch den Stoß in Bewegung gesetzten Kernes, dann folgt aus dem Energie- und Impulssatz für das allein zu beobachtende V bei zentralem Stoß $V = 2 v_0 \cdot \frac{m_0}{M + m_0}$. Da die

Gleichung zwei Unbekannte, Masse m_0 und v_0 des unsichtbaren Teilchens enthält, so kombinierte Chadwick Geschwindigkeitsmessungen an Rückstoßkernen verschiedener Gase, nämlich Wasserstoff und Stickstoff. Aus seinen Messungen erhielt Chadwick für m_0 einen Wert von nahezu 1; die Masse des Partikels ist also etwa gleich der des Protons. Chadwick gab dem neuen Partikel den Namen Neutron. Übrigens ist die Massenbestimmung aus Rückstoßversuchen dieser Art aus verschiedenen Gründen nicht sehr genau. Die Neutronenmasse wird erheblich genauer aus den Energiebilanzen von Umwandlungsprozessen bestimmt. Wie stellt sich nun das neue Gebilde, das Neutron, nach dem bisher Gesagten dar, und welches allgemeine Verhalten hat man von ihm zu erwarten? Es ist zwar ein elementares Partikel, aber kein „Element“. Es gibt nämlich keine Chemie des Neutrons, da es wegen seines Ladungsmangels keine Elektronenhülle und keine Valenzen hat. Es kann also keine Verbindung mit anderen Elementen eingehen. Es kann aber auch kein Kristallgitter bilden, also keine feste, makroskopisch sichtbare Substanz werden. Wegen des Fehlens der Van-der-Waalsschen Kräfte gibt es keine Neutronenflüssigkeit. Um es auch hier noch zu erwähnen, obwohl es nach dem Gesagten selbstverständlich ist: das Neutron emittiert keine Spektron. Es fehlt also, zusammenfassend gesagt, dem Neutron das normale physikalische und chemische Verhalten der Materie. Wie kann man nun das einzelne Neutron isolieren und beobachten? In Behältnisse kann man Neutronen offenbar nicht einschließen und aufbewahren, denn sie diffundieren ungehindert durch die weitmaschigen Gitter aller festen Körper hindurch. Man kann sie, wie schon gesagt, auch nicht direkt beobachten, denn alle Zähl- und Beobachtungsmethoden der Kernphysik beruhen auf der ionisierenden Wirkung der Ladung eines Partikels. Nur wenn Neutronen in schneller Bewegung sind, dann können sie, wie wir

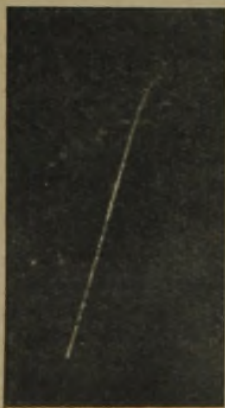


Abb. 7 (Teilbild 1): Rückstoßbahn eines Wasserstoffkerns

gesehen haben, Energie und Impuls auf ruhende Kerne übertragen und den getroffenen Kern in Bewegung setzen, den man dann seinerseits mit den besprochenen Methoden untersuchen kann. Abb. 7 zeigt eine Reihe von Nebelkammeraufnahmen von Rückstoßbahnen in verschiedenen Gasen.

Das Neutron verhält sich beim Durchgang durch Materie völlig anders als die bislang bekannten Partikel. Alle geladenen Teilchen mit hoher kinetischer Energie werden bekanntlich abgebremst, wenn sie Materie durchqueren; vermöge ihrer Ladung treten sie

mit den Elektronen der Atome, die sie durchfliegen, in Wechselwirkung und übertragen unter fortgesetzter Ionisation allmählich ihre ganze Energie auf diese. Die Absorption der geladenen Partikel hängt daher im wesentlichen nur von der Zahl der Elektronen im cm^3 ab und nimmt mit dieser, also mit der Dichte der durchstrahlten Materie, zu. Je schwerere eine Substanz ist, desto mehr absorbiert sie also. Beim Neutron ist es gerade umgekehrt. Das Neutron kann nur durch elastischen Zusammenstoß Energie verlieren. Aus dem Impulssatz folgt, daß nur dann ein

nennenswerter Betrag an Energie bei einem Stoß abgegeben wird, wenn die Massen der beiden Partner von gleicher Größenordnung sind. Trifft das Neutron auf ein Elektron, so kann es im günstigsten Fall bei zentralem Stoß 0,22% seiner Energie verlieren; bei einem Bleikern andererseits maximal nur 1,9%. Nur bei einem zentralen Stoß gegen ein Proton kann also das Neutron seine ganze Energie verlieren. Zentrale Stöße sind unwahrscheinlich; im Mittel sind auch im Wasserstoff 10 Stöße nötig, bis die Geschwindigkeit des Neutrons von thermischer Größenordnung ist. Dem entspricht es, daß Bleidicken von einigen cm die Intensität eines Neutronenbündels nur unwesentlich herabsetzen, während 6 cm Paraffin bereits ausreichen, den Neutronen ihre ganze Energie zu nehmen.

Kernumwandlung durch Neutronen

Bewegte Protonen kann man nun nur bis zu 10 keV Energie herab nachweisen. Ist die Geschwindigkeit des Neutrons unter diesen Betrag gesunken, dann ist es also durch Rückstoß nicht mehr zu erfassen und bliebe verschwunden, falls seine Wechselwirkung mit der Materie nur auf gelegentliche elastische Zusammenstöße beschränkt wäre. Es gibt aber noch einen wesentlichen Effekt, zu dem gerade langsame Neutronen besonders prädestiniert sind: die Kernumwandlung durch das Neutron. Feather und Harkins beobachteten gleichzeitig kurz nach der Entdeckung des Neutrons in der Nebelkammer Doppelbahnen, die von einem gemeinsamen Ursprung ausliefen (Abb. 8). Außer dem Rückstoßkern tritt noch ein weiteres geladenes Teilchen auf, ein



Abb. 7 (Teilbild 2): Rückstoßbahn eines Heliumkerns



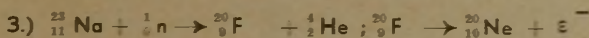
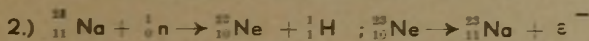
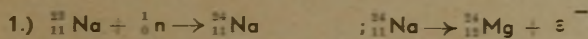
Abb. 7 (Teilbild 3): Rückstoßbahn eines Stickstoffkerns



Abb. 8: Umwandlung eines Stickstoffkerns durch ein Neutron

α -Teilchen. Ein solcher Vorgang mußte zwangsläufig als Eindringen des Neutrons in einen Kern unter nachfolgender Umwandlung gedeutet werden. Da die Kammer mit N_2 gefüllt war, mußte also das Neutron in einen Stickstoffkern eingedrungen sein und ein Teilchen hinausgeworfen haben. Dieser Prozeß muß also nach der Reaktionsgleichung ${}^{14}_7N + {}^1_0n \rightarrow {}^{11}_3B + {}^4_2He + Q$ verlaufen.

Ein solches Verhalten des Neutrons, das Auftreten unelastischer Zusammenstöße infolge Eindringens in den Kern ist aber gerade naiverweise zu erwarten. Das Neutron hat ja keinen Widerstand zu überwinden, weil es ungeladen ist. Es wird nicht von dem Kern abgestoßen. Deswegen kann man jedes Element angehen, während bei den geladenen Partikeln die wachsende Kernladung immer größere Partikelenergien erfordert. Besonders interessant sind Umwandlungen mit Neutronen bei den schwersten Elementen, z. B. beim Uran, weil dabei zum erstenmal Isotopen jenseits der Grenze des periodischen Systems der Elemente entstehen. Die meisten neuen Kerne, die bei den Umwandlungen mit Neutronen entstehen, sind künstlich aktiv, und zwar werden immer Elektronen emittiert. Es gibt drei Typen von Umwandlungen durch das Neutron. Als Beispiel seien die drei Reaktionsabläufe am Natrium betrachtet:



Bei der Beschießung von Natrium mit Neutronen entstehen also drei verschiedene radioaktive Körper; ihre Halbwertszeiten sind 15 h, 40 sec und 10 h. Der Prozeß 1. ist ein solcher, bei dem keine Emission eines Teilchens stattfindet. Es muß sich also dabei um eine Resonanzeinfangung handeln, bei der der neugebildete ${}^{24}_{11}Na$ -Kern in einem angeregten Zustand gebildet wird. Bei allen Prozessen vom Typ 1 muß daher eine scharf definierte Resonanzenergie des Neutrons, d. h. eine bestimmte Geschwindigkeit des Neutrons, vorliegen. Wie groß sind nun die hierfür erforderlichen Neutronengeschwindigkeiten, d. h. allgemein gesprochen, in welchem Geschwindigkeitsgebiet liegen sie? Darüber erteilt Aufschluß eine Entdeckung, die der Italiener Fermi gemacht hat. Bringt man nämlich die Neutronenquelle in Wasser oder Paraffin, so beobachtet man eine außerordentliche Zunahme dieser reinen Einfangprozesse. Nun haben wir vorher gesehen, daß wasserstoffhaltige Schichten das einzige sind, was Neutronen in wirksamer Weise abbremst. Auf einer Wegstrecke von nur wenigen Zentimetern verlieren die Neutronen fast ihre gesamte Energie, die anfangs einige MeV beträgt. Sie setzen sich schließlich ins thermische Gleichgewicht mit den Wasserstoffatomen, was etwa einer mittleren Energie von einigen Hundertstel eV entspricht. Es ist außerordentlich interessant, daß bei derart kleinen Energien die Resonanzen für die Einfangprozesse liegen. Man hat in mühseliger Arbeit für alle betroffenen Elemente spezifische Geschwindigkeitsbänder gefunden, die alle im Gebiet kleiner Energien liegen, d. h. zwischen thermischen Energien und etwa 1000 eV.

Wenn langsame Neutronen besonders befähigt sind, in Kerne einzudringen, dann erklärt das auch, warum das Neutron nicht frei in der Natur existiert. Es wird bei Kernprozessen aus irgendwelchen Kernen frei gemacht und verschwindet schließlich wieder in irgendwelchen Kernen.

