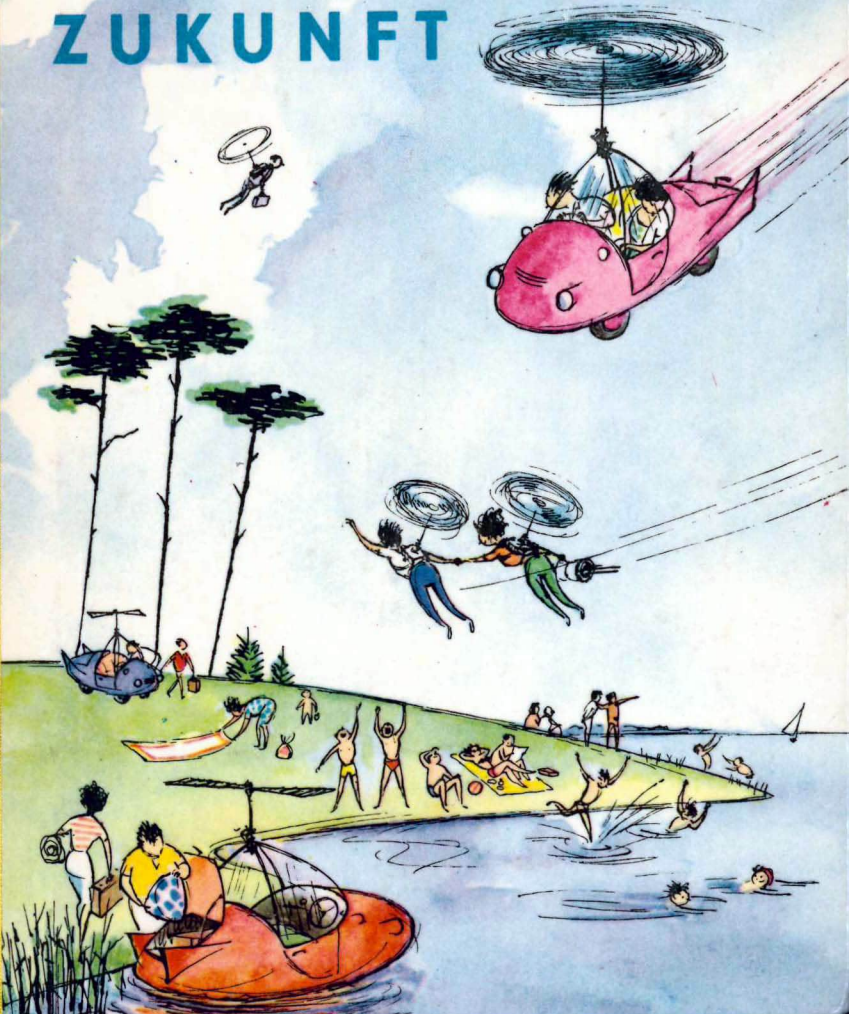


HANS KLEFFE

ENERGIE DER ZUKUNFT

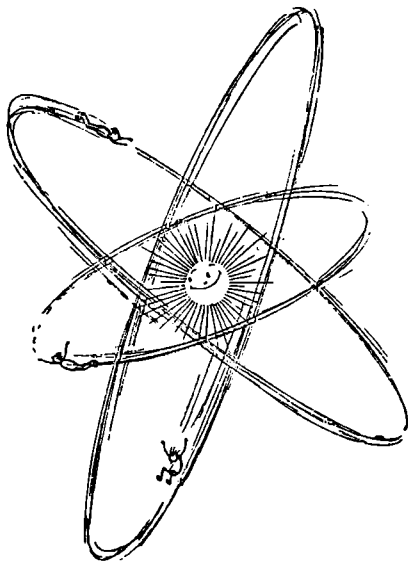




BAND 1

HANS KLEFFE

ENERGIE DER ZUKUNFT



DER KINDERBUCHVERLAG BERLIN

INHALTSVERZEICHNIS

Gold	7
Wie man die Zusammensetzung der Materie erkannte . .	17
Der erste Chemiker	21
Jedes Atom eine Welt	37
Wir bauen ein Atom	50
Keine Angst vor Formeln	51
Rätselhafte Strahlen und was dahintersteckt	53
Weltexplosion in atomaren Dimensionen	69
Energie der Zukunft	94
Atom-Cocktail gefällig?	115
Kann der Mensch den Erdball vernichten?	150
Blick ins Atomzeitalter	170



Gold

Wer kennt nicht das gelbe Metall, das in der Sonne strahlt wie die Sonne selber? Gold!

Aus Gold sind seit jeher die schönsten Halsketten, Armreifen, Ringe, Broschen und Ohrgehänge gefertigt worden, aus Gold haben sich Kaiser und Könige Zepter und Kronen machen lassen, aus Gold wurden Heiligtümer und Götzenbilder geschaffen.

Aber nicht Kaiser und Könige, sondern die Frauen und Töchter von Ackerbauern haben vor vielen Jahrtausenden den ersten Goldschmuck getragen; denn ihre Männer stießen, als sie ihre Felder umpflügten, als erste auf das glitzernde Metall. Seitdem trieb die Menschheit der Hunger nach Gold. Herrscher und Fürsten jagten ihm nach. Sklaven, Sträflinge und

Kriegsgefangene mußten für ihre Unterdrücker die wertvollen Schätze aus der Erde graben. Kriege und Raubzüge wurden um den Besitz der Gebiete geführt, in denen das kostbare Erz lagerte.

Die römischen Kaiser Cäsar, Augustus, Claudius, Nero und Trajan ließen begierig alle Goldschätze schürfen, soweit sie ihrer habhaft werden konnten. Nero, der eine Gold-Expedition bis zum neunten Breitengrad den Blauen Nil hinauf nach Äthiopien schickte, ließ das Dach des Theaters des Pompejus zu einem Staatsempfang mit Goldblech decken. Im Kapitol waren Decken und Wände vergoldet. Die vornehmsten Krieger Neros gingen mit goldenen Panzern in die Schlacht.

Die Goldvorkommen der Alten Welt erschöpften sich nach und nach. Fünf Millionen Kilogramm Gold wurden in der Antike, von 500 vor bis 500 nach unserer Zeitrechnung, gefördert. Im Mittelalter, bis zum Jahre 1500, konnte man nur noch halb soviel schürfen. Der Hunger nach Gold aber wurde immer größer. Die Menschen träumten, von Städten mit goldgepflasterten Straßen und goldgedeckten Häusern. Dabei hatten die Fürsten, Kaiser und Könige kaum noch Gold genug, um ihr kostspieliges Leben am Hofe zu bezahlen.

Da erließ 1423 Heinrich VI. von England einen Aufruf an die Edlen, Professoren und Geistlichen seines

Landes. Er glaubte wie viele Menschen, daß es mit Hilfe von Zauberkräften gelingen müßte, Gold künstlich herzustellen — ein Traumbild verlockenden Reichtums. Die Philosophen des antiken Griechenland hatten behauptet, daß alle Stoffe der Welt, die in den vier Elementen Wasser, Feuer, Erde und Luft enthalten sind, aus einem Urstoff entstanden seien. Der Gedanke, daß sich alle Stoffe der Erde ineinander verwandeln lassen müßten, lag nahe — warum sollte man aus Eisen nicht Gold machen können!

In historischen Sammlungen aller Kulturländer findet man noch heute alte Rezepte, nach denen die Goldmacher, die Alchimisten, Gold herzustellen versuchten. Viele von ihnen sahen es nicht nur als Kostbarkeit an, sondern sie wollten aus ihm sogar das Lebenselixier gewinnen, das Krankheiten heilt und den Menschen unsterblich macht.

Die Alchimisten waren davon überzeugt, daß alle Metalle nach und nach in der Erde entstanden seien und sich dort immer weiter veränderten, bis aus unedlen Metallen im Laufe der Zeit schließlich Gold würde. Diesen angenommenen Entwicklungsprozeß ahmten sie nach und verschmolzen Gold mit Eisen und manchen anderen Metallen. Aber alle Versuche schlugen fehl. Keinem gelang es, das große Geheimnis zu lüften. Viele Scharlatane verschafften sich dabei durch betrügerische Tricks auf Kosten der Dummheit

ihrer Auftraggeber ein angenehmes Leben. Aber manchem Alchimisten, der seinen Auftrag, Gold zu machen, nicht erfüllen konnte, drohte auch der Galgen.

Wie ein Lauffeuer ging es eines Tages im Jahre 1701 durch die Straßen des alten Berlin: Der Lehrling des Apothekers Zorn am Molkenmarkt, Johann Friedrich Böttger, habe aus silbernen Münzen reines Gold gemacht! Manche wollten es mit eigenen Augen gesehen haben. König Friedrich I. von Preußen versuchte sofort alles, um den großen Künstler in seine Hand zu bekommen. Eilig schickte er Soldaten mit dem Auftrag los, den angeblichen Goldmacher schnurstracks an den Hof zu bringen. Böttger war aber schon bei Nacht und Nebel nach Sachsen entwischt. Hier erfuhr jedoch auch König August bald von dem wunderlichen jungen Mann, und er sah sich am Ende seiner Geldsorgen. Durch lockende Versprechungen und handfeste Drohungen versuchte er, Böttger zum Goldmachen zu bewegen, und als der arme Wicht, der das ja in Wirklichkeit gar nicht konnte, nicht einwilligte, ließ ihn König August schließlich auf der Festung Königstein einsperren. Dort mußte er in einem Laboratorium experimentieren und probieren, um aus den unmöglichsten Substanzen durch Mischen, Glühen, Destillieren und Schmelzen Gold herzustellen. Vergebens. Schon drohte ihm August der



Am offenen Herdfeuer stand der Alchimist, kochte, destillierte und versuchte, Gold zu machen

Starke mit Rad und Galgen. Doch soviel Böttger auch zusammenbrodelte und mixte — von Gold keine Spur! Eines Tages allerdings formte sich im Glühofen aus Erde, die ihm aus der Meißner Gegend besorgt worden war, eine erst rötliche, später schneeweiße Masse. Und wenn es auch kein Gold war, das Böttger da zusammengeschmolzen hatte, so war es doch Porzellan!

Nachdem sich König August von seinem ersten Wutanfall erholt hatte, sah er schließlich ein, daß Porzellan auch seinen Wert hat, und er ließ dem ehemaligen Apothekerlehrling in Meißen eine Werkstatt einrichten, aus der sich später die berühmte Meißner Porzellanmanufaktur entwickelte. Noch heute erinnert an der Meißner Fabrik eine Torinschrift an den Leidensweg des Erfinders:

Es machte Gott, der große Schöpfer,
aus einem Goldmacher einen Töpfer.

Wie dieses Beispiel zeigt, blieben die Versuche der Alchimisten wenigstens nicht ganz fruchtlos. War es auch keinem vergönnt, wirklich Gold zu machen, so entdeckten sie dabei doch das Herstellungsverfahren von Leuchtsteinen, von Rubinglas, den Wasserstoff und manches andere.

Die Alchimie hatte ihr Ziel nicht erreicht, also machten sich jetzt Schatzgräber und Abenteurer auf die Suche nach neuen Vorkommen des gelben Erzes. Schon als

Kolumbus und die spanischen Seefahrer Gold in Mengen aus Mittel- und Südamerika über den Ozean zu schleppen begannen, hatte Europa ein wahrer Goldrausch erfaßt. In kleinen Schiffen segelten die Schatzgräber übers Meer.

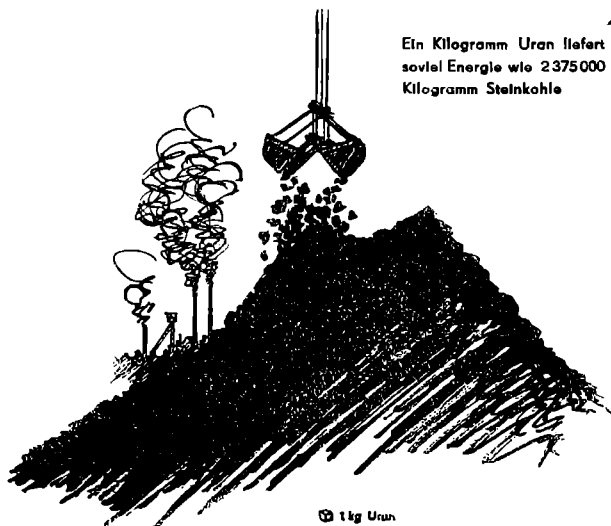
Einen Höhepunkt fand die Jagd nach Gold im vorigen Jahrhundert, als die Goldfelder Nordamerikas entdeckt wurden. Ganze Karawanen von Goldbesessenen kämpften sich über die Prärie und die Rocky Mountains der Bucht von San Franzisko entgegen, kamen von Panama auf Schnellseglern um Kap Horn. Aus dem ärmlichen Fischerdorf an der San-Franzisco-Bai wurde ein Heerlager von dreißigtausend Mann. Noch schlimmer kam es, als das Gold die Diggers, die neuen „Goldkönige“, Spieler und Trunkenbolde ins ferne Alaska, den „Eiskeller Nordamerikas“, lockte. Die schnell emporwachsenden Goldgräberstädte des Klondike-Gebietes wurden zur Hölle! Die Gier nach Gold, von dem sich die Menschen Glück und Reichtum versprachen, ließ sie alle Gesetze der Menschlichkeit und Moral mißachten. Mord, Diebstahl und Betrug regierten die goldene Hölle.