Der Bau des Atomkerns nach heutiger Auffassung

Um nun wieder zur Frage des Kernbaus zurückzukehren, so sahen wir, daß alle Kernsplitter, die den Kern verlassen, mit Ausnahme eben von Proton und Neutron zusammengesetzt, also nicht elementar sind. Die nächstliegende Annahme ist nun die, daß die Kerne aus Protonen und Neutronen zusammengesetzt sind. Dann ist die Kernladungszahl Z gleich der Anzahl der Protonen im Kern, und die Differenz $A-Z$ ist gleich der Anzahl der Neutronen. Die Massenzahl A wird gleich der Gesamtzahl der Kernteilchen. Sämtliche Schwierigkeiten hinsichtlich des Drehimpulses verschwinden, ${}^{14}_7N$ hat jetzt eine gerade Zahl von Kern-

teilchen, im Gegensatz zum alten Modell. Das α -Teilchen besteht also aus 2 Protonen und 2 Neutronen.

Das schwere Wasserstoffisotop, das Deuteron 2_1H , besteht nun aus einem Proton und einem Neutron. Tatsächlich kann man es auch in diese beiden Bestandteile zerlegen, durch den sogenannten Kernphotoeffekt. Sehr harte γ -Quanten, z. B. die Strahlen des ThC' von 2,65 Mev, sind imstande, den Kern des Deuterons aufzuspalten. Der Prozeß liefert den bestfundierten Wert für die Masse des Neutrons von 1,0089. Es erhebt sich natürlich sofort die Frage, durch welche Kräfte der Kern nun zusammengehalten wird. Elektrische Kräfte können es nicht sein, denn die Neutronen sind ja ungeladen. In der Tat handelt es sich hier um eine völlig neue Art von Anziehungskraft, eine Wechselwirkungskraft zwischen Proton und Neutron, die ähnlich den chemischen Valenzkräften eine Art von Absättigung zeigt, und die den Namen Austauschkraft erhalten hat. Dieser Komplex von Fragen hängt eng mit der Frage nach dem β -Zerfall zusammen. Elektronen und Positronen sind nicht im Kern vorhanden, sie können also erst im Augenblick der Emission entstehen. Man stellt sich das genau so vor, wie die Emission von Lichtquanten in der Atomhülle; vor der Lichtemission existierte das Quant noch nicht. Es entsteht erst, wenn das Atom aus einem Zustand höherer Energie in einen solchen von niedriger übergeht, wobei sich die Elektronenkonfiguration ändert. Deshalb ist das Licht auch kein Bestandteil des Atoms. Ganz analog werden die Elektronen zw. Positronen dann emittiert, wenn der Atomkern aus einem Zustand höherer Energie in einen solchen von niedriger übergeht. Da aber die Ladung erhalten bleiben muß, so ist das nur dadurch möglich, daß ein Neutron sich in ein Proton umwandelt und umgekehrt. Vor ihrer Emission existierten also Elektron bzw. Positron nicht im Kern, sie sind kein Bestandteil des Kernes.

Um ein Beispiel zu nennen, der Kern ${}^{16}_8O$ enthält mehr Energie als der Kern ${}^{16}_7N$. Da in der Natur jedes System einen absolut stabilen Zustand anstrebt, der dann erreicht ist, wenn die potentielle Energie ein Minimum ist, so wandelt sich der Kern ${}^{16}_8O$ in ${}^{16}_7N$ um.

Dazu ist nur erforderlich, daß eines der Neutronen im Kern sich in ein Proton umwandelt. Durch die Emission eines Elektrons wird dem Satz von der Erhaltung der Ladung genügt, und dieses Elektron führt nun die überschüssige, freiwerdende Energie mit sich fort. Über die Art, wie diese Umwandlung von Proton und Neutron ineinander stattfindet, können wir noch gar nichts sagen; sie hängt aufs engste mit der inneren Struktur von Proton und Neutron zusammen, über die wir nichts wissen. Es mag paradox klingen, von einer inneren Struktur von Elementarteilchen zu sprechen; wahrscheinlich ist es so, daß Proton und Neutron nur

zwei Erscheinungsformen desselben Gebildes sind. Mit der Emission von leichten Teilchen wird nun aber die Austauschkraft verständlich. Man kann sich nun nämlich vorstellen, daß ein Neutron sich unter Emission eines Elektrons in ein Proton umwandelt und sofort ein Nachbarproton im Kern dieses Elektron absorbiert und sich dadurch in ein Neutron umwandelt. Am Ende dieses Vorganges haben also Neutron und Proton nur ihren Platz getauscht. Diese virtuelle Emission und

Reabsorption eines leichten Teilchens führt zu einer Kraftwirkung zwischen Neutron und Proton, die Austauschkraft heißt und verantwortlich ist für die Kernbindung. Diese Kraft ist groß und die elektrostatische Abstößung der Protonen untereinander kann mit ihr nicht konkurrieren.

Es sei im übrigen hier nicht verschwiegen, daß wir von einer endgültigen Theorie der Kernbindung noch weit entfernt sind.

Wesen und Wirkung der Virusarten

Von Professor Dr. E. Haagen, Berlin

(Aus dem Institut für Infektionskrankheiten „Robert Koch“, Berlin)

Vor etwa 60 Jahren schuf Robert Koch die Grundlagen der ätiologischen Erforschung der Infektionskrankheiten. Bald konnten auf künstlichen Nährböden die meisten bakteriellen Krankheitserreger gezüchtet und damit auch ihre morphologischen, biologischen und pathogenen Eigenschaften erforscht werden.

Neben den durch bakterielle und protozoenartige Erreger hervorgerufenen Krankheiten blieb aber noch eine große Anzahl von Infektionskrankheiten unklarer Ursache, deren Erforschung von größter Wichtigkeit war, da sie zu den verheerendsten Seuchenzügen Veranlassung gaben und noch heute geben. Erwähnt seien hier das Gelbfieber, die Pocken, das Fleckfieber und die epidemische Influenza. Alle diese Krankheiten zeichnen sich vor den anderen Infektionskrankheiten insofern aus, als es zunächst nicht gelingen wollte, ihre Erreger zu isolieren, zu züchten oder sichtbar darzustellen sowie sie chemotherapeutisch oder serotherapeutisch zu beeinflussen.

Die Erreger dieser Krankheiten gehören zur Gruppe der Vira. In der letzten Zeit sind bereits etwa 150 solcher Krankheiten bei Menschen, Tieren und Pflanzen bekannt geworden. Ihre Zahl ist damit aber noch lange nicht erschöpft.

Diese Vira lassen sich folgendermaßen gruppieren:

1. Vira, die noch unsichtbar geblieben sind und bei welchen man Zellveränderungen (Einschlußkörperchen) noch nicht gefunden hat.
2. Vira, die noch unsichtbar geblieben sind, aber in den Zellen zu spezifischen Veränderungen führen.
3. Mikroskopisch darstellbare Vira mit oder ohne Zellveränderungen.

Als die größten Vira gelten zur Zeit die Rickettsien, die Erreger der Fleckfieberarten, als die kleinsten die der Maul- und Klauenseuche sowie der spinalen Kinderlähmung.

Noch bevor man die Vira in vitro isolieren und züchten konnte, fand man für viele von ihnen, daß sie auf Versuchstiere übertragbar sind, an denen man dann Untersuchungen über die betreffenden Krankheiten anstellen konnte. Man beobachtete u. a., daß durch fortlaufende Tierpassagen die Vira Eigenschaften annehmen konnten, die sie für den Menschen verhältnismäßig ungefährlich machten. Dies führte zur Entwicklung wichtiger Schutzimpfungsverfahren, von denen die gegen Pocken, die Wut u. a. m. zu den Großtaten in der Geschichte der Medizin gehören.

Den ersten experimentellen Nachweis eines virusartigen Erregers führte Iwanowski (1892), der das Virus der Tabakmosaikkrankheit durch Filtration isolierte. Löffler und Frosch isolierten 1898 den Erreger der Maul- und Klauenseuche auf gleiche Weise.

Hiermit war bewiesen, daß es Krankheitserreger gibt, die bedeutend kleiner als die bisher bekannten Erreger sind.

Für diese neue Gruppe von Erregern wurde die wenig zutreffende Bezeichnung „Virus“, was eigentlich nichts anderes als „Gift“ bedeutet, eingeführt, wodurch schon die Grundlage für mannigfache Irrtümer über das Wesen der Vira gegeben war. Ursprünglich wurde mit dem Begriff des Virus außer Filtrierbarkeit auch Unzüchtbarkeit und Unsichtbarkeit verbunden. Die beiden letzten Eigenschaften haben sich jedoch inzwischen nicht aufrechterhalten lassen, denn viele Vira sind nunmehr sowohl in vitro kultivierbar als auch mikroskopisch darstellbar geworden.

Bei den Vira handelt es sich nach den bisherigen Erfahrungen um teils sphärische, teils ovoide Körperchen, denen nach der Entdeckung Paschens des Variola-Vakzine-Erregers allgemein die Bezeichnung „Elementarkörperchen“ (E.-K.) beigelegt worden ist. Durchmesser und damit Größe eines E.-K. werden bestimmt durch:

1. Zentrifugation,
2. Filtration,
3. Ultramikrophotographie.

In der folgenden Tabelle sind die Durchmesserwerte einiger Vira aufgeführt, die gute Vergleiche gestatten. Je kleiner die E.-K. sind, desto schwerer ist die Ermittlung des wirklichen Endwertes. Die Tabelle enthält gleichzeitig Angaben über die Darstellbarkeit und die Züchtbarkeit nach dem augenblicklichen Stande der Forschung.

Die bisher gefärbten Vira liegen mit einem Durchmesser von mehr als 100 $m\mu$ im Bereich der großen E.-K. Zu den größten gehören die Rickettsien, die aber nur etwa ein Drittel so groß wie Staphylokokken sind. Ihnen schließen sich die Psittakose-E.-K. an. (Abb. 1). Am Schluß der Tabelle wird zum Vergleich das kleinste Eiweißmolekül, dem noch die Möglichkeit eines selbständigen Lebens zugesprochen worden, mit 4 $m\mu$ angegeben. Infolge unserer zur Zeit noch unzureichenden mikroskopischen Hilfsmitteln sind bisher nur Vira mit einer Größe von 100 $m\mu$ aufwärts sicher darstellbar geworden. Neue Wege weisen aber die Fluoreszenzmikroskopie und die Kathodenstrahlenmikroskopie.