Plötzlich, um die Wende zum 20. Jahrhundert, ging alles zu Ende. Die Goldfelder Nordamerikas waren — wie vorher die europäischen — so weit erschöpft, daß es sich für den einzelnen nicht mehr zu graben lohnte. Seit 1900 wird das Gold nur noch planmäßig

in den Bergwerken von Südafrika, Nordamerika, Australien und Sibirien abgebaut. Riesenschätze, in Jahrtausenden ans Licht gefördert und den meisten unter den Händen wieder zerronnen, wurden von den Staaten aufgesammelt und aufs neue im Dunkeln verschlossen: in zehnfach gesicherten Safes der Großbanken und in den Bunkern der Staatskassen. Tief in der Einsamkeit der Rocky Mountains, im Schatzgewölbe von Fort Knox, liegt der Milliardenschatz des amerikanischen Staatsgoldes, von unaufschweißbaren Stahlwänden gesichert, von einem elektrischen Hochspannungsnetz umgeben und streng bewacht.

Nach jahrtausendelanger Goldjagd, die Schweiß, Blut und Tränen kostete, mußte es doch eine Welt-sensation gewesen sein, als es 1949 tatsächlich einem Menschen gelang, künstlich reines Gold aus Quecksilber zu gewinnen! Und doch wurde die erste gelungene künstliche Herstellung von Gold durch Professor Dr. Arthur J. Dempster vom National Argonne-Laboratorium in den USA keine Sensation. Die Zeitungen brachten nur eine Notiz, so wie sie auch über eine Unwetterkatastrophe oder ein Eisenbahnunglück berichtet hätten. Wie ist das möglich? Was war inzwischen geschehen?

Ein neues Zeitalter war angebrochen, in dem das Gold hinter der Bedeutung zweier anderer Stoffe verblaßte: Uran und Plutonium. Uran war noch



vor wenigen Jahren nur Wissenschaftlern ein Begriff, und Plutonium, ja, das gab es gar nicht, das hat der Mensch erst künstlich geschaffen.

Was sind das für eigenartige Stoffe, die eine ganz neue Epoche der menschlichen Geschichte, das Atomzeitalter, einleiten?

Aus Gold kann man kostbarsten Schmuck fertigen, man kann es auch als Staatsschatz horten. Aus Uran und Plutonium aber kann man Energien gewinnen, und zwar in so unvorstellbaren Mengen, wie es in der Geschichte der Technik noch niemals möglich war.

Ein Kilogramm Uran liefert soviel Energie wie 2 375 000 Kilogramm Steinkohle! Zwar enthalten alle Stoffe der Erde — das Gold ebenso wie die wertloseste Substanz — die neuentdeckte Form der Energie, aber einstweilen gelingt es nur, aus Uran und Plutonium diese freizusetzen und nutzbar zu machen.

Bei der Energiegewinnung werden außerdem Stoffe erzeugt, die der wissenschaftlichen Forschung und Praxis, der Medizin und der Technik ganz neue Wege eröffnen. Heute noch nicht heilbare Kranke können wieder gesund werden, die Erträge der Felder und Gärten lassen sich in ungeahntem Maße steigern. Neue Erkenntnisse bei der Anwendung dieser Stoffe werden es vielleicht ermöglichen, Nahrungsmittel auf ganz neuartige Weise herzustellen. Brot aus Luft und Wasser unter Einwirkung von Sonnenlicht — das ist das kühne Ziel der Wissenschaftler, und sie glauben, daß die „Abfallprodukte“ bei der Energiegewinnung aus Uran und Plutonium sie diesem Ziele näherbringen werden. Die Aussichten des Menschen für einen Flug in den Weltenraum rücken durch diese Energie näher in den Bereich der Möglichkeiten. In der Sowjetunion läuft bereits ein Kraftwerk, in dem aus Atomenergie elektrische Energie gewonnen wird. Ein neues Zeitalter ist angebrochen, ein Zeitalter, das den Menschen zu Reichtum und Wohlstand verhilft.

Das wird freilich in einer ganz anderen Weise geschehen, als es sich die Alchimisten und die Goldhungrigen der vergangenen Jahrtausende in ihren verworrenen Träumen ausmalten. Die Alchimisten konnten das Geheimnis der neuen, buchstäblich unerschöpflichen Energie nicht finden. Seine Entdeckung setzte eine lange Kette von wissenschaftlichen Erkenntnissen voraus, die zum größten Teil erst in letzter Zeit gewonnen wurden, als an die Stelle des alchimistischen Hokuspokus, der auf unsinnigen abergläubischen Vorstellungen beruhte, die exakte Forschung der materialistischen Naturwissenschaft trat. Wie ist es zu der Entdeckung der Atomkern-Energie gekommen, die ein neues Zeitalter der Technik und Wissenschaft heraufführt? Welcher Art ist diese Energie, und in welcher Weise kann der Mensch sie sich nutzbar machen?

Wie man die Zusammensetzung der Materie erkannte

Atom — dieses spannungsgeladene, bedeutsame Wort ist nicht etwa erst im 20. Jahrhundert geprägt worden, sondern schon fünf Jahrhunderte vor unserer Zeitrechnung von den griechischen Philosophen Leukip und Demokrit. Sie hatten sich überlegt, daß alle Stoffe der Welt aus winzig kleinen Teilchen



Ein Sandhaufen sieht von ferne
wie eine feste Masse aus

bestehen müßten. Wie könnte sonst der Regen mit der Zeit Steine abnutzen! Und wie wäre es sonst zu erklären, daß man Stoffe zu ganz feinem Pulver zermahlen kann?

Ein Sandhaufen sieht von ferne wie eine feste Masse aus, sehen wir ihn uns aber mal genauer an, dann zeigt sich, daß er aus lauter einzelnen kleinen Sandkörnchen besteht. Ebenso ist es mit allen anderen Dingen auf der Erde — Holz, Steine, Glas und was sonst noch — sie sind aus unzähligen kleinen Teilchen zusammengesetzt, so winzig kleinen freilich, die wir mit bloßem Auge nicht erkennen können.

Wie klein sie sind? Ja, das konnten die antiken Philosophen nicht einmal ahnen, geschweige denn wissen. Aber sie sagten sich: Wenn man einen Körper, ein Sandkörnchen zum Beispiel, in zwei Hälften teilt und die eine Hälfte davon wieder in zwei Hälften, und wenn man die so entstandenen Teilchen in noch kleinere zerlegen könnte und immer so fort, einmal müßte man doch dahin kommen, wo die winzigen Körperchen sich wirklich nicht mehr teilen lassen. Das wären dann also die kleinsten Teilchen der Materie. Die Griechen nannten diese Körperchen „atomos“, das heißt „unteilbar“.

Auch ein anderer Begriff, der heute aus der Wissenschaft nicht mehr wegzudenken ist, wurde schon in der Antike geprägt: Element. Was ist denn nun ein Element?

Betrachten wir zum Vergleich einmal die Wörter, die auf dieser Seite des Buches stehen. Es sind sehr viele. Alle sehen verschieden aus und sind doch aus den wenigen Buchstaben unseres Alphabetes zusammengesetzt, jedes anders, jedes auf seine Art und in unterschiedlicher Reihenfolge.

So wie alle Wörter unserer reichen Sprache aus nur sechszwanzig Buchstaben zusammengesetzt sind, so besteht die gesamte Materie der Welt aus nur wenigen Grundstoffen oder chemischen Elementen. Wir kennen bisher 101 Grundstoffe.

Wie es in der Sprache viele Tausende von Wörtern gibt, so gibt es in der Welt Hunderttausende verschiedener Verbindungen von chemischen Elementen. Chemische Elemente schließen sich also nach bestimmten Gesetzmäßigkeiten zu chemischen Verbindungen zusammen, ähnlich wie die Buchstaben nach den Gesetzmäßigkeiten der Sprache zu Wörtern.

Nun gibt es außerdem Stoffe, die zwar aus chemischen Elementen zusammengesetzt, aber nicht eng miteinander verbunden, sondern nur lose vermischt sind. Man bezeichnet einen solchen Stoff als Gemisch. Bei unserem Vergleich mit der Sprache wäre das ein Buchstabenhaufen, der kein sinnvolles Wort ergibt: vielleicht „dxtrkoögz“.

Halten wir also fest:

1. Atome sind — so wollen wir zunächst der Einfachheit halber sagen — die kleinsten Teilchen der Materie.
2. Chemische Elemente sind Grundstoffe. Auch ein Stoff aus ein und demselben chemischen Element ist aus einzelnen Atomen zusammengesetzt, und zwar aus lauter gleichartigen. Da es einhundertundein chemische Elemente gibt, gibt es auch genausoviel verschiedene Arten von Atomen. Chemische Elemente sind zum Beispiel Sauerstoff und Wasserstoff.
3. Chemische Verbindungen sind Stoffe, die aus mehreren chemischen Elementen zusammengesetzt

sind. Eine chemische Verbindung ist zum Beispiel das Wasser; hier haben sich jeweils zwei Atome Wasserstoff und ein Atom Sauerstoff zu einem Molekül Wasser zusammengefügt.

4. Chemische Gemische sind Stoffe, bei denen die Atome verschiedener Elemente zwar räumlich beieinanderliegen, aber nicht chemisch verbunden sind. Ein chemisches Gemisch ist die Luft. Sie besteht zu 21 Prozent aus dem Element Sauerstoff, zu 78 Prozent aus dem Element Stickstoff, zu weniger als einem Prozent aus den Elementen Helium, Argon, Neon, Krypton, Xenon. Außerdem ist in dem Gemisch, das wir Luft nennen, noch zu 0,03 Prozent eine chemische Verbindung der Elemente Kohlenstoff und Sauerstoff, nämlich Kohlendioxyd, enthalten.

Der erste Chemiker

Was wir hier in wenigen Minuten über den chemischen Aufbau und die Zusammensetzung der Materie erfahren haben, ist weit mehr, als selbst die gelehrtesten Männer der Antike darüber wußten. Es war auch gar nicht einfach, herauszubekommen, daß Luft ein Gemisch verschiedener Elemente, Gold dagegen ein reines chemisches Element, Wasser aber kein chemisches Element, sondern eine chemische

Verbindung ist. Äußerlich ist das keinem Stoff anzusehen. Es war ein langer Weg, bis man Schritt für Schritt die heutigen Erkenntnisse der Chemie und Atomphysik gewann.

Der erste Chemiker der Welt war der griechische Philosoph Empedokles, der im 5. Jahrhundert vor unserer Zeitrechnung lebte. Empedokles hatte sich die Aufgabe gestellt, den gesamten Stoff, aus dem die Welt besteht, in seine Elemente zu zerlegen — zu analysieren. Diese chemische Analyse ging allerdings nicht im Labor vor sich, sondern in Empedokles' Gedanken. Und das Ergebnis war dann auch entsprechend: Der Philosoph kam zu dem Schluß, daß es vier Elemente gäbe, nämlich Erde, Wasser, Luft und Feuer. Wir wissen aber, daß nicht eines davon wirklich ein chemisches Element ist. Aus den vier Elementen, so lehrte Empedokles, setzen sich alle Stoffe zusammen, Holz und Eisen genauso wie Fleisch und Knochen, Blei oder Gold. Alles Leben, alles Werden und Vergehen wäre eine Mischung und ein Austausch von Teilchen dieser Grundstoffe. Damit hatte er — wenn man davon absieht, daß es nicht nur vier, sondern einhundertundein Elemente gibt — im großen und ganzen recht. Er ahnte auch bereits das Prinzip der verschiedenen mengenmäßigen Zusammensetzung der Stoffe aus einzelnen Elementen. So glaubte er, daß sich der menschliche Knochen aus



**Die Philosophen im Altertum glaubten
daß es vier Elemente gäbe, nämlich Wasser, Erde, Luft und Feuer**

vier Teilen Feuer, vier Teilen Erde und zwei Teilen Wasser zusammensetzt.

Obwohl uns diese Vorstellungen heute recht primitiv erscheinen, behauptete sich Empedokles' Lehre von den vier Elementen während des ganzen Altertums und Mittelalters hindurch bis in die Neuzeit. Aristoteles, einer der größten griechischen Philosophen und

Naturwissenschaftler, der über Jahrhunderte hinweg das Denken der Wissenschaftler beeinflusste, hatte nämlich die Vier-Elementen-Lehre übernommen und durch eigene Gedanken ergänzt. Da Aristoteles als erstrangige wissenschaftliche Autorität galt, blieb die Vier-Elementen-Lehre trotz ihrer Primitivität bis an die Schwelle des Zeitalters exakter naturwissenschaftlicher Forschung ziemlich unangefochten.