Zur Färbung der Vira ist eine ganze Reihe von Farbstoffen brauchbar, u. a. Carbolfuchsin, Giemsa, Methylblau-Safranin und vor allem das Viktoriablau. Mit letzterem sind fast alle bisher überhaupt sichtbar gewordenen Vira gefärbt worden. Erwähnt seien Variola-Vakzine-Virus, Virus der Windpocken, des Herpes, der Psittakose und des Myxoms. Mit den verschiedenen Farbstoffen gefärbt erscheinen die gleichen Vira ver-

Größe und Züchtbarkeit verschiedener Virusarten*)

| Virus | Wahrscheinlicher Durchmesser | Bisher gefärbt und sichtbar | Bemerkungen |
|-------------------------|------------------------------|-----------------------------|-------------|
| Staphylokokkus | m μ 1000 | (zum Vergleich) | |
| Rickettsien | 300 | gefärbt und sichtbar | gezüchtet |
| Psittakose | 250—300 | gefärbt und sichtbar | gezüchtet |
| Mollusc. cont. | 250 | — | — |
| Variola | 150—175 | gefärbt und sichtbar | gezüchtet |
| Vakzine | | gefärbt und sichtbar | gezüchtet |
| Kanarienvogel | | gefärbt und sichtbar | — |
| Herpes | 120 | gefärbt und sichtbar | gezüchtet |
| Ektromelia | | — | — |
| Wul | 100—150 | — | gezüchtet |
| Pseudowul | | — | — |
| Bornasche Krankheit | 100—150 | — | — |
| Lymphogr. Ing. | | gefärbt und sichtbar | Züchtung? |
| Influenza | 80—120 | — | gezüchtet |
| Kaninchenfibrom (Shope) | 100 | gefärbt und sichtbar | — |
| Stomatitis vesic. | 75—100 | — | gezüchtet |
| Hühnerpest | | — | gezüchtet |
| Hühnersarkom | | — | gezüchtet |
| Gelbfieber | etwa 25 | — | gezüchtet |
| Riftvalley | | — | gezüchtet |
| Louping ill. | | — | — |
| St.-Louis-Enzephalitis | | — | gezüchtet |
| Poliomyelitis | etwa 10 | — | Züchtung? |
| Maul- u. Klauenseuche | | — | gezüchtet |
| Eiweißmolekül | 4 | (zum Vergleich) | |

schieden groß. Dies mag auf der Strukturbeschaffenheit der E.-K. beruhen, die offenbar aus einem Entoplasma und einem Ektoplasma bestehen. Mit dem einen Farbstoff wird vielleicht nur das Entoplasma, mit dem anderen dagegen auch das Ektoplasma gefärbt. Eine eigentliche Virusmorphologie ergibt sich daraus aber noch nicht. Vielmehr sehen sich alle E.-K. außerordentlich ähnlich. Nur die Rickettsien machen durch ihre Kurzstäbchenform eine gewisse Ausnahme.

Im lebenden Körper wie auch *in vitro* nehmen die Vira eine besondere Stellung unter den Krankheitserregern ein. Zunächst fällt ihre enge Affinität oder Symbiose mit den lebenden Zellen überhaupt auf. Aber auch gegenüber dem Gesamtorganismus, ganzen Geweben oder Organen haben sie eine besondere Affinität oder Tropismus. Ein Virus ist z. B. ausgesprochen neurotrop, d. h. es befällt das Nervensystem, ein anderes hat wieder eine besondere Dermotropie, d. h. Zuneigung zur Haut, und bei einem dritten fällt seine Viszerotropie oder Affinität zu den inneren Organen auf. Hieraus ergibt sich auch eine gewisse Lokalisation der verschiedenen Viruskrankheiten. Zu den neurotrophen Vira gehören demnach jene der spinalen Kinderlähmung, der verschiedenen Gehirnentzündungen u. a. Viele Vira sind aber auch poly- oder pantrop, d. h. sie haben eine Zuneigung zu vielerlei Organen und Geweben, so z. B. die des Gelbfiebers, der Pocken und der Influenza.

Besonders charakteristisch ist die Fähigkeit einer ganzen Anzahl von Vira, in den infizierten Zellen Veränderungen herbeizuführen, die vielfach größte diagnostische Bedeutung bekommen haben. Es handelt sich hier um die sog. Einschlußkörperchen. Hier handelt es sich aber nicht um bereits vorgebildet gewesene und dann in die Zelle eingedrungene oder von letzterer aufgenommene Körperchen, sondern lediglich um Reaktionsprodukte der Zellen gegenüber der Wirkung des betreffenden Virus. Je nach ihrer Lokalisation inner- oder außerhalb des Kernes unterscheidet man drei Virusgruppen:

1. solche, die zu Einschlüssen im Zellprotoplasma außerhalb des Kernes führen: Variola, Vakzine, Tollwut, Trachom, Molluscum contagiosum als menschliche Krankheiten, Geflügel- und Schafpocken, Schweinepest, Staupe, Kaninchenmyxom als Tierkrankheiten (Abb. 2);

2. solche, die zu Kerneinschlüssen führen: Herpes, Windpocken, Gelbfieber als menschliche Krankheiten, Stomatitis aphthosa und Bornasche Krankheit der Pferde als Tierkrankheiten;

3. solche, die gleichzeitig zu Protoplasma- und Kerneinschlüssen führen: die Pockenform Paravakzine und das Larynxpapillom.

Wie bereits erwähnt, unterscheiden sich die Vira grundsätzlich in ihrer Eigenschaft, nicht auf leblosen Nährböden züchtbar zu sein, von den bakteriellen Erregern.

Die obligate Gewebs- oder Zellaffinität mußte daran denken lassen, nach ganz anders gearteten Kulturverfahren zu suchen, als sie zur Bakterienzüchtung verwandt werden. Hierzu schien die Gewebezüchtung die beste Vorbedingung zu erfüllen. Mit ihrer Hilfe erhält man nämlich im Reagenzglas ein aus lebenden Zellen bestehendes Medium, das den Verhältnissen *in vivo* verhältnismäßig nahekommt. Schon wenige Jahre nach der Entdeckung des Gewebezüchtungsverfahrens

durch den Leipziger Entwicklungsmechaniker Roux wurden die ersten Viruszüchtungsversuche mit ausgepflanzten Zellen angestellt.

Zur dauernden Züchtung eines Virus außerhalb des Organismus stehen heute praktisch drei Methoden zur Verfügung:

1. Kultivierung des Virus in kleinen Mengen in der sog. Eintropfengewebekultur,

die im wesentlichen darin besteht, daß Gewebestückchen, zu denen das betreffende Virus eine besondere Affinität hat, in einem aus Blutplasma und einem wachstumsfördernden Gewebsextrakt bestehenden Tropfen auf ein Glimmerplättchen gebracht werden (Abb. 3). Das Gewebestückchen wird vorher durch Eintauchen in Virus infiziert, oder das Virus wird auch dem Kulturtröpfchen unmittelbar zugesetzt. Die fertige Kultur wird auf einem hohlgeschiffenen Objektträger mit Vaseline oder Paraffin luftdicht montiert. Zur serienweisen Züchtung werden die Kulturen nach mehrfacher Bebrütung geteilt und normalen Kulturen zugesetzt. Je nach dem Vermehrungsgrad des Virus schwankt die Dauer jeder einzelnen Kultur.

Die Eintropfenkultur ist bisher grundsätzlich die beste Methode zur Züchtung eines Virus geblieben. Die meisten überhaupt schon gezüchteten Vira sind mit ihrer Hilfe kultiviert worden, z. B. die Vira der Vakzine, des Herpes, der Maul- und Klauenseuche, der Psittakose, der Enzephalitiden, verschiedene Rickettsien u. a. m.

2. Viruszüchtung in größeren Mengen

Das eben beschriebene Verfahren liefert stets nur kleine Virusmengen. Um größere Mengen zu erhalten, wie sie zur Gewinnung von Impfstoffen gebraucht werden, empfehlen sich die sog. Flaschenkulturen, in denen fein zerkleinertes Gewebe in größerer Menge in einem flüssigen Nährboden suspendiert ist. Die serienweise Weiterzüchtung erfolgt derart, daß von der jeweils bebrüteten Kultur eine kleine Menge auf frische Kulturen übertragen wird.

*) Nach E. Gildemeister, Deutsche med. W.-Schr. 1938, S. 643.

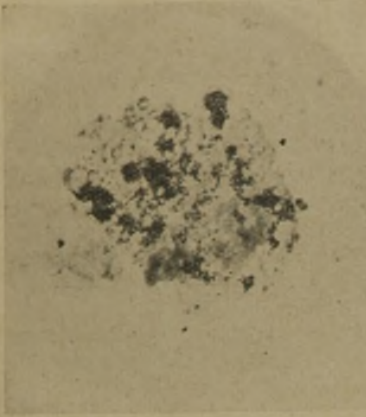


Abb. 1: Psittakosevirus — Elementarkörperchen in einer Exsudatzelle. 1000fache Vergrößerung.



Abb. 2: Kaninchenhornhaut mit Vakzinevirus infiziert. Die Epithelzellen enthalten Guarnierische Einschlusskörperchen. 1000fache Vergrößerung.

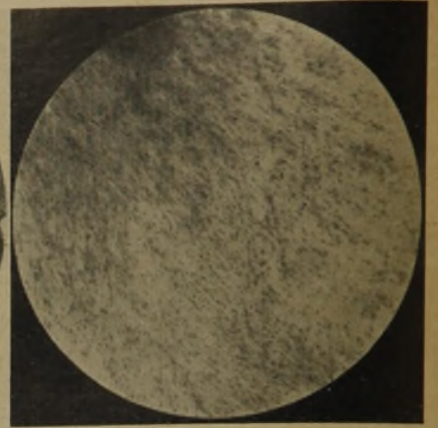


Abb. 3: Teil einer Gewebekultur zur Viruszüchtung. — Uebersichtsbild.

In derartigen Nährböden sind u. a. gezüchtet worden die Vira der Vakzine, des Herpes, der Maul- und Klauenseuche, des Gelbfiebers, der Hühnerpest, der Psittakose, der Influenza und die Rickettsien.