Ein deutscher Chemiker, Botaniker und Philosoph namens Joachim Jungius (1587 bis 1657) wandte sich zwar bereits 1620 in mehreren Schriften gegen Aristoteles' Auffassung sowie auch gegen die Vermutung der Alchimisten, daß man ein Metall in ein anderes umwandeln könnte. In zwei Doktorarbeiten, die 1642 in Hamburg gedruckt wurden, definierte er sinngemäß den Begriff des Elements bereits richtig: Ein Element sei ein Stoff, der sich nicht in einfachere Stoffe zerlegen ließe. Infolge der Wirren des Dreißigjährigen Krieges blieben Jungius' Erkenntnisse jedoch unbeachtet.

Etwa zwei Jahrzehnte später kam der Engländer Robert Boyle zu den gleichen Auffassungen.

Der englische Wissenschaftler John Dalton (1766 bis 1844) baute Anfang des 19. Jahrhunderts auf die Erkenntnisse der griechischen Philosophen Leukip und Demokrit auf und leitete einige wichtige theoretische Folgerungen daraus ab. So stellte er fest, daß Ele-

mente nur nach ganz bestimmten Gesetzen chemische Verbindungen eingehen und daß es unmöglich ist, Elemente in andere Elemente zu verwandeln. Obwohl er im strengen Sinne des Wortes mit der letzten Behauptung nicht recht behielt, nahm er mit diesem Grundgesetz seiner Atomtheorie den Alchimisten und Pulvermischern seiner Zeit endlich die Illusion, mit ihren primitiven Mitteln künstliches Gold herstellen zu können.

Dalton war auch der erste, der für die Elemente, oder genauer gesagt, für die Atome der Elemente, geometrische Symbole gebrauchte und mit ihrer Hilfe eine Art chemische Formel für verschiedene Verbindungen aufstellte. Heute sind allerdings andere Symbole gebräuchlich, die Berzelius (1779 bis 1848) einführte und die er aus den Anfangsbuchstaben der Namen der Elemente bildete. Dabei wurden den schon frühzeitig bekannt gewesenen Elementen Namen lateinischen Ursprungs gegeben, so daß wir zum Beispiel für das Element Wasserstoff das Symbol H = Hydrogenium, für Gold Au = Aurum, für Eisen Fe = Ferrum finden. Durch diese Symbole konnte man chemische Stoffe und Vorgänge exakt in Formeln ausdrücken. Die chemische Formel des Wassers lautet H_2O . Sie läßt also genau erkennen, daß das Molekül des Wassers aus zwei Atomen Wasserstoff und einem Atom Sauerstoff besteht. Man schreibt in chemischen Formeln

rechts unten neben das Buchstabensymbol die Anzahl der Atome des symbolisierten Elements, die in dem Molekül der chemischen Verbindung enthalten sind. Ist ein Element nur durch ein Atom in dem Molekül vertreten, so läßt man die Zahl 1 weg. Deshalb steht in der Formel des Wassers neben dem O (Sauerstoff) keine Zahl.

Nun wußte man also schon recht genau, daß es verschiedene Elemente gibt und daß sich die Atome chemischer Elemente nach bestimmten Gesetzmäßigkeiten zu Molekülen verbinden. Wie aber kam man weiter? Wieder war es Dalton, der etwas Wichtiges entdeckte: das Atomgewicht. Darunter darf man sich allerdings nicht das tatsächliche Gewicht einzelner Atome vorstellen, denn ein Atom kann man nicht auf die Waage legen. Es ist ungeheuer kompliziert, das absolute Gewicht eines einzelnen Atoms zu bestimmen.

Als Atomgewicht definierte Dalton deshalb eine Verhältniszahl, die angibt, wievielmals das Atom eines Elements schwerer als das eines anderen ist, und zwar wählte Dalton als Maßeinheit das Gewicht des Wasserstoffatoms, weil Wasserstoff das leichteste Element ist. Das Atomgewicht des Wasserstoffs setzte er gleich 1. Die Atomgewichte der übrigen Elemente besagten also, wievielmals sie schwerer als Wasserstoff waren.

Die von Dalton durch chemische Analysen ermittelten Verhältniszahlen waren noch recht ungenau. So gab er das Atomgewicht für Sauerstoff mit 7 an; später stellte es sich heraus, daß es richtiger 16 ist. Noch genauere Messungen ergaben schließlich, daß das Gewichtsverhältnis des Sauerstoffatoms zum Wasserstoffatom nicht 1:16 beträgt, sondern nur 1:15,88. Da man jedoch die meisten Atomgewichte aus praktischen Gründen zunächst mit Bezug auf Sauerstoff bestimmt, ist man übereingekommen, die Zahl 16 als Atomgewicht für Sauerstoff zu belassen und statt dessen die Atomgewichtszahl des Wasserstoffs auf 1,0087 zu korrigieren. Das bedeutet also, daß die Maßeinheit des Atomgewichts heute eigentlich nicht mehr das Gewicht des Wasserstoffatoms ist, sondern ganz genau ausgedrückt, der 16. Teil des Sauerstoffatomgewichts.

Nachdem für die damals bekannten chemischen Elemente die Atomgewichte festgestellt waren, lag der Gedanke nahe, die Elemente nach ihren Atomgewichten zu ordnen, sie also in einer Tabelle als lange Reihe — vom leichtesten bis zum schwersten Element — aufzuschreiben. Würde sich dadurch vielleicht der Schlüssel des Geheimnisses finden lassen, warum die chemischen Elemente verschieden sind? Versuche, hinter die Gesetzmäßigkeiten der Elemente zu kommen, wurden am Anfang der sechziger Jahre

des 19. Jahrhunderts in Deutschland, Frankreich und England unternommen, aber nirgends kam man zu einem überzeugenden Resultat. In der Tabelle der chemischen Elemente standen nur an wenigen Stellen chemisch verwandte Elemente, also Stoffe, deren Eigenschaften sich ähneln, auf benachbarten Plätzen. Chemisch verwandt und in der Reihe der Atomgewichte benachbart sind Eisen, Kobalt und Nickel — drei Schwermetalle, ähnlich in der Farbe, die ähnliche Verbindungen mit anderen Stoffen eingehen. Aber in den meisten anderen Fällen sind sich ihrem Atomgewicht nach benachbarte Elemente chemisch fremd. Die meisten chemisch verwandten Stoffe liegen in der Elemententabelle weit auseinander. So nehmen beispielsweise die sogenannten Halogene (Salzbildner) Fluor, Chlor, Brom und Jod die Stellen 9, 17, 35 und 53 in der Reihenfolge der nach ihrem Atomgewicht geordneten Elemente ein. Wer wollte darin eine Gesetzmäßigkeit erkennen.

Dem russischen Chemieprofessor Dimitri Iwanowitsch Mendelejew ließ das Problem, das uns hier die Natur aufgegeben hatte, keine Ruhe. Er grübelte und kombinierte. Sollten die Eigenschaften der Elemente wirklich zufällig sein, oder mußte sich nicht doch eine gesetzmäßige Beziehung zwischen den Eigenschaften der Elemente und ihrer Stellung in der Atomgewichtstabelle finden lassen? Mendelejew schrieb für jedes

Element ein Kärtchen mit Atomgewicht, Eigenschaften und Namen. Er versuchte immer wieder, diese Karten wie in einem Legespiel zu ordnen, daß sich eine Gesetzmäßigkeit zeigte. Und tatsächlich! An einem Märztag des Jahres 1869 gab er anlässlich einer Sitzung der Russischen Chemischen Gesellschaft in einem Vortrag über „Die Beziehungen zwischen den Eigenschaften der Elemente und ihren Atomgewichten“ folgendes bekannt: Es sei ihm nach jahrelangem Mühen gelungen, die Elemente logisch so aneinanderzureihen, daß man aus dieser Aufstellung wichtige Schlüsse für die weitere Forschung ziehen könne. Die Anwesenden lächelten über den seltsamen Gelehrten und sein „Puzzlespiel“. Niemand ahnte damals, daß Mendelejew ein fundamentales Gesetz der Natur gefunden hatte, ein Gesetz, nach dem man den stofflichen Aufbau der Welt erkennen würde.

Als Mendelejew alle bis dahin bekannten zweiundsechzig Elemente in der Reihenfolge ihres Atomgewichtes ordnete, entdeckte er, daß sich die Eigenschaften der Elemente — mit wenigen Ausnahmen — regelhaft wiederholen. Deshalb spricht man vom Periodischen System der Elemente. Da es, wie wir heute wissen, über hundert Elemente gibt und man damals also nur etwa zwei Drittel kannte, war es schwer, diese Gesetzmäßigkeit her-

auszufinden. Trotz aller Berechnungen und Messungen blieben in Mendelejews System Lücken. Voraussehend erklärte er: „Für diese leeren Stellen hinter dem Silizium, dem Bor und dem Aluminium wird man neue Stoffe finden.“

Tatsächlich erlebte er es noch, daß die fehlenden drei Elemente Gallium, Scandium und Germanium, deren Atomgewichte und chemisch-physikalische Eigenschaften er genau vorausgesagt hatte, gefunden wurden. Alle Physiker übernahmen jetzt das Periodische System.

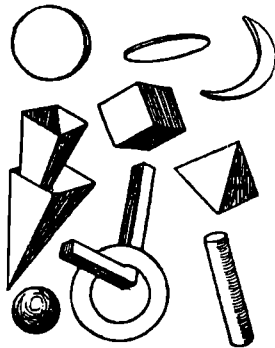
Damit war ein Wendepunkt in der gesamten Entwicklung der chemischen und physikalischen Wissenschaft und Forschung eingetreten. Die bis dahin überwiegend auf Einzelheiten gerichtete, von Zufälligkeiten stark abhängige Arbeitsweise der Wissenschaftler konnte nur durch eine systematische, auf dem Periodischen System basierende Erforschung der Stoffe abgelöst werden. Mit Mendelejews Zusammenfassung aller bisherigen Entdeckungen zu einem folgerichtig aufgebauten System und mit dem Nachweis, daß bestimmte Elemente untereinander verwandt sind, fand die klassische Periode der atomistischen Chemie ihren Abschluß.

Nun hieß es, die Elemente selbst und ihre verwandtschaftlichen Beziehungen näher zu untersuchen, um hinter das Geheimnis der seltsamen Perioden und

anderer Gesetzmäßigkeiten zu kommen. Das stellte sich allerdings bald als ein Vorhaben heraus, das von der chemischen Wissenschaft allein nicht bewältigt werden konnte, sondern zu dem alle Naturwissenschaftler, besonders die Physiker, beitragen mußten. Es war notwendig, die Bausteine der Elemente und der chemischen Verbindungen, die Atome und Moleküle, zu erforschen. Damit aber begann die neue Epoche der von Chemikern und Physikern betriebenen Atomforschung.

Natürlich hatten sich die Physiker schon vor der Entdeckung des Periodischen Gesetzes mit der Frage beschäftigt, wie denn Atome, an deren Existenz seit Dalton nur noch wenige zweifelten, beschaffen seien. Bereits die griechischen Philosophen hatten eine bestimmte Vorstellung von den Formen der Atome. So

**Antike Vorstellung
von der Gestalt der Atome**



glaubten sie, daß es kugel-, sichel-, hakenförmige und noch manche anderen Atome gäbe, daß die Härte eines Körpers von der dichteren oder lockeren Lage, von der Schwere, Menge und Größe der Atome abhinge. Noch der Franzose Pierre Gassendi (1592 bis 1655) war der heute primitiv erscheinenden Auffassung, die Atome der festen Körper würden wie Haken ineinandergreifen, und das prickelnde Kältegefühl, das wir bei Frost empfinden, würde durch besonders spitze „Kälteatome“ hervorgerufen.

Daß die Temperatur auf die Bausteine der Stoffe einen Einfluß hat, konnte man verhältnismäßig frühzeitig aus den veränderlichen Zustandsformen, den Aggregatzuständen, der Stoffe schließen. Darunter versteht man die Tatsache, daß feste Stoffe durch Erhitzen verflüssigt und sogar verdampft werden können. Die Zustandsformen fest, flüssig und gasförmig sind also von der Temperatur abhängig. Umgekehrt hat Dalton die veränderlichen Zustandsformen der Stoffe zur Begründung seiner Atomtheorie angeführt und sein „New system of chemical philosophy“ (Neues System der chemischen Philosophie) mit den Worten eingeleitet: „Schon die Beobachtung der verschiedenen Aggregatzustände muß zu dem Schlusse führen, daß alle Körper aus einer ungeheuren Anzahl von äußerst kleinen Teilchen oder Atomen bestehen, die miteinander durch eine je nach

den Umständen stärkere oder schwächere Anziehungskraft verbunden sind.“

Damit ist Dalton den tatsächlichen Verhältnissen im Inneren der Stoffe bereits sehr nahegekommen. Genaue Erkenntnisse hierüber konnten allerdings erst sehr viel später gewonnen werden. Immerhin war Daltons Ansicht gegenüber der antiken „Häkchentheorie“ ein gewaltiger Fortschritt.