3. Viruszüchtung im bebrüteten Hühnerei

Die dritte Methode der Viruskultivierung ist die auf der Eihaut des befruchteten Hühnereies, die zuerst zur Züchtung des Pockenvirus verwandt worden ist. Diese Methode ist insofern einfacher als die anderen, als sie keiner besonderen sorgfältigen und zeitraubenden Vorbereitungen bedarf. Das Ei stellt nämlich gleichzeitig Kulturgefäß und Nährboden dar. Das Ei wird an einer Stelle eröffnet und die Chorioallantois freigelegt. Auf diese wird das Virus gebracht, worauf das Ei wieder sorgfältig mit einem Glas- oder Glimmerplättchen oder einem Zellophanhäutchen verschlossen wird. Nach einigen Tagen der Bebrütung hat auf der Eihaut eine genügende Virusvermehrung stattgefunden, um von dieser aus weitere Eier serienmäßig zu beimpfen. Auf diese Weise gelingt also ebenfalls eine Virusdauerzüchtung. Als wichtigste Übertragungsarten der Viruskrankheiten auf Mensch oder Tier kommen in Frage:

1. die Staub- und Tröpfcheninfektion durch Einatmen oder Verschlucken des Virus: Pocken, spinale Kinderlähmung, Encephalitiden, Masern, Psittakose, Influenza, Erkältung u. a.;
2. Infektion durch Insekten als Zwischenwirte und Überträger: Gelbfieber durch Mücken, die verschiedenen Fleckfieberarten durch Läuse, Flöhe, Zecken und Milben;
3. Kontakt- oder Berührungsinfektion: Ägyptische Augenkrankheit und Lymphogranuloma inguinale;
4. Infektion durch Biß viruskranker Tiere: Tollwut, Bißinfektionen im Laboratorium durch mit verschiedenen Virusarten infizierte Versuchstiere.

Fast alle Viruskrankheiten verlaufen virämisch, d. h. das Virus bleibt nicht auf ein Organ oder Gewebe beschränkt, sondern es breitet sich über den ganzen Organismus auf dem Blutwege aus. Dieses virämische Stadium ist häufig aber nur von kurzer Dauer, denn der Erreger pflegt sich schnell in den Zellen anzusiedeln und ist dann im Blute nicht mehr nachweisbar. Damit hat die Krankheit selbst aber noch nicht ihren Abschluß gefunden. Obwohl der Organismus sich schon im Zustand einer deutlichen Abwehr befindet und im Serum auch schon spezifische Antikörper nachweisbar zu werden pflegen, so vermag die Krankheit dann doch erst in ihr eigentliches schweres Stadium, das des toxi-

schen Zustandes, einzutreten. Hier kommt es dann je nach dem Tropismus des Virus zu mehr oder weniger schweren Zerstörungen der Gewebe und Organe, die dann je nach der Lokalisation das Krankheitsbild beherrschen. So sind z. B. beim Gelbfieber die schweren Leber- und Nierenzerstörungen, bei den Gehirnentzündungen Ganglienzellenzerstörungen, bei der spinalen Kinderlähmung Zerstörungen anderer Gehirnteile charakteristisch.

Bei manchen Viruskrankheiten kommt es trotz der außerordentlichen Gewebsschädigungen zu einer völligen Wiederherstellung.

Eine spezifische Behandlung der Viruskrankheiten gibt es noch nicht. Der Wert der Tollwutbehandlung hängt von der möglichst schnellen Impfung nach dem Biß ab. Auch bei einmal ausgebrochenen Pocken versagt die Schutzimpfung. Für das Gelbfieber gibt es weder eine Vakzine- noch Serumbehandlung, und auch bei der Poliomyelitis ist der Wert der letzteren noch zu bezweifeln. Das gleiche gilt für die Psittakose.

Zahlreiche Viruskrankheiten führen nach ihrem Überstehen zu einer langen, oft sogar lebenslänglichen Immunität. Zu diesen gehören Pocken, Windpocken, Masern, Mumps, Gelbfieber. Auch die Psittakose scheint eine längere Immunität zu erzeugen. Von nur kurzer Dauer ist der Schutz bei Influenza und Erkältung. Beim Herpes liegen die Immunitätsverhältnisse ebenfalls noch ziemlich unklar, denn man kann immer wieder beobachten, daß manche Menschen kurz hintereinander an Herpesausbrüchen leiden, die besonders häufig dann aufzutreten pflegen, wenn gerade andere Erkrankungen eine erneute Manifestation erleichtern.

Schon ganz leichte Erkrankungen oder sogar symptomlos verlaufende Infektionen genügen, um eine Immunität auszulösen. Hierauf beruht auch der Wert der aktiven Immunisierung mit abgeschwächten oder abgewandelten Erregern. Bei Infektion ohne Erkrankung spricht man von stiller Feiung. Beispiele für eine solche bieten das Gelbfieber sowie auch die Kinderlähmung.

Zur Schutzimpfung benutzt man im allgemeinen Vira, die auf experimentellem Wege abgeschwächt oder eines Teiles ihrer pathogenen Eigenschaften beraubt worden sind, aber trotzdem ihre spezifischen antigenen Eigenschaften behalten haben. In erster Linie ist hier zu nennen die Pockenschutzimpfung mit Kälberlymphe; auch gegen das Gelbfieber gibt es seit einigen Jahren einen im Tier gewonnenen Impfstoff. Neuerdings finden mehr und mehr gegen diese beiden Krankheiten Impfstoffe Verwendung, die nicht mehr im Tier, sondern im Reagenzglas hergestellt werden.

Diese neuen Methoden der Impfstoffbereitung müssen als außerordentlicher Fortschritt bezeichnet werden. Gestätten sie doch die Herstellung besonders zuverlässiger und reiner Impfstoffe, wie sie das Tier niemals gewährleisten kann. Ein derartiger Kulturimpfstoff wird seit einigen Jahren, nachdem mir erstmalig die Züchtung des Gelbfiebersvirus gelungen war, mit größtem Erfolge auch zur Massenimpfung gelbfiebergefährdeter Bevölkerungsgruppen verwandt.

Mit abgetöteten Erregern, wie sie vielfach mit Erfolg zur Schutzimpfung gegen bakteriell bedingte Infektionskrankheiten benutzt werden, ist eine sichere und wirksame Schutzimpfung gegen die Viruskrankheiten noch nicht gelungen. Eine gewisse Ausnahme bildet vielleicht das Fleckfieber. Aber auch hier hält der durch Verimpfung abgetöteter Rickettsien gewährte Schutz nur verhältnismäßig kurze Zeit vor.

Durch Pufferung der Virusimpfstoffe kann ihre Gefährlichkeit für den Organismus weitgehend herabgesetzt werden. Diese Pufferung erfolgt durch Zusatz genügender Mengen spezifischer Antiseren. Unter deren Schutz vermag der Organismus das Virus aufzunehmen, ohne daß letzteres aber manifest wird, d. h. zu Erkrankungen führt, bevor der Organismus selbst genügend Abwehr- oder Schutzstoffe gebildet hat.

Über die Vorgänge der Immunisierung im Organismus haben eigene Untersuchungen einige Aufklärung gebracht. Bringt man Immuneserum, Gewebe und Virus gleichzeitig zusammen, so vermag ein Teil des Virus, noch bevor es von den außerhalb der Zellen befindlichen Immunkörpern neutralisiert, d. h. gebunden wird, in die Zellen zu gelangen und sich in diesen zu vermehren. Einmal in der Zelle, ist das Virus dem Zugriff der Serumschutzkörper entzogen, denn letztere vermögen offenbar aus bestimmten chemisch-physikalischen Gründen, die in der Beschaffenheit der Zellgrenzmembranen zu suchen sein dürften, aber noch nicht bekannt sind, nicht in die Zelle einzudringen. Nach hinreichender Vermehrung gelangt das Virus aus der Zelle wieder in das umgebende Medium, in dem sich die Immunkörper befinden. Das freie Virus neutralisiert nun hier seinerseits allmählich alle noch vorhandenen Schutzkörper.

Übertragen wir diese Beobachtung auf den Organismus, so haben wir eine Erklärung dafür, warum die Serumtherapie im Krankheitsfall ohne Zweck ist. Denn auch im Organismus gelangt das Virus in die Zellen, wo es ebenso wie in vitro vor der neutralisierenden Wirkung der Schutzstoffe des Serums geschützt bleibt.

Bringt man erst Virus und Zellen zusammen und fügt dann Immuneserum hinzu, so spielt sich der eben beschriebene Vorgang in noch stärkerem Maße ab. Ganz

anders liegen die Verhältnisse, wenn erst Immuneserum und Zellen zusammengebracht und dann später Virus hinzugefügt wird. Dann bilden die Immunkörper des Serums gewissermaßen einen Schutzwall um die Zelle, und das Virus wird neutralisiert, bevor es die Zellen erreicht. Auch diesen Modellversuch kann man auf den Organismus übertragen. Ist letzterer hinreichend aktiv immunisiert, so besitzt er genügend Schutzstoffe, die in den Körperflüssigkeiten kreisen, um das Virus zu binden und es nicht in die Zellen gelangen zu lassen, sowie in dem Organismus den Ausbruch der Krankheit selbst zu verhindern.

Bezüglich der neuerdings in den Vordergrund des Interesses gerückten Frage, ob die Vira belebt oder unbelebt sind, kann zur Zeit nur gesagt werden, daß alle Bemühungen, den Nachweis der Unbelebtheit zu führen, noch keinen Erfolg gehabt haben, und daß alle biologischen und sonstigen wohlverstandenen Eigenschaften nach wie vor für die belebte Natur der Elementarkörperchen sprechen.

Auf dem Gebiete der experimentellen Krebsforschung steht noch die Frage der Entstehung der Geschwülste im Vordergrund. Bisher kennt man als krebs-erzeugende Ursachen zwei Hauptgruppen: 1. Vira, 2. bestimmte chemische Substanzen. Es ist schon lange bekannt, daß es Hühnertumoren gibt, die durch zellfreie Filtrate übertragbar sind. Neuerdings kennt man auch einige Säugetiertumoren mit dieser Eigenschaft. Überall dort, wo es Tumovira gibt, handelt es sich um ein ganz spezifisches Agens, das, auf neue Tiere übertragen, immer wieder zur Entstehung morphologisch gleichartiger Geschwülste führt. Zum Beispiel erzeugt das Spindelzellensarkom immer wieder ein Spindelzellensarkom, das Myxom ein Myxom, usw. Wie die anderen Vira besitzen auch die Tumovira die Fähigkeit der unbegrenzten Vermehrung, die aber ebenso wie bei den ersteren in vivo wie in vitro eng an die Gegenwart lebender Zellen gebunden ist. In dieser Eigenschaft ist schon ein besonders wichtiges Kennzeichen zur Eingruppierung der Tumovira gegeben. Durch ihre besondere Affinität zu den Tumorzellen selbst ist erst ihre Vermehrung gewährleistet. Auch bei der Tumorerzeugung durch chemische Stoffe scheinen Vira eine gewisse Rolle zu spielen. Welche inneren Beziehungen zwischen der Wirksamkeit beider bestehen, insbesondere, welcher Kombination von Virus und chemischem Agens es bedarf, um eine normale Zelle in eine maligne umzuwandeln, ist noch unbekannt. Krebsbereitschaft als endogener Faktor und Virus als exogener Faktor könnten zusammen notwendige Voraussetzung für eine Tumorentstehung sein. Hier handelt es sich jedoch um einen außerordentlich schwierigen biologischen Komplex, zu dessen restloser Erkennung es noch eingehender Untersuchungen bedarf.