Den Physikern gelang es schließlich, den Einfluß der Temperatur auf die Bausteine der Stoffe zu klären. Schon der englische Philosoph John Locke (1632 bis 1704) ahnte, was Wärme eigentlich ist. Er schloß es aus der Beobachtung, daß man Gegenstände durch Reibung, also durch mechanische Bewegung, erwärmen kann, und sagte sich, diese Erwärmung müsse eine Art Übertragung der Reibungsbewegung auf die kleinen, unsichtbaren Teilchen sein, aus denen die Gegenstände bestehen. Er schrieb: „Die Wärme ist eine sehr rasche Bewegung der unsichtbaren Teilchen der Körper. Diese Bewegung erzeugt in uns die Empfindung, die uns veranlaßt, den Körper heiß zu nennen. Was in unserer Empfindung Wärme ist, ist also in der Körperwelt nichts anderes als Bewegung!“

Diese Vorstellung Lockes hat sich später als grundsätzlich richtig erwiesen und gilt im wesentlichen noch heute. Lockes Definition ist nur hinzuzufügen,

daß sich die unsichtbaren Teilchen der Körper, genauer gesagt, die Moleküle, mit zunehmender Temperatur immer intensiver bewegen — in heißen Körpern also stärker als in kalten, in festen Körpern sehr gering, in Flüssigkeiten mäßig schnell, in Gasen dagegen äußerst schnell.

Daß man von einer Wärmebewegung der Moleküle spricht — auch wenn es sich um Temperaturscheinungen eines Körpers handelt, der nur aus einem reinen Element besteht — hat seinen Grund darin, daß auch die Atome der meisten Elemente das Bestreben haben, Moleküle zu bilden. So schließen sich die Atome des Wasserstoffs zu Molekülen aus zwei Wasserstoffatomen zusammen, also zu einem Paar H_2 . Da jeder Körper aus einer Vielzahl von Atomen besteht, Atome aber fast stets irgendwelche Bindungen oder Verbindungen zu Molekülen eingehen, ist Wärme immer eine Bewegung von Molekülen.

Der englische Botaniker Brown hat 1827 ein Verfahren entdeckt, durch das die Molekülbewegungen wenigstens indirekt sichtbar gemacht werden können. Dazu muß man einen Stoff, der sich aus ganz kleinen Partikelchen zusammensetzt, zum Beispiel Ruß, in Wasser aufschlämmen und dieses Gemisch unter einem starken Mikroskop betrachten. Wenn die Rußteilchen klein genug sind, um in ihren Abmessungen den Molekülen nahezu kommen, aber noch groß

genug, um unter dem Mikroskop sichtbar zu sein, kann man ein seltsames Gewimmel beobachten. Diese Erscheinung ist zwar nicht die Bewegung der Moleküle selbst, sondern nur die Bewegung der Rußteilchen, in die sie aber durch die Stöße der Moleküle geraten.

Geschäftigkeit und Eile wie in einem Ameisenhaufen herrscht unter den Rußpartikelchen, die unaufhörlich in gleichmäßigem Tempo herumschwirren, solange die Temperatur konstant bleibt. Ein überzeugender Beweis für die wärmebedingte Molekularbewegung! In festen Körpern schwirren die Moleküle allerdings nicht durcheinander, sondern bleiben an gleicher Stelle, schwingen aber mit ebenfalls temperaturabhängiger Geschwindigkeit hin und her.

Durch Browns Entdeckung wurde schließlich den Physikern klar, daß es notwendig war, sich ebenso wie die Chemiker mit den Bausteinen der Stoffe und ihren Eigenschaften näher zu befassen. Ihre Bemühungen waren zunächst wenig erfolgreich. Erst nach Mendelejews Entdeckung des Periodischen Systems der Elemente und einigen anderen bedeutsamen wissenschaftlichen Erkenntnissen — darunter die Entdeckung, daß manche Stoffe geheimnisvolle Strahlen aussenden — gelang es den Physikern gemeinsam mit den Chemikern, die komplizierte Struktur der Materie zu ergründen.

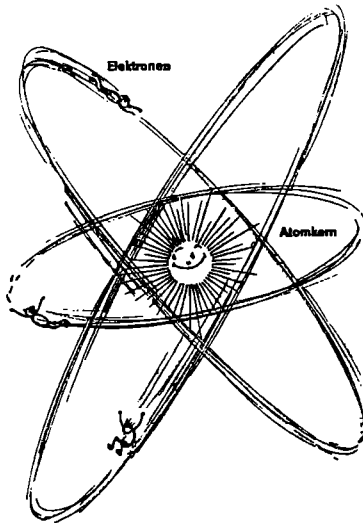
Bis zu diesem Zeitpunkt, dem Beginn der planmäßigen und systematischen Atomforschung, hatte sich — um es noch einmal kurz zusammenzufassen — etwa folgendes Bild vom Aufbau der Materie ergeben: Alle auf der Welt existierenden Stoffe bestehen aus allerkleinsten, einzeln nicht sichtbaren Partikeln. Man unterscheidet eine Reihe chemischer Grundstoffe (Elemente), deren kleinste Partikel Atome genannt werden, und eine Riesenzahl chemischer Verbindungen, deren kleinste Teilchen Moleküle heißen und aus mehreren Atomen zusammengesetzt sind. Atome haben meistens das Bestreben, Moleküle zu bilden, auch Atome desselben Elements vereinigen sich zu Molekülen. Moleküle sind in ständiger temperaturbedingter Bewegung. Sie bewegen sich um so schneller, je höher die Temperatur ist. Unter den Elementen bestehen verwandtschaftliche Beziehungen, wie die Gesetzmäßigkeiten des Periodischen Systems beweisen.

Mit diesen Vorstellungen von den Stoffen gingen die Wissenschaftler Ende des 19. Jahrhunderts daran, die inneren Zusammenhänge und die komplizierte Struktur der Materie systematisch zu ergründen.

Jedes Atom eine Welt

Hätte man im Mittelalter einem Mönch bei einem Spaziergang im Klostergarten erzählt, daß sowohl sein Körper als auch die festen Klostermauern, ja selbst die harten Steine zu beiden Seiten des Gartenweges, physikalisch betrachtet, nichts weiter als ein lockerer Schwarm von Teilchen seien — er hätte sicher ebenso ungläubig wie verständnislos gelächelt. Vielleicht hätte er im Weitergehen voll Mitleid über den armen Narren nachgedacht, der so unsinniges Zeug daherredet. Aber geht es uns heute anders? Im ersten Augenblick will es uns gar nicht in den Kopf, daß zum Beispiel die Tischplatte, auf der dieses Buch liegt, kein kompakter Körper ist, sondern ein Schwarm unvorstellbar kleiner Teilchen, die, ähnlich wie Sterne im Weltall, mit riesigem Abstand voneinander in einem leeren Raum schweben.

Denn was ist ein Atom? Wie sind jene kleinen, Atome genannten Bausteine, aus denen sich alle Materie zusammensetzt, beschaffen? Die Antwort, welche die Naturwissenschaft der letzten 60 Jahre auf diese Frage gegeben hat, klingt merkwürdig, im ersten Moment sogar ungläubhaft. Die Antwort lautet nämlich: Ein Atom ist kein Kügelchen, Klötzchen, Würfel oder was man sich sonst unter einem „kleinsten Teilchen“ vorstellen mag, sondern ein Atom ist ein fast



Die Elektronen fliegen in kreis- oder ellipsenförmigen Bahnen um den Atomkern wie Planeten um die Sonne

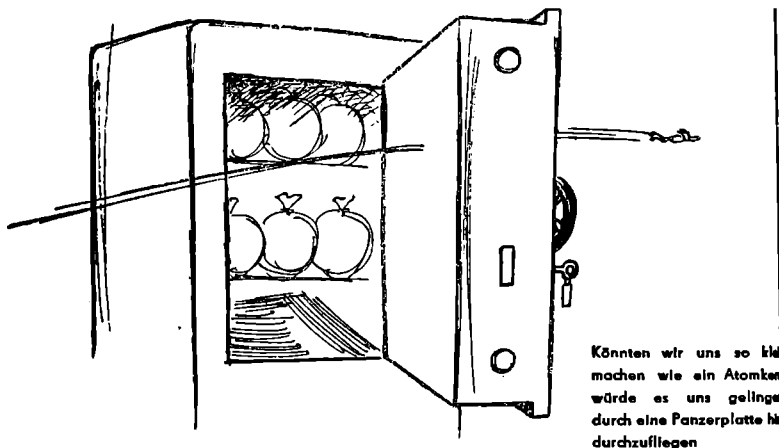
leerer Raum, in dem mit riesigen gegenseitigen Abständen einige unvorstellbar winzige Teilchen schweben.

In der Mitte des Raumes, den ein Atom beansprucht, befindet sich der Atomkern. Um diesen Kern fliegen in großen Entfernungen Teilchen, die weit winziger als der Atomkern sind und Elektronen genannt werden. Der Raum zwischen dem Atomkern und den Elektronen ist leer, ähnlich wie der Raum zwischen der Sonne und ihren Planeten leer ist. Ja, das ganze Atom ähnelt in seinem Aufbau einem Sonnensystem mit

seinen Planeten. Den Atomkern in der Mitte kann man mit der Sonne vergleichen. Die Elektronen fliegen in kreis- oder ellipsenförmigen Bahnen um den Atomkern wie Planeten um die Sonne. Man spricht deshalb auch von dem „Planetenmodell“ des Atoms, das die Physiker Ernest Rutherford und Niels Bohr entwickelten.

Die Elektronen eines Atoms werden in ihrer Gesamtheit als Atomhülle bezeichnet. Aber erst das ganze, also der Atomkern und seine aus Elektronen bestehende Hülle, bilden zusammen das Atom. Ein Atom ist also gar nicht das kleinste, unteilbare Teilchen der Materie, wie sein Name eigentlich sagt, sondern das Atom ist aus noch kleineren Teilchen zusammengesetzt!

Aus dem Planetenmodell des Atoms folgt also auch, daß es in atomphysikalischem Sinne tatsächlich keine kompakten Körper gibt, kompakt in dem Sinne, daß das Material, aus dem die Körper zusammengesetzt sind, ohne leere Zwischenräume aneinandergefügt ist. Die Atomgebilde als ganze liegen in festen Stoffen zwar dicht aneinandergepackt, also gewissermaßen Atomhülle an Atomhülle. Aber der Raum zwischen Atomhülle und Atomkern ist auch in festen Körpern leer, so daß selbst Holz, Steine, Panzerplatten, die unseren Sinnen undurchdringlich erscheinen, physikalisch betrachtet nur ein Schwarm von



Könnten wir uns so klein machen wie ein Atomkern würde es uns gelingen durch eine Panzerplatte hindurchzulegen

Teilchen sind. Könnten wir uns so klein machen wie ein Atomkern, so könnten wir also durch eine Panzerplatte glatt hindurchfliegen.

In festen Körpern bleiben die Atome stets am gleichen Ort im Raum, in gasförmigen Körpern verändern sie auch dauernd ihre Lage im Raum, schwirren also wie Mücken umher.

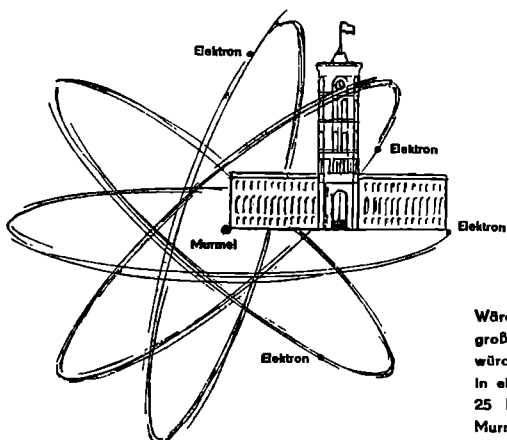
Machen wir uns die Leere des Raums, den das ganze Atomgebilde einnimmt, einmal anschaulich klar! Stellen wir uns vor, man könnte die Kerne und Elektronen sämtlicher Atome eines menschlichen Körpers ohne jeden leeren Zwischenraum aneinanderkleben (warum das in Wirklichkeit unmöglich ist, erfahren

wir später). Wie groß wäre dann wohl dieser Klumpen von Atomkernen und Elektronen? Er wäre gerade noch unter dem Mikroskop zu erkennen! Doch würde dieses winzige Stäubchen ebensoviel wiegen wie ein Mensch. Oder eine andere Veranschaulichung: Alle Kerne und Elektronen der Atome des Mount Everest, des höchsten Gipfels der Erde im Himalaja-Gebirge, ohne Zwischenräume aneinandergepackt, ließen sich in einem Reisekoffer unterbringen.

Wie groß ist denn nun exakt in Zentimetern ausgedrückt ein Atom als Ganzes, also genauer gesagt: der Raum, in dem sich der Kern mit seiner Elektronenhülle befindet? Im Durchschnitt beträgt der Durchmesser der Atomhülle, also der Bahn, auf der die äußeren Elektronen um den Kern kreisen, 0,00000001 Zentimeter. Um die Schlangen von Nullen zu vermeiden, wollen wir uns gleich einer kürzeren Schreibweise bedienen und sagen, das Atom hat einen Durchmesser von 10^{-8} (10 hoch minus 8) Zentimetern.

Von dem etwa kugelförmig zu denkenden Raum dieses Durchmessers beansprucht der Atomkern nur einen winzigen Bruchteil. Denn der Durchmesser eines Atomkerns beträgt durchschnittlich nur 10^{-12} Zentimeter, ist also 10 000 mal kleiner als der Durchmesser der äußeren Elektronenbahn.

So sehr uns diese Zahlen auch imponieren — wir können uns so ein Gebilde, das man Atom nennt,



Wäre der Atomkern so groß wie eine Murmel, würden die Elektronen in einem Abstand von 25 Metern um diese Murmel kreisen

noch immer nicht vorstellen. Deshalb wollen wir in Gedanken einen Atomkern zu einer Murmel von 5 Millimeter Durchmesser vergrößern. Dann würden die Elektronen in einem Abstand von 25 Metern um diese Murmel kreisen, und zwar mit einer rasenden Geschwindigkeit, der gegenüber der schnellste Superschall-Düsenjäger nur eine langsam kriechende Schnecke wäre. Die Elektronen umkreisen den Kern auf verschiedenen Bahnen mit unterschiedlicher Entfernung vom Kern, wiederum ganz ähnlich wie die Planeten die Sonne.

Bei dieser gedanklichen Vergrößerung des Atoms haben wir aber einen phantastischen Maßstab ange-

wandelt Würden wir ein Staubkörnchen in demselben Maßstab vergrößern, so wüchse es zum Erdball an. Was wiegt ein Atom? Die Masse des leichtesten Atomkerns (Wasserstoffkern) beträgt etwa $1,6 \cdot 10^{-24}$ Gramm. Ein Elektron hat nur den 1837. Teil der Masse des leichtesten Atomkerns. Die Masse des schwersten natürlicherweise vorkommenden Atomkerns beträgt das 238-fache der des leichtesten. Dieses schwerste natürliche Atom hat 92 Elektronen. Von allen Atomen, den leichten wie den schwereren, gilt deshalb, daß fast ihre gesamte Masse auf den Atomkern und nur ein ganz winziger Bruchteil auf die Elektronen entfällt.

Aus der Winzigkeit von Größe und Masse der Atome folgt, daß unvorstellbar große Mengen von Atomen auf einen Kubikzentimeter bzw. auf ein Gramm kommen. Sechs Gramm Wasser enthalten mehr Atome, als Weizenkörner seit dem Anbau von Getreide auf der Erde gewachsen sind.

Wie kommt es nun, daß dieses Gebilde weit voneinander entfernt im Raum schwebender Teilchen zusammenhält? Wie kommt es, daß die Elektronen gesetzmäßig ihre Bahnen um den Atomkern ziehen und nicht einfach davontreiben?

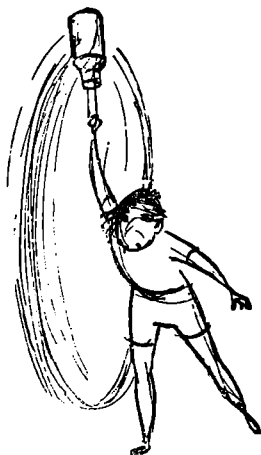
Atomhülle und Kern werden durch gegenseitige elektrische Anziehungskraft zusammengehalten. Die Elektronen sind nämlich alle negativ geladen und der

Atomkern positiv. Ungleichnamig elektrisch geladene Teilchen ziehen sich an.

Wir könnten nun die Frage stellen: Warum stürzen infolge elektrischer Anziehung die Elektronen nicht in den Atomkern hinein? Der elektrischen Anziehungskraft wirkt eine andere Kraft entgegen: die Zentrifugalkraft, die durch die schnelle Bewegung der Elektronen entsteht. Was Zentrifugalkraft ist, können wir uns leicht veranschaulichen, wenn wir einen Gegenstand an einer Schnur befestigen und ihn immer im Kreise herumschwingen. Ja, wenn wir eine volle Milchkanne schnell im Kreise herumschleudern, fließt die Milch entgegen dem Gesetz der Schwerkraft nicht aus, sondern wird von der Zentrifugalkraft so gegen den Boden des Gefäßes gedrückt, daß kein einziger Tropfen verlorenght. Auch die Planeten stürzen nicht in die Sonne hinein, weil entsprechend ihrer Geschwindigkeit ihre Zentrifugalkraft gerade so groß ist, daß sie der Anziehungskraft der Sonne die Waage hält.

Und die Elektronen des Atoms? Ihre Geschwindigkeit ist so groß, daß sie der elektrischen Anziehungskraft die Waage hält, und es entsteht eine gesetzmäßige Kreis- oder Ellipsenbahn um den Atomkern. Solange ein Elektron seine Geschwindigkeit bewahrt, seine Zentrifugalkraft also gleich bleibt, bewegt es sich mit demselben mittleren Abstand um den Kern. Des-

Wenn wir eine volle Milchkanne schnell im Kreise herumschleudern, fließt die Milch entgegen dem Gesetz der Schwerkraft nicht aus



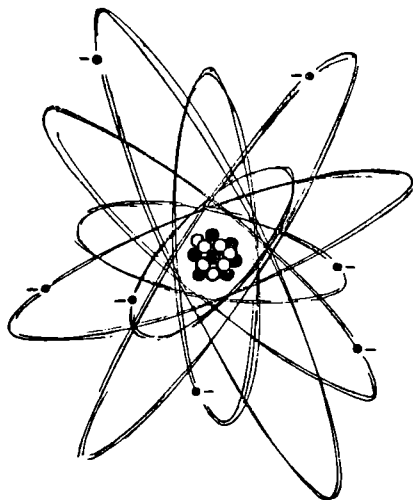
halb ist es auch nicht möglich, die Elektronen an den Kern „anzukleben“.

Nachdem wir den Bau des Atoms und die Kräfte, die für den Zusammenhalt seiner Teilchen sorgen, kennengelernt haben, wollen wir uns mit den Bausteinen des Atoms, den Elementarteilchen, näher befassen. Eine Art kennen wir bereits: die Elektronen. Es wurde auch schon gesagt, daß sie elektrisch negativ geladen sind. Jedes einzelne Elektron ist Träger einer ganz bestimmten Elektrizitätsmenge, und zwar der kleinsten, die in der Natur überhaupt vorkommt. Man nennt deshalb diese kleinste Elektrizitätseinheit eine Elementarladung. Da jedes Elektron Träger einer negativen Elementarladung ist, hat die

Atomhülle genauso viele negative Elementarladungseinheiten, wie sie Elektronen besitzt.

Im Atomkern finden wir Teilchen, die Träger einer positiven elektrischen Elementarladung sind. Der Kern ist also auch kein kompaktes, aus einem Stück bestehendes Kügelchen oder Klötzchen, sondern setzt sich aus noch kleineren Teilen zusammen, den Nucleonen. Diejenigen Kernteilchen, die Träger der positiven elektrischen Elementarladungen sind, heißen Protonen. Ein Atom hat normalerweise in seiner Hülle ebenso viele Elektronen, also Träger je einer negativen Elementarladung, wie es Protonen in seinem Kern hat. Dann heben sich die positive Gesamtladung des Kerns und die negative Gesamtladung der Hülle gegenseitig zu Null auf. Ein solches Atom ist elektrisch neutral.

Die Anzahl der im Kern enthaltenen Protonen ist ein wichtiger Gesichtspunkt zur Einteilung der Atome in verschiedene Arten. Da die Zahl der Protonen zugleich die Anzahl der positiven elektrischen Elementarladungen des Kerns angibt, bezeichnet man sie als Kernladungszahl. Es gibt Atome mit Kernladungszahlen von 1 bis 101. Und nun zeigt sich, daß jedesmal, wenn wir einem Kern ein Proton hinzufügen, ein neues chemisches Element entsteht. Es gibt also so viele verschiedene chemische Elemente, wie es Atome mit verschiedenen Kernladungszahlen gibt. Oder



Stickstoff

- + ● Protonen
- Neutronen
- ● Elektronen

anders ausgedrückt: Jedes chemische Element ist durch eine bestimmte Kernladungszahl gekennzeichnet.

Ein Atom mit der Kernladungszahl 1 ist zum Beispiel das Gas Wasserstoff, ein Atom mit der Kernladungszahl 2 — Helium. Man könnte also, statt die Elemente

mit Buchstabensymbolen zu bezeichnen, einfach die Kernladungszahl hinschreiben und wüßte dann auch genau, um welches chemische Element es sich handelt.

Ordnen wir nun die chemischen Elemente einmal nach der Kernladungszahl von 1 bis 92 und ein andermal nach dem Atomgewicht, so stellt sich heraus, daß in beiden Fällen die gleiche Reihenfolge entsteht! Die Kernladungszahl ist also zugleich auch die Ordnungszahl in der Atomgewichtstabelle. Natürlich, je mehr Protonen ein Atom enthält, desto schwerer muß es ja wohl sein.

Warum zählt man nun aber gerade die positiven Elementarladungen des Kerns und geht nicht von den Elektronen der Hülle, also von der Zahl der negativen elektrischen Ladungen aus?

Ein Atom hat zwar normalerweise genauso viele Elektronen wie Protonen, aber es gibt auch Atome, denen ein Elektron fehlt oder die eins zuviel haben. In diesem Falle besteht natürlich kein elektrisches Ladungsgleichgewicht zwischen Kern und Hülle mehr. Man spricht dann nicht mehr von Atomen, sondern von Ionen.

Hat ein Atom zuwenig Elektronen, dann überwiegt die positive Ladung des Kerns, und es ist ein positives Ion. Hat das Ion zu viele Elektronen, dann überwiegt die negative Ladung der Hülle, und es ist ein nega-

tives Ion. Die Natur des Ions als chemisches Element verändert sich hierbei nicht, sie würde sich nur verändern, wenn dem Kern ein Proton hinzugefügt oder weggenommen würde.

Über Protonen und Elektronen wissen wir jetzt Bescheid. Im Atomkern finden sich aber noch andere Elementarteilchen, die Neutronen. Erinnern wir uns daran, daß sich ungleichnamig elektrisch geladene Teilchen anziehen, gleichnamig geladene aber abstoßen. Da alle Protonen des Kerns gleichnamig, nämlich positiv geladen sind, müßten sie sich gegenseitig abstoßen und nach allen Richtungen auseinanderstieben. Sie tun es aber nicht, denn die Neutronen — elektrisch neutral, also weder positiv noch negativ geladen — sind wie ein Kitt, der die Protonen zusammenhält und ihre Abstoßungskräfte neutralisiert, aufhebt.

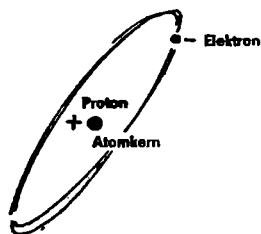
Diese Rolle der Neutronen macht verständlich, daß ein Kern um so mehr von ihnen braucht, je mehr Protonen er enthält. Der Atomkern des leichtesten chemischen Elements, Wasserstoff, besteht normalerweise nur aus einem einzigen Proton und braucht also kein Neutron. Der Neutronenbedarf der Kerne steigt aber nicht nur in gleichem Maße wie ihre Protonenzahl, sondern stärker. Im Atomkern des Sauerstoffs finden sich 8 Protonen und auch 8 Neutronen, in dem Kern des Eisens dagegen bei 26 Protonen bereits 30

Neutronen, im Kern des Jods 53 Protonen und 74 Neutronen und in dem des Urans 92 Protonen und 146 Neutronen. Das Verhältnis der Protonenzahl zur Neutronenzahl steigt also mit zunehmendem Atomgewicht von 1:1 bis 1:1,59 an.

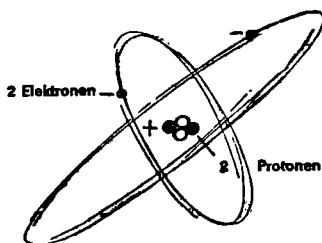
Wir bauen ein Atom

Fassen wir nun alles anschaulich zusammen und stellen uns vor, wir könnten ein Atom bauen. Wir brauchen als Baumaterial drei Arten von Elementarteilchen: Protonen, Neutronen und Elektronen. Das einfachste Atom, das des Wasserstoffs, bauen wir aus einem Proton und, um ein elektrisches Gleichgewicht herzustellen, einem Elektron. Um ein Helium-Atom zu bauen, fügen wir zwei Protonen und zwei Neutronen zu einem Kern zusammen. Da der Kern zwei Protonen enthält, brauchen wir für die Hülle zwei Elektronen. Wir könnten nun nach der Atomtabelle aus entsprechend vielen Elementarteilchen alle Atomarten zusammensetzen. Wir könnten auch, was die Alchimisten vergeblich versuchten, ein Element in ein anderes umwandeln, indem wir dem Atomkern Protonen wegnehmen oder hinzufügen.