Physikalische Grundlagen des Nachrichtenwesens*)

Von Dr. phil. F. Hummel, Physikalische Werkstätten A. G., Göttingen

Das Nachrichtenwesen, sowohl das zivile als auch das militärische, ist heute in seiner Gesamtheit von ungeheurer Bedeutung, so daß es notwendig ist, die physikalischen Grundlagen der Nachrichtenübermittlung bereits in den allgemeinbildenden Schulen und in den Fachschulen eingehend im Rahmen des Physikunterrichtes zu bearbeiten, damit nachher in der Praxis die fachlichen Voraussetzungen vorhanden sind. Aus diesem

Grunde sind im folgenden zahlreiche Versuche zusammengestellt, die einen Überblick über die wesentlichsten physikalischen Grundprobleme geben, die in der Nachrichtentechnik Verwendung finden). Allgemein gesprochen kann die Übermittlung von Nachrichten erfolgen direkt akustisch durch Ausbreitung von Tönen oder Geräuschen, optisch durch Zeichengebung und elektrisch durch Umformung

*) Abbildungen des Verfassers.

1) Die zu den Versuchen benutzten Geräte werden von den Physikalischen Werkstätten A. G., Göttingen, hergestellt.

von akustischen, mechanischen oder optischen Signalen in elektrische am Gebeort und wieder Zurückformung dieser Signale am Empfangsort.

Die letztere Methode, also die elektrische Nachrichtenübermittlung, nimmt den weitaus größten Raum des gesamten Nachrichtenwesens ein.

Im wesentlichen sind es nun heute zwei Hauptgruppen der Nachrichtenübermittlung: die Telephonie und Telegraphie einschließlich Bildtelegraphie mit und ohne Draht und das Fernsehen.

Da Bildtelegraphie und Fernsehen allein schon eine umfangreiche Materie ausmachen, soll die eigentliche Telephonie und Telegraphie mit und ohne Draht im folgenden betrachtet werden.

Bei der Telephonie dreht es sich zunächst darum, Schallenergie in elektrische Energie umzuwandeln. Ein einfacher Versuch soll über die Art der Sprachschwingungen Aufschluß geben.

Versuch 1: Über ein Rohr wird eine Gummihaut gespannt, auf deren eine Seite ein Spiegelchen aufgeklebt ist. Der Lichtstrahl einer Lampe fällt auf das Spiegelchen und wird reflektiert von einem Drehspiegel auseinandergezogen. Rufft man nun gegen die Membran, so beobachtet man eine Schwingungskurve. Die Sprache besteht wie jeder Ton und Musik aus Schwingungen und Schwingungsgemischen der Luft. Diese Luftschwingungen, also die Schwingungsenergie der Luft, teilen sich der Membran mit und erregen diese. Es ist nun notwendig, mit diesen Membranschwingungen einen elektrischen Strom zu steuern. Eine Möglichkeit hierzu zeigt der folgende Versuch:

Versuch 2: Ein mit Kohlestücken gefüllter Glaszylinder hat auf der einen Seite einen festen Metallbelag, auf der anderen Seite eine membranartige Aluminiumfolie. Dieses Gerät wird über ein Meßinstrument an eine Batterie nach Abb. 1 angeschlossen. Man beobachtet, daß beim Drücken der Membran die Stromstärke geändert wird.

Versuch 3: Nun schaltet man einen Transformator in den Stromkreis ein (Abb. 2). Man beobachtet, daß nur die Impulse transformiert werden. Die den Sprachschwingungen entsprechenden Stromimpulse liegen als Wellenstrom über dem Gleichstrom, aber nur sie werden nach Versuch 3 transformiert. Diese Stromimpulse müssen nun wieder in Sprachschwingungen umgewandelt werden. Eine Möglichkeit hierzu zeigt folgender Versuch:

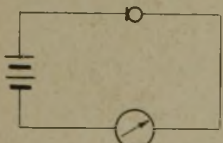


Abb. 1: Mikrophonmodell

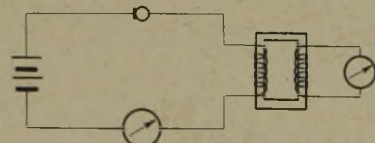


Abb. 2: Mikrophontransformator

Versuch 4: Über einen Hufeisenmagnet wird eine Spule gesteckt und diese über die Mikrophondose an die Batterie angeschlossen. Über die Pole des Magneten klemmt man eine kleine Metallfeder, die zur besseren Beobachtung der eintretenden Erscheinung im Schattenschirm projiziert wird. Beim Drücken der Dose wird eine Bewegung der Eisenfeder beobachtet.

Wenn man nun die Eisenfeder durch eine Eisenmembran ersetzt, so wird diese zum Schwingen erregt, die schwingende Membran stößt die Luft an und überträgt wieder die Stromschwankungen in Sprachschwingungen. Es ist nun wesentlich, die Art der Ton- und Sprachfrequenzen kennenzulernen. Die Kurven verschiedener Sprachschwingungen sollen durch folgende Versuche gezeigt werden:

Es ist nun wesentlich, die Art der Ton- und Sprachfrequenzen kennenzulernen. Die Kurven verschiedener Sprachschwingungen sollen durch folgende Versuche gezeigt werden:

Versuch 5: Zur Darstellung der Sprachschwingungen verwendet man eine Braunsche Röhre, die man über einen Verstärker an das Mikrophon anschließt. Die Braunsche Röhre ist für die Demonstration solcher Sprachschwingungen und überhaupt zur Demonstration oszillatorischer Vorgänge heute das geeignetste Gerät, da sie trägeheitslos arbeitet und somit jede Veränderung anzeigt. Durch Verwendung eines Kippgerätes kann man die Kurve beliebig auseinanderziehen und somit die Sprachkurve genau analysieren.

Die Beobachtung zeigt, daß sich die Sprache aus einem Gemisch verschiedenster Schwingungen zusammensetzt, die sich zu einer Sprach- oder Klangkurve überlagern. Es ist wichtig, gerade dies zu betonen, weil bei der Fernleitung der Sprechströme die verschiedenen Frequenzen verschiedenen Einwirkungen unterworfen sind.

Es sei hier kurz auf die modernen Methoden der Umsetzung von Schallenergie in elektrische Energie, d. h. auf die Arbeitsweise moderner Mikrophone eingegangen.

Bei der normalen Nachrichtentechnik im Fernsprecher ist das altbewährte Kohlenkörnermikrophon im Gebrauch. Für Übertragungsanlagen, wie beim Rundfunk, wo es auf ausgezeichnete Übertragungsqualität und amplitudentreue Wiedergabe ankommt, werden heute das Bändchenmikrophon, das Kondensatormikrophon und neuerdings auch das Kristallmikrophon benutzt.

Das Bändchenmikrophon besteht aus einem kräftigen Elektromagneten, zwischen dessen Polen ein dünnes, quergeriffeltes Aluminiumbändchen aufgehängt ist (Abb. 3). Bei Besprechung des Bändchens führt dieses Schwingungen aus, wodurch an seinen Enden eine Induktionsspannung von etwa $\frac{2}{10}$ Millivolt erzeugt wird, die nach entsprechender Verstärkung zur Steuerung eines Senders verwendet werden kann. Das Bändchenmikrophon hat eine sehr niedrige Eigenfrequenz, weshalb die Hörfrequenzen amplitudentreu wiedergegeben werden.

Das Kondensatormikrophon (Abb. 4) stellt einen Plattenkondensator dar, der von einer Metallplatte und einer etwa in $\frac{2}{1000}$ mm Abstand davon befindlichen Aluminiumfolie gebildet wird. Dieser Kondensator wird im Takte der Schallschwingungen dauernd in seinem Ladezustand geändert, da die schwingende Aluminiumplatte den Kondensatorplattenabstand dauernd verändert. An den Enden eines eingeschalteten Hochohmwiderstandes entsteht hierbei eine Wechsellspannung von im Mittel 0,5 mV, die entsprechend verstärkt werden muß. Die Eigenfrequenz

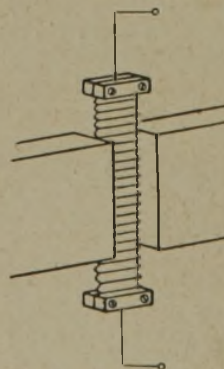


Abb. 3: Bändchenmikrophon

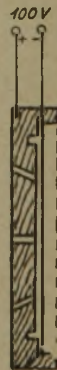


Abb. 4: Kondensatormikrophon

des Kondensatormikrophons liegt oberhalb der Hörschwingungen, weshalb auch hier eine sehr gute Wiedergabe erfolgt.

Über die Sprachwiedergabegeräte ist folgendes zu sagen. Sie beruhen alle auf dem Prinzip

der magnetischen Anziehung und Abstufung einer Membran, einer Eisenzunge oder einer Magnetspule durch die Modulationsströme. Die drei Haupttypen sind:

- a) der elektromagnetische,
- b) der Freischwinger,
- c) der elektrodynamische Lautsprecher.

a) Der elektromagnetische Lautsprecher entspricht unserem Telephon, das bereits durch den Versuch geklärt ist. Der Nachteil dieses Gerätes ist, daß infolge der dauernden Anziehung der Membran bei größeren Belastungen die Stromstöße, die die Membran anziehen, infolge der mit dem Abstand quadratisch wachsenden Kraft des Magnetfeldes größer werden, als es bei dem umgekehrten Stromstoß der Fall ist.

b) Der Freischwinger (Abb. 5) ist aus dem elektromagnetischen Lautsprecher entstanden. Über einem Magneten befindet sich an einer Zunge der Eisenanker, der von der Spule der Sprechströme umflossen wird. Diese Anordnung wirkt infolge ihres symmetrischen Baues auch bei hohen Leistungen verzerrungsfrei.

c) Der elektrodynamische Lautsprecher (Abb. 6) besteht aus der Sprechstromspule, die in das Feld eines Elektromagneten hineintaucht. Sie wird alsdann bei Stromfluß in dem Spalt hin- und herschwingen. Auf diese Weise lassen sich hohe Leistungen unverzerrt wiedergeben.

Neuerdings benutzt man zu Mikrofonen und zu Lautsprechern einen interessanten physikalischen Effekt, den piezoelektrischen Effekt. Viele Kristalle haben die Eigenschaft, daß bei mechanischem Druck auf ihren Flächen elektrische Ladungen auftreten. Besonders zeichnen sich hier Quarz und Seignettesalz aus. Dies zeigt folgender Versuch:

Versuch 6: In einer Fassung befindet sich ein solcher Seignettesalzkristall. Die Fassung ist so gebaut, daß gegen die Flächen des Kristalles zwei Elektroden angedrückt werden, die zu einem Elektrometer führen. Der Faden des Elektrometers wird auf dem Transparenzschirm abgebildet. Man beobachtet bei Druck auf den Kristall einen Ausschlag des Elektrometerfadens. Drückt man rhythmisch den Kristall, so beobachtet man ein Hinundhergehen des Zeigers, also eine Wechselspannung, die nach genügender Verstärkung praktisch verwendet werden kann. Dies zeigt folgender Versuch:

Versuch 7a: Der Kristall wird an einen Verstärker angeschlossen und auf ihn eine Stimmgabel gesetzt. Wir hören den Ton, da die durch die Stimmgabelschwingungen entstehenden Longitudinalschwingungen des Stimmgabelfußes auf die Kristalle übertragen werden und so Steuerspannungen für den Verstärker erzeugen.

Man kann also eine piezoelektrische Kristallplatte als Mikrofon verwenden, wenn man die durch die Schallschwingungen auftretenden Kristallschwingungen geeignet verstärkt. Ähnlich läßt sich auch eine solche Kristallplatte als Tonabnehmer für den Schallplattenapparat benutzen.

Versuch 7b: Auf die Kristallplatte in der Fassung des vorigen Versuches wird eine Nadel aufgesetzt, und dieser Kristalltonabnehmer auf die Schallplatte gesetzt. Man beobachtet eine für diesen rohen Versuch gute Tonwiedergabe. Ebenso kann man die Kristallplatte als Lautsprechermembran verwenden, wenn die Kristallplatte in den Ausgangskreis des Verstärkers gelegt wird.

Die Telephonie mit Draht.

Prinzipiell wird die Telephonie mit Draht so durchgeführt, daß am Gebeort der durch das Mikrofon modulierte Gleichstrom durch einen Transformator fließen wird, wo nur die Sprechströme als Wechselstrom transformiert werden (s. Versuch 3). Diese Wechselströme durchfließen die Fernleitungen und werden über einen zweiten Transformator dem Telephon zugeführt. Auf die technische Durchführung der Fernleitungen sei hier nicht eingegangen. Physikalisch wesentlich ist aber die Tatsache, daß die in den Fernleitungen fließenden Sprechströme als Wechselströme allen Wechselstromgesetzen unterworfen sind.

Aus den vorangegangenen Versuchen ist aber bereits ersichtlich, daß die Sprachschwingungen aus einem Frequenzgemisch bestehen. Es werden also von den Wechselstromgesetzen diejenigen von Bedeutung werden, in denen eine Frequenzabhängigkeit vorkommt.

Als erstes ist hier die Dämpfung durch die Absorption der sich längs des Drahtes ausbreitenden Sprachfrequenzen zu nennen. Diese Dämpfung errechnet sich aus der Theorie

$$\alpha = \frac{R}{2L \cdot f}$$

Hieraus ersehen wir, daß der Absorptionskoeffizient von der Frequenz abhängig ist. Das besagt aber, daß das Amplitudenverhältnis der Sprachfrequenzen bei großer Dämpfung sich ändert, was natürlich eine Verzerrung bedeutet. Diese Dämpfung läßt sich durch Einbau von Induktionsspulen, den sogenannten Pupinspulen, verringern, da, wie aus der Formel ersichtlich, die Selbstinduktion die Dämpfung verringert. Die praktische Erfahrung hat nun gezeigt, daß durch passenden Einbau von Pupinspulen die Dämpfung auf den vierten Teil herabgedrückt werden kann. Die durch die Einschaltung der Pupinspulen erfolgte Erhöhung der Induktivität des Leitersystems bewirkt aber auch eine Schwächung der höheren Frequenzen, weshalb die Induktionswerte genau berechnet werden müssen, um den günstigsten Effekt zu ermöglichen.

Eine zweite wesentliche Störung der Drahtübertragung erfolgt durch induktive Beeinflussung der verschiedenen Leiter aufeinander, wodurch Gespräche von der einen Leitung auf andere durch Induktion übertragen werden können. Man bezeichnet dies als Übersprechen. Vermieden wird diese Störung durch öfteres Kreuzen der Leitungen, wobei die verschiedenen Induktionen einander aufheben.

Von Bedeutung ist noch folgende Erscheinung:

Versuch 8: In den Ausgang des Verstärkers schaltet man den Lautsprecher und parallel dazu verschiedene Kapazitäten, die man am besten einem Stufenblockkondensator entnimmt. Mit zunehmender Kapazität werden Sprache und Musik verzerrt. Man hört nur noch die tiefen Frequenzen. Hieraus ergibt sich die

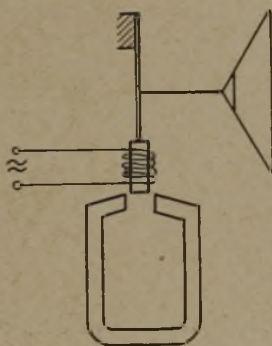


Abb. 5: Freischwinger

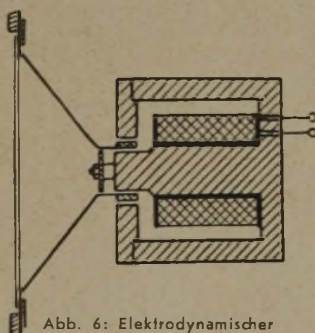


Abb. 6: Elektrodynamischer Lautsprecher

Notwendigkeit der kapazitätsarmen Verlegung der Leitungen.

Wenn die beiden Leiter einer Fernleitung längere Zeit parallel laufen, so findet ein kapazitiver Nebenschluß statt, der die höheren Frequenzen, die ja geringeren kapazitiven Widerstand besitzen, abfließen läßt, bevor diese Frequenzen zum Telephon gelangen. Der Versuch veranschaulicht dies.

Mit diesen Betrachtungen wären die eigentlichen physikalischen Grundprobleme der direkten Nachrichtenübermittlungen abgeschlossen. Es sei jedoch hier noch ein Versuch angeschlossen, der in der wehrtechnischen Praxis große Bedeutung besitzt: das Abhören des Feindes.

Versuch 9: In einen Sandkasten bringt man die Eingangsleitung des Tonabnehmers derart, daß die Sprechströme durch den Sand hindurchfließen. Es breitet sich im Sand ein Feld aus, dessen Feldlinien je nach der Beschaffenheit des Sandes verlaufen. Zwischen den Feldlinien befindet sich ein Potentialgefälle. Bringt man nun zwei Sonden in den Kasten, dann können die Spannungen abgegriffen und diese hörbar gemacht werden. Es ist nur erforderlich, daß man über eine kräftige Verstärkung verfügt, wie sie heute durch die Röhrenverstärker gegeben sind. Wir beobachten, daß je nach der Lage der Sonden verschiedene Lautstärken empfangen werden können.

In der Praxis spielt sich die Angelegenheit folgendermaßen ab: Wenn vom Feind einfache Leitungen verlegt werden, also Leitungen, bei denen als Rückleitung die Erde benutzt wird, dann liegen dieselben Verhältnisse vor wie bei unserem Versuch. Werden nun vom Feind Sicherden angelegt, so ist es möglich, die Gespräche und Meldungen abzu hören. Aus diesem Grunde ist es erforderlich, entweder immer Doppelleitungen ohne Erdbenutzung zu verwenden oder mit verschlüsselten Meldungen zu arbeiten.

Die drahtlose Telephonie

Als Hilfsmittel hierzu dienen die elektrischen Wellen, die mit den zu übertragenden Sprachfrequenzen moduliert werden, um dann durch Antennen in den Raum ausgestrahlt zu werden. Am Empfangsort werden die Wellen empfangen, verstärkt und die aufgeprägte Frequenz wieder hörbar gemacht. Über das Wesen und die Theorie der elektrischen Schwingungen im einzelnen zu sprechen, würde hier zu weit führen. Die Erzeugung elektrischer Schwingungen geschieht mit den bekannten Schwingkreisschaltungen mit Elektronenröhren. Ein Beispiel dieser Schaltungen zeigt die folgende Abb. 7.

Die Seele der Schaltung ist der aus einem Kondensator und einer Spule als Selbstinduktion gebildete Schwingungskreis. Beim Einschalten des Stromes wird der Schwingungskreis angestoßen und schwingt ge-

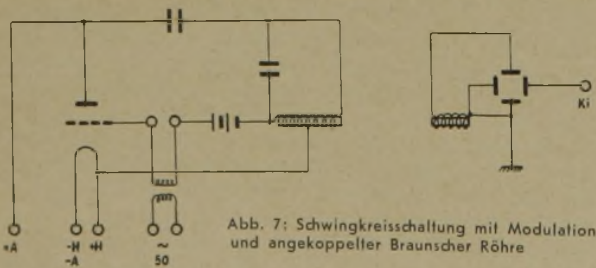


Abb. 7: Schwingkreisschaltung mit Modulation und angekoppelter Braunscher Röhre

dämpft ab. Da aber über das Gitter der Röhre der Anodenstrom gesteuert wird, so wird der Schwingungskreis immer im Takt seiner Eigenfrequenz angestoßen, so daß er schließlich ungedämpft schwingt.

Mittels einer angelegten Antenne kann die Schwingungsenergie als elektrische Wellen in den Raum hinausgestrahlt werden.

Versuch 10: In dem Versuch wurden die Kapazität und Induktion so gewählt, daß eine Schwingung im Hörbereich entsteht. Man hört einen Ton, der durch Veränderung der Kapazität und Induktion verändert werden kann.