Freilich ist das in der Praxis nicht so einfach wie in Gedanken, denn wir können ja Elementarteilchen



Wasserstoff



Helium

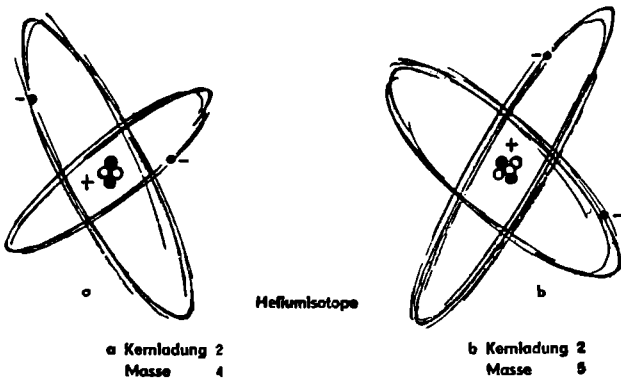
nicht wie Bauklötze in die Hand nehmen und auch nicht mit der Pinzette greifen. Es ist aber nicht nur die Winzigkeit der Elementarteilchen, die uns daran hindert, verschiedenartige Atome zusammensetzen und ineinander umzuwandeln. Dem stehen noch schwierigere Probleme entgegen. Es gehören viele technische Einrichtungen dazu, um Atome künstlich umzuwandeln.

Keine Angst vor Formeln

Bevor wir „perfekte Atomphysiker“ werden, müssen wir unser Gedächtnis noch mit einem weiteren — vorläufig letzten — Punkt des atomphysikalischen kleinen Einmaleins belasten. Während die Protonenzahl (= Kernladungszahl) für das gleiche Element immer

dieselbe ist, kann die Neutronenzahl schwanken. So gibt es z. B. Uran-Atomkerne mit 146 und auch mit nur 143 Neutronen. Ein Atom kann also mehr oder weniger Neutronen haben, es ändert dadurch nicht seine Natur als chemisches Element.

Chemisch verhalten sich auch zwei Atome, die gleich viel Protonen, aber unterschiedlich viel Neutronen besitzen, gleich; sie sind das gleiche Element und stehen in der Atomtabelle an der gleichen Stelle. Man bezeichnet diese verschiedenen Formen des-



selben Elements als Isotope (von griech. isos = gleich, topos = Ort, also am gleichen Orte im System der Elemente stehend). Den Chemiker interessieren die Unterschiede der Neutronenzahlen überhaupt nicht,

der Atomphysiker muß sie aber für seine Berechnungen beachten und deshalb verschiedene Isotope desselben chemischen Elements in der Formelsprache unterschiedlich kennzeichnen. Dazu bedient er sich der Isotopenformeln und schreibt vor das Buchstabensymbol (zum Beispiel U für Uran) unten die Zahl der Protonen und darüber die Gesamtzahl der Protonen und Neutronen des Atomkerns, also



Um die Zahl der Neutronen zu ermitteln, muß man von der oberen Zahl die untere abziehen und kommt dann in unserem Beispiel auf 146 und 143 Neutronen.

Die Gesamtzahl der Protonen und Neutronen bezeichnet man auch als Massenzahl. Oft vereinfacht man die Schreibweise der Isotopenformeln und schreibt lediglich hinter das Buchstabensymbol die Massenzahl, also U 238 zum Unterschied von U 235.

Rätselhafte Strahlen und was dahintersteckt

Wenn die Atome und ihre Elementarteilchen so unvorstellbar winzig sind, daß man sie unter keinem Mikroskop sehen kann, auch unter dem hunderttausendfach vergrößernenden Elektronenmikroskop

nicht — woher weiß man dann überhaupt so genaue Einzelheiten über ihre Beschaffenheit?

Um diese Frage ausführlich zu beantworten, müßte man ein ganzes Buch schreiben und viele mathematische und physikalische Grundkenntnisse voraussetzen; denn niemand hat jemals ein Atom wirklich gesehen. Alles, was wir darüber wissen, beruht auf komplizierten Schlußfolgerungen, die indirekt aus physikalischen Experimenten abgeleitet sind. Wir wollen aber erfahren, wie man überhaupt zu der Erkenntnis gelangte, daß Atome nicht die kleinsten Teilchen der Materie sind.

Am Anfang der Atomstruktur-Erforschung stehen — wie manchmal in der Wissenschaftsgeschichte — ein Irrtum und ein Zufall. Ein Irrtum war, daß der französische Forscher Henri Becquerel annahm, die kurz zuvor von dem deutschen Physiker Wilhelm Conrad Röntgen entdeckten, damals ihrer Natur nach noch rätselhaften X-Strahlen seien die Folge von Fluoreszenzerscheinungen. Unter Fluoreszenz versteht man, daß bestimmte Substanzen unter Einwirkung von Sonnenstrahlen beginnen, eigenes, je nach der Substanz verschiedenes Licht auszustrahlen. Die Leuchtzahlen auf Uhrzifferblättern sind aus solcher fluoreszierenden Substanz.

Becquerel untersuchte daraufhin Uransalz, das ebenfalls ein fluoreszierender Stoff ist. Auf eine fotogra-

fische Platte in lichtdichter, undurchlässiger Metallkassette legte er ein Stück doppeltchwefelsaures Uran-Kalisalz und setzte beides hellem Sonnenlicht aus. Sollte Becquerels Hypothese stimmen, daß Röntgenstrahlen die Folge von Fluoreszenz wären, so müßte das Uransalz unter der Sonnenlichteinwirkung Röntgenstrahlen aussenden, die die Metallkassette der Fotoplatte durchdringen und eine nach der Entwicklung sichtbare Schwärzung hinterlassen. Tatsächlich wurde die fotografische Platte geschwärzt, worin Becquerel zunächst fälschlich eine Bestätigung seiner Annahme sah.

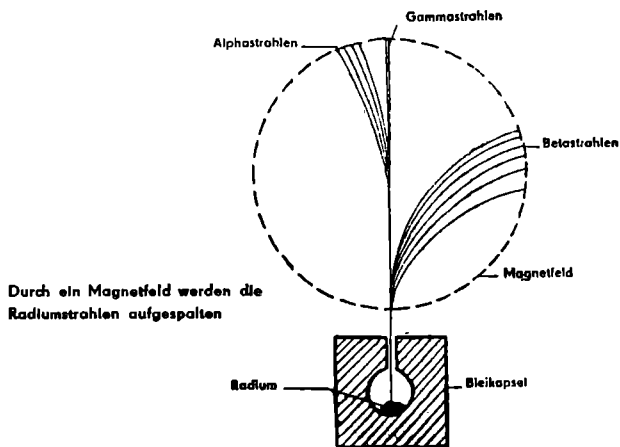
Zufall war, daß er eines trüben Tages, als das Uransalz kaum Sonnenlicht erhalten hatte, das Präparat mit der Fotoplatte in einen Schrank legte, in dem Glauben, das Experiment sei für heute mißlungen. Einige Tage lag das Uransalz im Dunkeln auf der Fotoplatte, die Becquerel — da er sie für ein neues Experiment nicht mehr verwenden wollte — dann mitentwickeln ließ. Und dabei gab es eine große Überraschung: Die Platte war viel intensiver geschwärzt als die aus den übrigen Versuchen. Es mußte also Strahlen geben, die ständig von Uransalz ausgesandt werden, unabhängig davon, ob es dem Sonnenlicht ausgesetzt ist oder nicht. Diese Entdeckung machte Becquerel im Jahre 1896, also vor rund 60 Jahren. Sie leitete jene Entwicklung

ein, die zu einer ganz neuen Ära der menschlichen Geschichte, dem Zeitalter der Atomenergie, führt. Marie Sklodowska-Curie, eine um die Atomforschung hochverdiente Polin, untersuchte nun, ob nur das Uran oder auch andere chemische Elemente diese rätselhaften Strahlen aussenden. Dabei entdeckte sie nach jahrelanger mühseliger Arbeit zusammen mit ihrem Gatten Pierre Curie das Radium — ein chemisches Element, das die rätselhaften Strahlen noch millionenfach stärker aussendet als Uran, fortwährend, unerschöpflich. Und es gelang weder durch Einwirkung elektrischer oder magnetischer Felder noch durch gewaltigen Druck oder chemische Reagenzien, diese Strahlung zu unterbinden.

Was sind nun jene rätselhaften Strahlen? Wie man später herausfand, sind sie zum Teil Partikelchen, die mit hoher Anfangsgeschwindigkeit von den Atomen des Urans, Radiums und einiger anderer chemischer Elemente ausgeschleudert werden. Wenn Atome aber Partikelchen, das heißt Teilchen ausschleudern, dann können sie keine kompakten Materieklümpchen aus einem Stück sein, sondern müssen aus noch kleineren Teilen bestehen, von denen einige fortgeschleudert, ausgestrahlt, „emittiert“ werden können.

Die Strahlen, die von verschiedenen Elementen, am stärksten vom Radium, ausgesandt werden, nannte man radioaktive Strahlen und die Elemente, welche

sie aussenden, radioaktive Elemente. Mit der Natur der radioaktiven Strahlen befaßten sich nun viele Experimente. Man fand schließlich heraus, daß die radioaktive Strahlung des Radiums ein Gemisch von drei verschiedenen Strahlenarten ist, deren jede sich unterschiedlich verhält. Wenn man zum Beispiel ein Radiumpräparat in eine Bleikapsel bringt, aus der nur ein enger Kanal nach außen führt, dann gelangen die Strahlen als feines Bündel durch diesen Kanal. Schickt man das ursprünglich geradlinig nach außen tretende Strahlenbündel durch ein starkes Magnetfeld, so spaltet es sich in drei verschiedene Strahlenbündel auf, die nach den Anfangsbuchstaben des



griechischen Alphabetes als Alpha-, Beta- und Gamma-Strahlen bezeichnet werden.

Die Alpha-Strahlen werden durch das Magnetfeld nur schwach abgelenkt. Sie sind ein Strom von Teilchen mit positiver elektrischer Ladung, jedes einzelne von ihnen ist wie der Atomkern des Elements Helium gebaut. Es besteht aus zwei Protonen und zwei Neutronen. Alpha-Teilchen sind also doppelt positive Helium-Ionen, sehr energiereich, denn sie bewegen sich mit hoher Geschwindigkeit — als höchste wurden 19 000 km in der Sekunde ermittelt. Die Flugbahn des Alpha-Teilchens ist der Alpha-Strahl. So ist erklärlich, daß in Mineralien, die Alpha-Strahlen aussenden, allmählich meßbare Mengen von Helium entstehen.

Die Beta-Strahlen werden stärker durch das Magnetfeld abgelenkt, und zwar nach der den Alpha-Strahlen entgegengesetzten Seite. Dementsprechend sind die Beta-Teilchen negativ geladen. Sie sind nämlich schnell bewegte, also energiereiche Elektronen. Die Anfangsgeschwindigkeit eines Beta-Teilchens beträgt bis zu $\frac{9}{10}$ der Lichtgeschwindigkeit. Sowohl Alpha- wie Beta-Teilchen verlieren natürlich allmählich ihre hohe Anfangsgeschwindigkeit.

Die dritte Komponente der Radiumstrahlung sind die Gamma-Strahlen. Sie werden durch ein Magnetfeld überhaupt nicht abgelenkt, sondern breiten sich in

ihrer ursprünglichen Richtung weiter aus. Gamma-Strahlen sind lichtähnliche elektromagnetische Wellen, die aber eine wesentlich kürzere Wellenlänge als Licht haben und dementsprechend unsichtbar sind. Außerdem sind sie viel durchdringender als Alpha- und Beta-Strahlen. Während Alpha-Strahlen schon durch eine nur 0,05 mm dünne Glimmer- oder Aluminiumfolie fast vollständig und Beta-Strahlen von millimeterdicken Aluminiumplatten schon merklich absorbiert, „verschluckt“, werden, durchdringen Gamma-Strahlen Aluminiumschichten von einigen zehn Zentimetern Dicke. Selbst eine 1,3 Zentimeter starke Bleiplatte setzt die Gamma-Strahlung nur etwa auf die Hälfte herab.

Ist nun schon ein Atom unsichtbar klein, wie kann man dann die noch kleineren Atom-„Splitter“, die Teilchen der radioaktiven Strahlung sichtbar machen oder überhaupt nachweisen?

Wir haben alle schon am Himmel Sternschnuppen beobachtet. Auch das sind meist so kleine Teilchen, die wir aus der großen Entfernung niemals mit bloßem Auge sehen könnten. Wir sehen sie aber doch, weil sie infolge ihrer hohen Geschwindigkeit und der heftigen Reibung an den Molekülen der Luft beim Einfall in die Erdatmosphäre selbst aufleuchten und dadurch ihre Flugbahn markieren. Ähnlich verhält es sich mit dem Nachweis der radioaktiven Strahlung.

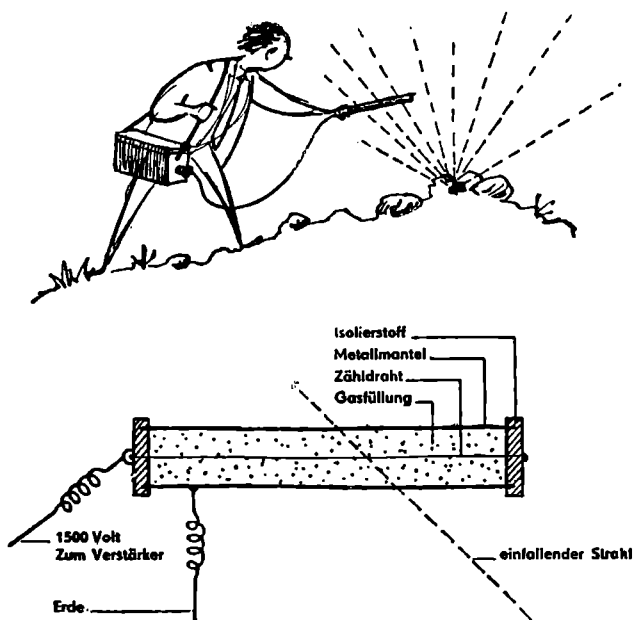


Wir alle haben schon am Himmel Sternschnuppen beobachtet

Nur solange das einzelne Teilchen sehr viel Energie hat, ist der Strahl nachzuweisen. Infolge seiner hohen Energie wirkt schon ein einzelner Strahl auf eine fotografische Platte wie Licht und hinterläßt eine nach der

Entwicklung sichtbare Schwärzungsspur. Die fotografische Nachweismethode ist die älteste und führte, wie Becquerels Geschichte zeigt, überhaupt erst zur Entdeckung der radioaktiven Strahlen.

Bald aber wurden feinere Nachweismethoden entwickelt, das Geiger-Müller-Zählrohr zum Beispiel, ein



Das Geiger-Müller-Zählrohr ist ein metallischer Hohlzylinder, luftdicht verschlossen und mit Gas gefüllt

metallischer Hohlzylinder, luftdicht verschlossen und mit Gas gefüllt. In dem Rohr ist ein Metallfaden, der aber vom Metallzylinder isoliert ist. Zwischen Metallfaden und Zylinder wird eine hohe elektrische Spannung gelegt. Eine Entladung, also ein Übergang des Stroms vom Metallfaden zum Zylinder, ist normalerweise nicht möglich, weil das Gas zwischen Zylinder und Faden elektrisch nicht leitet.

Nun wissen wir bereits, daß die elektrische Neutralität von Atomen aufgehoben wird, wenn die Elektronen-Anzahl der Hülle und die Protonen-Anzahl des Kerns nicht mehr gleich ist. In diesem ionisierten Zustand sind auch Gase in der Lage, den elektrischen Strom zu leiten.

Fällt nun ein radioaktiver Strahl durch das dünne Glimmerfenster des Zählrohres in sein Inneres, so reißt er aus den Atomhüllen einiger Gasatome ein Elektron heraus. Durch diese Ionisation ist nun ein Übergang des Stroms vom Metallfaden zum Zylinder möglich. Dabei entsteht ein Stromstoß, der verrät, daß ein Strahl in den Zähler gedrungen ist. Der an sich sehr schwache Stromstoß kann verstärkt und über ein Relais mit einer mechanischen Zählvorrichtung verbunden werden, so daß man mit diesem Instrument tatsächlich zählen kann, wieviel radioaktive Strahlen eine Substanz innerhalb einer bestimmten Zeit aussendet.

Der Geiger-Müller-Zähler registriert sogar jeden sehr schwachen Strahl. Nehmen wir an, ein solcher energiearmer Strahl könnte nur so wenig Gasatome ionisieren, daß es für einen Übergang des Stromes vom Faden zum Zylinder nicht reicht. Da aber beide Pole eine hohe Spannung haben, werden die Ionen mit so großer Geschwindigkeit von ihnen angezogen, daß sie dabei anderen Atomen, denen der Strahl selbst nichts anhaben konnte, ein Elektron aus der Hülle reißen. So verwandeln ein oder wenige durch den Strahl entstandene Ionen auch viele andere Atome in Ionen.

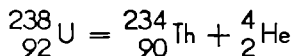
Geiger-Müller-Zählrohre können als handliche, leicht transportable Geräte gebaut werden.

Es gibt aber noch andere Nachweisinstrumente, so die Wilsonsche Nebelkammer. Ihre Funktionsweise beruht darauf, daß Ionen nicht nur elektrisch leiten, sondern unter bestimmten Bedingungen auch als Kondensationskerne wirken, an denen sich Dampf zu feinen Tröpfchen niederschlägt. Aus solchen winzigen schwebenden Wassertröpfchen bestehen auch Wolken und Nebel. So entstehen entlang der Flugbahn des radioaktiven Teilchens Nebelspuren, die nicht nur sichtbar sind, sondern auch fotografiert werden können. Benutzt man eine Stereokamera, so kann man die Bahnen der radioaktiven Teilchen sogar plastisch, im dreidimensionalen Bild festhalten.

Aus der Tatsache, daß radioaktive Atome Elementarteilchen ausschleudern, nämlich zwei Protonen und zwei Neutronen (Alpha-Teilchen) oder Elektronen (Beta-Teilchen), ergibt sich nun eine weitere Schlußfolgerung. Wir wissen, daß die Protonenzahl des Kerns zugleich die Natur des Atoms als chemisches Element bestimmt. Verändert sich durch Emission (Aus-sendung) von Elementarteilchen die Zahl der Kernprotonen, so hat sich das Atom in ein anderes chemisches Element umgewandelt. Von Natur aus vollzieht sich also das, was die Alchimisten jahrhundertlang vergeblich versucht hatten.

Es war eine große und die damals geltenden Erkenntnisse umstürzende Entdeckung, daß Atome nicht ewig gleichbleibende, „stabile“ Gebilde sind, sondern daß sich einige chemische Elemente im Laufe der Zeit verändern. Man bezeichnet die Veränderungen der Atomkerne als Kernreaktionen und alle mit der radioaktiven Strahlung einhergehenden Kernreaktionen als radioaktiven Zerfall.

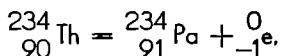
Betrachten wir einmal das Atom Uran 238, das ein Alpha-Teilchen ausschleudert. Dann hat es nach dieser Emission nur noch 90 Protonen und 144 Neutronen. Das chemische Element mit der Kernladungszahl 90 heißt Thorium. Wir können diesen Vorgang viel übersichtlicher in Form einer Reaktionsgleichung niederschreiben:



Die Glieder dieser Gleichung sind die schon beschriebenen Isotopenformeln, bei denen links oben vor dem Buchstabensymbol des chemischen Elements (U = Uran, Th = Thorium, He = Helium) die Massenzahl, also die Gesamtzahl der Protonen und Neutronen, und links unten die Kernladungszahl, also die Zahl der Protonen, steht. Die Summe der oberen und unteren Zahlen muß zu beiden Seiten des Gleichheitszeichens gleich groß sein. Die Reaktionsgleichung zeigt deutlich, was aus den ursprünglich 146 Neutronen und 92 Protonen des Uran-Atomkerns geworden ist, nämlich ein Atom mit 90 Protonen und 144 Neutronen (Thorium) und ein Helium-Atomkern mit 2 Protonen und 2 Neutronen.

Das so entstandene Thorium ist ebenfalls nicht stabil und verwandelt sich durch radioaktiven Zerfall wiederum. Diesmal werden jedoch keine Protonen und Neutronen ausgeschleudert, sondern ein Neutron wandelt sich in ein Proton um! Dabei wird gleichzeitig vom Atomkern ein Elektron ausgesandt. Man kann sich nämlich ein Neutron gewissermaßen zusammengesetzt aus einer positiven und negativen Ladung, also aus einem Proton und einem Elektron, denken. Beide Ladungen heben sich aber gegenseitig zu Null auf, und daher ist das Neutron elektrisch

neutral. Die Umwandlung eines Neutrons in ein Proton käme dementsprechend seiner Teilung in je ein gesondertes positives und negatives Ladungsteilchen gleich. Die hier beschriebene Kernreaktion ist der Beta-Zerfall. Das mit großer Wucht ausgeschleuderte Elektron ist das Beta-Teilchen. Schreiben wir den Beta-Zerfall des Thoriums als Reaktionsgleichung nieder, so ergibt sich folgende Formel:



wobei das letzte Glied das Symbol für ein negatives Elektron ist. Auch hier ergibt die Addition aller oberen und unteren Zahlen links und rechts von dem Gleichheitszeichen wieder dieselbe Zahl. Das neuentstandene chemische Element mit der Kernladungszahl 91 heißt Protaktinium (Pa). Aber auch dieses Element ist nicht stabil, sondern verwandelt sich. Es entsteht eine ganze Zerfallskette: Ein Atomkern wandelt sich durch radioaktiven Zerfall immer wieder in einen anderen um. Und ein Glied in dieser Kette ist das Radium. Die chemischen Elemente dieser Zerfallsreihe sind also miteinander verwandt, sie bilden „radioaktive Familien“. Als letztes Glied entsteht schließlich ein Atom, das sich nicht mehr umwandelt, sondern „stabil“ ist. Das Endglied in der Zerfallsreihe des Urans 238 ist das Isotop des chemischen Elements Blei Pb 206.

Ob die Atomkerne des Bleis jedoch für ewig gleichbleiben, wissen wir nicht. Wir können nur sagen, daß sie sich innerhalb einer von uns errechenbaren Zeit nicht umwandeln.

Damit kommen wir zu einem bedeutsamen Punkt des atomphysikalischen Abc. Die Umwandlung geht nämlich nicht bei allen Elementen gleich schnell vor sich. Das heißt aber nicht, daß ein radioaktiver Atomkern die Alpha-Teilchen schneller von sich wegschleudert, ein anderer langsamer, oder daß sich ein Neutron schneller, das andere langsamer in ein Proton umwandelt, wobei es ein Beta-Teilchen aussendet. Nein, jede radioaktive Umwandlung eines Kerns dauert nur einen Augenblick. Aber nie wandeln sich alle Atome gleichzeitig um, sondern einzeln, nach und nach.

Haben wir eine große Anzahl von gleichartigen radioaktiven Atomkernen, so können wir sagen, in welcher Zeit sich die Hälfte von ihnen umgewandelt hat. Für einen einzelnen Kern dagegen ist grundsätzlich nicht vorherzusagen, wann er sich umwandeln wird. Machen wir uns das an einem Beispiel klar: Die Statistiker haben errechnet, daß die Männer heute durchschnittlich 61, die Frauen 66 Jahre alt werden. Obwohl wir dies wissen, kann uns kein Statistiker verraten, wie lange dieser oder jener Mensch noch leben wird. Ähnlich ist es auch mit der „Altersstatistik“ der radioaktiven Atome, nur mit dem

Unterschied, daß ihr durchschnittliches Alter — die Zeit, in der die Hälfte der Atome „gestorben“, also in andere Atome umgewandelt ist — ganz genau feststeht, während sich das Durchschnittsalter der Menschen mit den Lebensbedingungen ändert. Diese Zufallsschwankungen heben sich aber von einer genügend großen Anzahl der statistisch untersuchten Personen bzw. Atome gegenseitig zu Null auf. Die Gesamtzahl der auf der Erde lebenden Menschen von etwa zwei Milliarden ist noch zu „klein“, um zufallsbedingte Schwankungen des durchschnittlichen statistischen Lebensalters ganz auszuschließen. Aber in einem Fingerhut voll Stoff sind unvergleichlich mehr Atome enthalten, als es Menschen auf der Erde gibt. Folglich ist entsprechend der großen Zahl der Atome der Zufallsfehler der statistischen Berechnungen, der sogenannte „Fehler der kleinen Zahl“, praktisch aufgehoben, und deshalb können wir für jeden radioaktiven Stoff mit größter Genauigkeit die Zeitspanne angeben, innerhalb derer sich die halbe Anzahl aller Atome umgewandelt hat. Und diese Zeitspanne ist die sogenannte Halbwertszeit.

Von den Atomen, die nach Ablauf einer Halbwertszeit noch unverwandelt geblieben sind, ist nach Ablauf einer weiteren Halbwertszeit wiederum die Hälfte umgewandelt, so daß nach zwei Halbwertszeiten nur noch ein Viertel der ursprünglich vorhan-

den gewesenen Atome nicht umgewandelt ist, nach drei Halbwertszeiten nur noch ein Achtel und so fort. Die Halbwertszeit der radioaktiven Elemente schwankt zwischen Millionstelsekunden und Jahr-milliarden. Einige chemische Elemente existieren nur Sekundenbruchteile lang, weil sie sich praktisch sofort in andere umwandeln.

Durch die radioaktiven Elemente mit jahrmilliarden-langer Halbwertszeit haben wir Kenntnis vom Alter der Erde und ihrer geologischen Entwicklung. Durch komplizierte Berechnungen, die sich aus der Halbwertszeit von radioaktiven Beimengungen der Gesteinsschichten ergeben, konnte man das Alter der Erde etwa bestimmen.