Man bezeichnet nun die vom Sender ausgestrahlte Frequenz als Trägerfrequenz. Der Unterschied der technischen Sender gegenüber dem angegebenen Versuch besteht nun darin, daß in der Technik wesentlich höhere Frequenzen verwendet werden. Die Beziehung zur Errechnung der Wellenlänge in Meter lautet bekanntlich

$$\lambda = \frac{300\,000 \text{ km}}{v}$$

$$\frac{1}{v} = 2\pi \sqrt{L \cdot C}$$

$$v = \frac{1}{2\pi \sqrt{L \cdot C}}$$

wobei sich aus der Formel

errechnet. Durch diese beiden Formeln sind die Werte von Kapazität und Selbstinduktion gegeben, die zu einer bestimmten Wellenlänge erforderlich sind.

Versuch 11: Um nun die Art der vom Sender erzeugten Schwingung kennenzulernen, nimmt man die Braunsche Röhre zu Hilfe und beobachtet, daß die Schwingung ungedämpft und sinusförmig ist. Es werden also ebenso sinusförmige Wellen in den Raum ausgestrahlt. Diese Wellen müssen nun moduliert werden, d. h. ihre Amplituden müssen den zu übertragenden Sprechströmen proportional sein.

Im Demonstrationsversuch wird die Sendefrequenz mit einer konstanten niedrigen Frequenz dem technischen Wechselstrom von 50 Hertz moduliert. Hierzu wird in den Gitterkreis ein Transformator geschaltet, dessen Primärseite mit dem technischen Wechselstrom durchflossen wird. Hierdurch werden dem Gitter die Steuerungsspannungen aufgedrückt und somit die Amplituden der Trägerfrequenz moduliert. Man beobachtet die modulierte Trägerfrequenz auf dem Schirm der Braunschen Röhre.

Zum Empfang der Wellen ist es notwendig, die vom Sender ausgestrahlten Wellen zu empfangen, die Modulationsfrequenzen von der Trägerfrequenz zu trennen und erstere verstärkt wiederzugeben. Hierzu gibt es unzählige Schaltungen von Röhren und Detektoren. Dieselben hier an dieser Stelle zu behandeln, würde zu weit führen.

Die Ausbreitung der elektrischen Wellen in Raum

ist selbstverständlich für die Entfernung der zu übermittelnden Nachrichten von größerer Bedeutung. Hierüber ist, kurz gefaßt, folgendes zu sagen:

Je nach der Bauart der ausstrahlenden Antenne findet vorwiegend eine Bodenstrahlung oder eine Raumstrahlung statt. Die Bodenstrahlung läuft als Bodenwellen längs der Erdoberfläche. Ihre Dämpfung ist von der Beschaffenheit des Bodens bestimmt, und bei Wasserflächen kleiner als bei Erdboden. Ebenfalls ist die Dämpfung von der Wellenlänge abhängig und bei langen Wellen erheblich geringer als bei kurzen. Daher arbeitet z. B. Nauen zur Überbrückung größter Entfernungen von 20 000 Kilometer und mehr mit Wellenlänge von 6 bis 18 Kilometer. Der Langwellenverkehr benötigt jedoch enorme Leistungen, weshalb man heute zum Kurzwellenverkehr übergeht. Die Kurzwellen von 100 bis etwa 10 Meter Wellenlänge haben die Eigenschaft, daß die Bodenwelle sehr stark gedämpft wird und schon nach geringer Entfernung

hinter dem Sender verlöscht. Die Raumwelle jedoch strahlt infolge der geringen atmosphärischen Dämpfung stark aus. Infolge einer in etwa 100 Kilometer über dem Erdboden befindlichen leitenden atmosphärischen Ionenschicht (der Heavysideschicht) werden diese Wellen wie an einem Spiegel reflektiert und kehren wieder zur Erde zurück. Auf diese Weise werden enorme Entfernungen überbrückt. Allerdings ist hier bei Tag und Nacht der Empfang stark verschieden und von der Wellenlänge abhängig, weshalb man bei festem Verkehr für bestimmte Tageszeiten verschiedene Wellenlängen verwendet. Ganz kurze Wellen, sogenannte Ultrakurzwellen, d. h. Wellen unter 10 Meter, breiten sich fast wie optische Wellen aus, und die Reichweite der Wellen ist annähernd gleich der optischen Sicht von der Sendeantenne bis zum Empfänger. Diese ultrakurzen Wellen sind für Fernsehübertragungen aus Gründen der hohen Modulationsfrequenzen der Bildtelegraphie notwendig, woraus schon ersichtlich ist, daß für Fernsehübertragungen eine große Menge von Sendern notwendig ist. Hieraus ergeben sich schon die großen Schwierigkeiten für die Schaffung eines Fernsehfunkes.

An ultrakurzen Wellen lassen sich sehr schön die Eigenschaften der elektrischen Wellen beobachten. Die zu diesen Versuchen benutzte Schaltung entspricht der bei der Erzeugung der Tonfrequenz benutzten, nur mit dem Unterschied, daß für diese höchsten Frequenzen außerordentlich geringe Selbstinduktion und Kapazität notwendig sind. Der Schwingkreis zeigt nun folgendes Bild (Abb. 8):

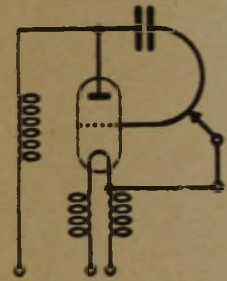


Abb. 8: Ultrakurzwellensender

Versuch 13: Vor den Sender wird ein Dipol von ungefähr 1,45 m Länge mit Glühlämpchen in der Mitte aufgestellt.

Die Dipolendstäbe — am besten verwendet man solche mit isolierenden Griffen — werden verschoben und die Länge gesucht, bei der das Lämpchen am hellsten glüht, das heißt der Dipol sich in Resonanz mit dem Schwingungserzeuger befindet. Da der Dipol aber einen geöffneten Schwingungskreis darstellt, müssen seine Feldlinien in den Raum hinausgreifen. Er wirkt als Sendeantenne, die Energie in den Raum hinausstrahlt. Die elektrischen Feldlinien verlaufen in Richtung des Dipols, die magnetischen senkrecht zu ihm. Da bei einem parallel zur Erdoberfläche befindlichen schwingenden Dipol erhebliche Abweichungen von der normalen Ausbreitung der elektrischen und magnetischen Wellen eintreten, ist es erforderlich, den Sendedipol senkrecht zur Erdoberfläche aufzustellen, was dann den wirklichen Verhältnissen völlig entspricht. Zu diesem Zweck wird der Dipolhalter an einer isolierenden Stange befestigt. Die so erhaltene Sendeantenne wird an den Schwingungserzeuger herangeschoben, bis ihr unteres Ende den Bügel des Schwingungskreises metallisch berührt. Die elektrischen und magnetischen Feldlinien breiten sich nach

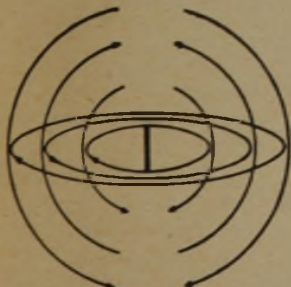


Abb. 9: Elektromagnetisches Strahlungsfeld

Abb. 9 im Raum aus.

Da das elektrische Feld in Richtung des schwingenden Dipols verläuft, ist ein Empfang desselben nur möglich,

wenn der Empfänger parallel zum Sendedipol gehalten wird. Der Empfänger muß dann ebenfalls ein auf den Sender abgestimmter Dipol sein, d. h. er muß dessen Länge besitzen. Der Empfangsdipol wird mit einem Glühlämpchen versehen und in die Nähe des Senders gebracht. Das Lämpchen leuchtet auf, wenn er parallel zum Sendedipol steht; es erlischt jedoch, wenn es sich in senkrechter Richtung von ihm befindet. Geht man mit dem Dipol, ihn immer parallel zum Sendedipol haltend, um diesen herum, so leuchtet das Lämpchen dauernd auf.

Hieraus ist ersichtlich, daß eine Ausnutzung des elektrischen Feldes für eine Bestimmung der Lage des Senders aus der Stellung des Empfangsdipols nicht möglich ist. Hierzu ist jedoch das magnetische Feld geeignet.

Das Magnetfeld des Senders breitet sich bei senkrecht stehendem Dipol in konzentrischen Kreisen parallel zur Erdoberfläche aus. Soll nun dieses Magnetfeld irgendwie empfangen werden, so muß es zunächst in einem Leiter Spannungen induzieren, die ihrerseits wieder einen Schwingungskreis zum Schwingen erregen. Zu einem solchen Leiter eignet sich am besten eine Spule, da bei dieser die Induktionswirkungen am stärksten auftreten. Wird diese Spule gleichzeitig als Selbstinduktion eines geschlossenen Schwingungskreises benutzt, so wird dieser Schwingkreis zu schwingen beginnen, sowie er auf die Welle des Senders abgestimmt ist. Die Spule erhält dann die bekannte Form der Rahmenantenne. Bei den hier benutzten ultrakurzen Wellen besteht der Rahmen aus einem oben geöffneten Drahtbogen, in dessen Mitte sich ein Glühlämpchen befindet. Die induzierten Spannungen erreichen aber erst dann ein Maximum, wenn die magnetischen Feldlinien die Ebene des Rahmens senkrecht durchsetzen. Dies ist dann der Fall, wenn die Rahmenfläche in Richtung auf den Sender zeigt. Wird der Rahmen gedreht, dann werden die induzierten Spannungen geringer und erreichen schließlich den Wert Null, sowie die Rahmenebene sich parallel zu den magnetischen Feldlinien, d. h. senkrecht zur Senderichtung, befindet. Wird der Rahmen um 360° gedreht, so müssen zwei Empfangsmaxima und zwei Empfangsminima auftreten.

Aus den obigen Versuchen ist die Verwendbarkeit einer Rahmenantenne für Richtungsbestimmung erwiesen. In der Praxis wird nun nicht auf die maximale Empfangsstärke eingestellt, sondern auf das Minimum, da dieses schärfer ausgeprägt ist und eine genauere Einstellung ermöglicht.

Andere Wege der drahtlosen Nachrichtenübermittlung

Eine Möglichkeit zur Nachrichtenübertragung, besonders unter Wasser, sind die Ultraschallwellen, die oberhalb der hörbaren Sprachfrequenz liegen. Diese Ultraschallwellen werden durch Magnetostriktion oder durch schwingende Kristalle (Piezokristalle) erzeugt. Da sie sich außerordentlich gut parallel bündeln lassen, läßt sich auf diesem Wege eine Nachrichtenübermittlung ermöglichen. Es läßt sich sogar die Schallfrequenz, die in diesem Fall der ungedämpften Schwingung eines Rundfunksenders entspricht, mit zu übertragender Sprachfrequenz modulieren. Auf diese Weise kann dann eine Ultraschalltelephonie zustande kommen.

Lichttelephonie

Eine an und für sich sehr alte, aber in letzter Zeit wieder oft genannte und voraussichtlich noch entwicklungsfähige Art der Telephonie ist die sogenannte Lichttelephonie. Sie beruht auf folgendem Prinzip:

Mit den Sprachströmen wird ein Lichtbündel moduliert und ausgesandt. Am Empfangsort werden diese Lichtstrahlen mit Hilfe einer Photozelle in Ströme verwandelt.

delt, die auch wieder die Modulation der Sprechströme tragen. Nach entsprechender Verstärkung kann die Sprache wieder vernommen werden. Die Anwendung der Lichttelefonie wird sich besonders auf die ultraroten Strahlen erstrecken, da diese unsichtbar sind und infolge der Bündelung des Lichtes eine solche Nachrichtenübermittlung unter keinen Umständen von unberufener Seite abgehört werden kann. Die prinzipielle Anordnung zeigt folgender Versuch:

Versuch 14: Ein Plattenspieler wird an einen Niederfrequenzverstärker angeschlossen und anstatt des Lautsprechers eine Glimmlampe eingeschaltet. Die Helligkeit der Glimmlampe schwankt im Takte der Musik.

Buchbesprechung

Planck: Determinismus oder Indeterminismus? Verlag Johann Ambrosius Barth, Leipzig. Brosch. 1,50 RM.

Die Schrift von Max Planck, des Seniors der deutschen Physik, nimmt zu der Frage Stellung, ob alles Geschehen als zwangsläufig und gesetzmäßig anzusehen sei oder ob wir Veranlassung haben, der Willkür und dem Zufall ein Recht einzuräumen. An Hand verschiedener Beispiele zeigt Planck, daß je nach den Voraussetzungen, von denen wir ausgehen — auch die Art der Bilder und Vorstellungen, die wir uns von den Vorgängen machen, sind solche Voraussetzungen —, ein Ereignis als determiniert oder indeterminiert angesehen werden kann. Für die Wissenschaft darf nach Plancks Meinung nur das Prinzip des uneingeschränkten Determinismus gelten; sie muß stets darauf bedacht sein, die Voraussetzungen so zu wählen, daß die Ereignisse als voll determiniert erscheinen. Überhaupt ist das feinste Meßinstrument, das wir besitzen, der Flug unserer Gedanken; ihm verdanken gerade die Naturwissenschaftler durch Anstellung von Gedankenexperimenten eine Fülle bedeutungsvoller Erkenntnisse. Die genaue Analyse einer Reihe grundlegender Begriffe, wie „wirklich“, „anschaulich“ usw. zeigt die messerscharfe Logik und kristallklare Begriffsbildung unseres großen Forschers. Man möchte wünschen, daß jeder naturwissenschaftlich Interessierte das Büchlein studiert.

Dr. Dorner.

Formelsammlung zur Festigkeits- und Elastizitätslehre. Von Gewerbestudienrat i. R. Ing. Gg. Dreyer. 8. verbesserte Auflage (Bibliothek der ges. Technik Bd. 250). Leipzig 1939, Dr. Max Jänecke Verlagsbuchhandlung. 154 Seiten mit vielen Abbildungen. Preis 2,95 RM.

Die bewährte Formelsammlung ist soeben in achter verbesserter Auflage erschienen. Auch diese will wieder ein Ratgeber sein, der ohne erheblichen Zeitaufwand, wie ihn das Nachlesen in umfangreichen Werken erfordern würde, schnell und zuverlässig Auskunft gibt. Sorgfältige Auswahl und übersichtliche Anordnung der Formeln sind auch in dieser Auflage durchgeführt worden. Besonders wurde an erläuternden Figuren nicht gespart und darauf geachtet, daß sie nicht nur in den Formeln vorkommende Buchstaben erklären, sondern auch Hinweise enthalten, durch die an die Herkunft oder Entwicklung der Formeln erinnert wird. Auf solche Weise wird verhindert, daß eine Formel gelegentlich an falscher Stelle verwendet wird. Bei der Auswahl der Formeln ist absichtlich das Lehrziel der Technischen Lehranstalten etwas überschritten worden, um zum Weiterstudium anzuregen und auch weitergehende Ansprüche zu befriedigen. Auch soll dadurch der Anfänger veranlaßt werden, sich nicht nur mit der aller-elementarsten Ausrüstung zu begnügen. Der niedrige Preis des Buches erleichtert seine Anschaffung.

Werkstoffkunde und Werkstoffprüfung. Bearbeitet von Dr.-Ing. Ernst Zimmermann, Studienrat an der Höheren Techn. Staatslehranstalt Hagen i. W. Zweite neubearbeitete Auflage 1939. 174 Seiten mit 153 Abbildungen. Preis 3,60 RM.

Die erste Auflage war in wenigen Monaten vergriffen, der beste Beweis, daß der Verfasser einem Bedürfnis in der richtigen Weise entsprochen hat. Das Buch bringt aus dem großen Gebiet der Werkstoffkunde und Werkstoffprüfung das, was ein Ingenieur wissen muß. Bei der großen Be-

Mit einem Hohlspiegel werden die von der Glimmlampe ausgesandten Lichtstrahlen zu einem parallelen Strahlenbündel zusammengefaßt. Am Empfangsort befindet sich eine Photozelle, auf die die wiederum mit einem Hohlspiegel gesammelten Lichtstrahlen des Senders fallen. Die Photozelle befindet sich im Brennpunkt des Hohlspiegels. Sie ist in der üblichen Weise mit einem Verstärker verbunden, an dessen Ausgangsseite ein Lautsprecher liegt. Es ertönt die übertragene Musik. Auf diese Weise kann eine Nachrichtenübermittlung auf kleinere Strecken vorgenommen werden, wobei anstatt sichtbaren Lichtes Ultrarotlicht benutzt werden kann.

deutung, die die Stoffkunde heute besitzt, ist eine kurz zusammengedrückte Übersicht über die wichtigsten Werkstoffe der mechanischen Technik besonders willkommen. Im Vordergrund steht die Behandlung der Eigenschaften der verschiedenen Stoffe, dagegen sind die Herstellungsverfahren nur ganz kurz erwähnt. Der Konstrukteur und Fertigungsingenieur findet die fertigen Werkstoffe vor, er muß ihre Eigenschaften genau kennen, um sie an der richtigen Stelle anwenden zu können, auf das Herstellungsverfahren hat er meist keinen Einfluß. Ebenso müssen die einschlägigen Prüfverfahren bekannt sein.

Festigkeitslehre und Elastizitätslehre II. Von Ing. Georg Dreyer. Dritter Teil, 3. Auflage. 245 Seiten mit 300 Abbildungen. Leipzig 1938. Dr. Max Jänecke Verlagsbuchhandlung. Preis 3,80 RM.

Von dem bekannten und bewährten Dreyerschen Lehrbuch der Festigkeits- und Elastizitätslehre liegt nun auch der 3. Teil in 3. Auflage vor. Er behandelt zunächst die Spannungsgesetze, den Trägheitskreis und die Festigkeit einfach gekrümmter Stäbe, womit der Lehrgang der elementaren Festigkeitslehre abgeschlossen ist. Als unentbehrliche Grundlage für den weiteren Aufbau werden dann die „Biegungslinie“ sowie die „Formänderungsarbeit“ behandelt, um damit Träger mit Rücksicht auf Durchbiegung und Federn berechnen zu können. Der sich anschließende Abschnitt von der Behandlung statisch unbestimmter Tragwerke wird dem angehenden Statiker willkommen sein. Der letzte Teil befaßt sich mit der Dauerfestigkeit. Er enthält Abschnitte über Gewaltbruch, Ermüdung, Dauerbruch, das Dauerfestigkeits-schaubild und Versuch einer wirklichkeitstreuen Festigkeitsberechnung. Zahlreiche Abbildungen erleichtern das Verständnis.

Einführung in die DIN-Normen. Bearbeitet von Ing. W. Zimmermann und Dipl.-Ing. E. Böddrich, Hochsch.-Prof., in Gemeinschaft mit der Geschäftsstelle des Deutschen Ausschusses für Technisches Schulwesen (DATSCH) E. V. Herausgegeben vom DATSCH. 6. Aufl. (VII, 216 Seiten.) Mit 435 Abbildungen DIN A 5 (Best.-Nr. 10 001). Kart. 3,20 RM. Verlag von B. G. Teubner in Leipzig und Berlin 1938.

Über 25 000 Stück dieser „Einführung“ haben den Weg in die Werkstätten, Büros und Schulen gefunden und es ihren Benutzern ermöglicht, die Ergebnisse deutscher Normungsarbeit sinngemäß anzuwenden, womit wohl am besten bewiesen wird, daß sich dieses Buch längst bewährt und durchgesetzt hat. Im einzelnen ist der Inhalt der Neuauflage so gegliedert, daß — wie immer — die Grundnormen, die Werkstoffnormen und die wichtigen Maßnormen der Maschinenteile dem neuesten Normenstand entsprechend Darstellung finden. Nachdem die ISA-Blätter fast sämtlich und endgültig vorliegen, konnten auch die international sich immer mehr einführenden ISA-Passungen in größerem Umfange berücksichtigt werden. Ferner wurden die wichtigsten Umstellnormen — zur Einsparung devisenabhängiger Werkstoffe — behandelt, und schließlich fand der Band seine eigenliche Abrundung durch die ebenfalls neu aufgenommenen Abschnitte „Normung in der Elektrotechnik“, „Bedeutung und Inhalt der Baunormung“ sowie „Textilwirtschaft und Normung“. Die vorliegende 6. Auflage wird wiederum dazu beitragen, die Vorteile der Normung in der gesamten deutschen Wirtschaft zur Geltung zu bringen, so daß diese große Gemeinschaftsarbeit möglichst vielen Volksgenossen schließlich zugute kommt.