Weltexplosion in atomaren Dimensionen

Der radioaktive „Zerfall“ von Atomkernen ist eigentlich gar kein richtiger Zerfall, sondern nur ein Umbau. Es gibt aber noch viel drastischere Prozesse der Atomkernumwandlung: Ein Kern spaltet sich plötzlich in zwei Teile, wobei die beiden Tochterkerne mit unvorstellbarer Wucht auseinandergeschleudert werden — eine Katastrophe in der Welt der atomaren Dimensionen. Aus einem schweren Atomkern entstehen auf diese Weise zwei Kerne von mittlerem

Gewicht. Wie ist dieser rätselhafte Vorgang zu erklären?

Um den Vorgang der Atomkernspaltung zu verstehen, müssen wir uns den Aufbau der Kerne noch genauer ansehen. Im Kern wirken — vereinfacht ausgedrückt — zwei Kräfte gegeneinander:

1. Elektrische Kräfte, die eine gegenseitige Abstoßung der Protonen bewirken;
2. allgemeine gegenseitige Anziehungskräfte aller Kernteilchen.

Normalerweise halten sich beide Kräfte die Waage. Doch sie unterscheiden sich in einem Punkt: Bei zunehmender Entfernung voneinander, läßt die Wirksamkeit der Anziehungskräfte stärker nach als die der Abstoßungskräfte. Entfernen sich also die Kernteilchen immer mehr voneinander, so müssen irgendwann einmal die Abstoßungskräfte das Übergewicht über die Anziehungskräfte erhalten, und die Kernteilchen stieben mit großer Wucht auseinander.

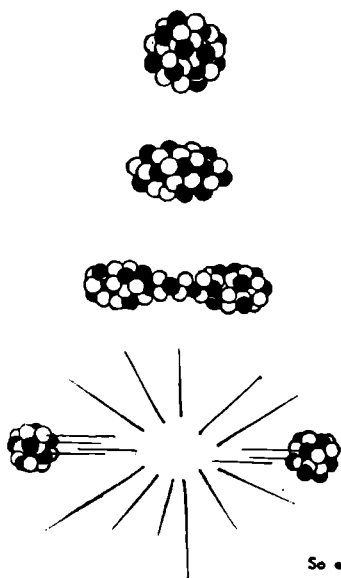
Tatsächlich verändert sich die mittlere Entfernung der Kernteilchen voneinander ständig. Denn der Atomkern ist kein starres Gebilde, dessen Bestandteile immer am selben Platz bleiben, sondern ähnlich wie die Moleküle eines Wassertropfens sind auch die Kernteilchen ständig in ungeordneter Bewegung, weshalb man vom „Tröpfchenmodell des Atomkerns“ spricht.

Durch diesen immerwährenden Tanz der Kernteilchen ändert sich auch ununterbrochen die Form des Atomkern-„Tropfens“ ein wenig. Den kürzesten Abstand voneinander haben die Teilchen dann, wenn der Kern ganz rund ist. In einem eiförmigen Kern dagegen sind die durchschnittlichen Abstände der Teilchen voneinander größer als in einem runden.

Aus der idealen Kugelform weicht der Atomkern durch die Bewegung seiner Einzelteilchen einmal mehr, einmal weniger ab. In den meisten Fällen sind diese Abweichungen nicht so stark, und die Kernteilchen gewinnen nicht solchen Abstand voneinander, daß die Abstoßungskräfte stärker werden als die Anziehungskräfte. Aber in ganz seltenen Fällen kann es vorkommen, daß ausgerechnet die eine Hälfte der Atomkerne nach einer Richtung strebt und die andere Hälfte nach der entgegengesetzten. Dann wird der Kern eiförmig, und es kann jene kritische Verzerrung eintreten, bei der die Abstoßungskräfte größer werden als die Anziehungskräfte. Und dann fliegt der Kern in zwei Teile auseinander.

Er hat sich gespalten.

So könnte man sich die Atomkernspaltung erklären. Ganz genau weiß man bis heute nicht, was sich im Kern abspielt. Wir können aber sagen: Der Spaltungsprozeß vollzieht sich so, als würde er durch



So etwa spaltet sich ein Atomkern
in zwei Teile

Vorgänge und Kräfte hervorgerufen, wie sie hier geschildert wurden.

Nun, es kommt sehr selten vor, daß die Kernteilchen bei ihrer ungeordneten Bewegung einmal wie auf Kommando nach verschiedenen Richtungen auseinander tanzen. Und daß es solche spontanen Uran-Kernspaltungen in der Natur gibt, hat man erst entdeckt,

nachdem bereits die künstliche Atomzertrümmerung gelungen war.

Professor Dr. Otto Hahn überprüfte im Jahre 1938 die Vermutung des Kernphysikers Enrico Fermi, nach der Atomkerne eines Elements durch Beschuß mit Neutronen in Kerne eines in der Atom-Tabelle benachbarten Elements umzuwandeln wären. Hahn und seine Mitarbeiter, Frau Prof. Lise Meitner und Dr. Straßmann, ließen deshalb einen Strom von Neutronen auf Uran-Atome einwirken. Dabei erzielten sie eines Tages ein unerwartetes Ergebnis: Aus den Uran-Atomkernen entstanden nicht solche Kerne, die nach der Annahme Fermis in der Atom-tabelle Nachbarn des Urans sind, sondern Atome des sehr viel leichteren Elements Barium. Später fand man außer den Barium-Atomen auch noch solche des Edelgases Krypton. Barium hat 56 und Krypton 36 Protonen. Es war auffällig, daß sich die Kernladungszahl der beiden neuentstandenen Elemente zu 92, also zur Kernladungszahl des Urans ergänzten. Sollten die Neutronen etwa eine Spaltung des Uran-Kerns bewirkt haben?

Für den damaligen Stand der kernphysikalischen Kenntnisse war diese Annahme so kühn, daß Professor Hahn lange Zeit davor zurückschreckte, seinem Versuchsergebnis diese Deutung zu geben. Erst Frau Professor L. Meitner und der Physiker O. R. Frisch

verfochten überzeugend und entschieden die These, daß sich die Uran-Kerne durch Beschuß mit Neutronen in zwei Kerne mittelschwerer Elemente gespalten hätten. Und diese These bestätigte sich dann auch sehr bald.

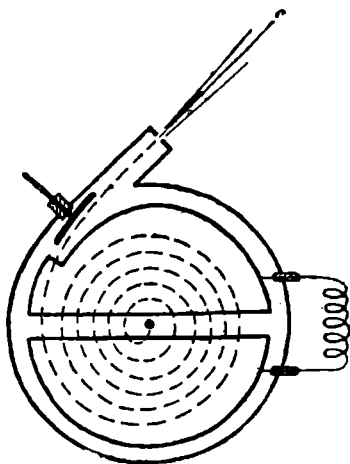
Warum spalten sich Uran-Atomkerne nach dem Auftreffen eines Neutrons? Wenn sich das Neutron dem Atomkern einverleibt, so verändert sich aus komplizierten Gründen, die wir hier nicht näher beschreiben wollen, die Struktur des Kerns, also die Beschaffenheit des Kräftespiels in seinem Innern. Das Gleichgewicht der gegenseitigen Anziehungs- und Abstoßungskräfte der Kernteilchen wird aufgehoben, die Abstoßungskräfte erhalten das Übergewicht. Der Kern verzerrt sich, und wenn der Grad der schon erwähnten „kritischen Verzerrung“ überschritten wird, fliegt der Kern in zwei Tochterkerne auseinander: Er spaltet sich!

Kann man nun durch Beschuß mit Neutronen jeden Atomkern spalten? Im Prinzip müßte es möglich sein. Praktisch lassen sich bisher aber nur Kerne der schwersten Elemente spalten, und das hat einen sehr einleuchtenden Grund. Zur Kernspaltung ist es ja erforderlich, daß die Abstoßungskräfte der Kernteilchen das Übergewicht über die Anziehungskräfte erlangen. Dieser Zustand wird um so leichter herbeizuführen sein, je größer die dem Atomkern

von Natur aus innewohnenden Abstoßungskräfte sind, also je mehr Protonen er enthält. Darum lassen sich nur schwere Elemente, die sehr viele Protonen in den Kernen haben, auf verhältnismäßig einfache Weise spalten. Damit in Kernen mit weniger Protonen die Abstoßungskräfte die Oberhand bekommen, müßte man ihnen sehr viel mehr Energie zuführen, weil erst dann die Bewegungen der Kernteilchen so heftig werden würden, daß sich die Form des Kerns kritisch verzerrt.

Warum eignen sich nun ausgerechnet Neutronen als „Kanonenkugeln“ zum Spalten von Uran- und noch einigen anderen schweren Atomkernen?

Da Atomkerne ebenso wie Protonen positiv elektrisch geladen sind und sich gleichnamige Ladungen gegenseitig abstoßen, würden die Atomkerne Protonen normalerweise gar nicht an sich herankommen lassen. Wenn ein Proton gegen den Widerstand der elektrischen Abstoßung auf einen Atomkern prallen soll, muß das Proton eine sehr hohe Energie, das heißt eine sehr große Geschwindigkeit haben. Diese hohe Energie muß dem Proton in einem sogenannten Teilchenbeschleuniger künstlich erteilt werden. Arten von Teilchenbeschleunigern sind Zyklotrone, Synchrozyklotrone, Betatrone und Synchrophasotrone. In diesen Anlagen werden geladene Teilchen in ein elektrisches Feld von besonders hoher



So sieht der schematische Aufbau eines Zyklotrons aus

Spannung gebracht und dadurch von einer Elektrode zur anderen gerissen, also beschleunigt. In der kernphysikalischen Forschung sind derartige Teilchenbeschleuniger bis heute unentbehrlich. Aber nutzbare Atomkern-Energie kann man durch sie nicht erzeugen. Denn für den Betrieb eines Teilchenbeschleunigers müssen elektrische Spannungen von Tausenden und Millionen Volt erzeugt werden. Dafür sind gigantische Stromerzeuger (Generatoren) erforderlich, die bei der größten zur Zeit in der Sowjetunion gebauten Beschleuniger-Anlage soviel Strom verbrauchen, wie ein ganzes Wasserkraftwerk durchschnittlicher Größe erzeugt. Und doch werden mit den so mühevoll

beschleunigten Teilchen nur verhältnismäßig wenig Atomkern-Reaktionen erzielt. Diese sind zwar von größtem wissenschaftlichem Interesse, aber die Energie, die sie liefern, reicht noch nicht einmal aus, um eine elektrische Taschenlampenbirne zu speisen. Eine technische Nutzung der Kernspaltungsenergie ist also nur möglich, wenn es gelingt, die Spaltungen ohne Energieaufwand herbeizuführen. Das ist in der Tat möglich, wenn man Neutronen auf Urankerne abschießt. Neutronen können, da sie elektrisch neutral sind, sich selbst mit geringer Geschwindigkeit dem Atomkern nähern. Darum sind Neutronen die zweckmäßigsten Kanonenkugeln zum technisch nutzbaren Spalten von Atomkernen.

Zu dieser ersten Voraussetzung einer technischen Nutzenanwendung der Atomkernenergie muß jedoch noch eine zweite kommen: Sehr viele Atomkerne müssen schnell nacheinander in fortlaufender Kettenreaktion gespalten werden, denn die Energie, die bei der Spaltung eines einzelnen Urankernes frei wird, ist zwar riesig im Vergleich zu der winzigen Stoffmenge dieses einen Atomkerns; absolut genommen ist sie aber noch viel zu klein, um sie technisch nutzen zu können. Technisch nutzbare Energiemengen entstehen nur, wenn ununterbrochen und schnell nacheinander Kern auf Kern gespalten wird, so daß fortwährend kleine Energiebeträge frei werden, die

zusammengenommen eine große Energiesumme ausmachen.

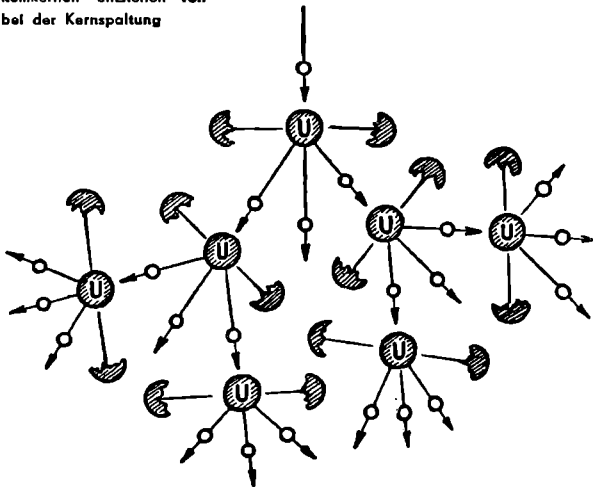
Umgekehrt dürfen aber auch nicht zu viele Atomkerne schlagartig auf einmal gespalten werden. Dann entsteht die Energie explosiv und ist technisch nicht nutzbar. Die Atombombe beruht auf diesem Prinzip. Es kommt also darauf an, den Prozeß einer fortlaufenden Kernspaltung überhaupt erst mal in Gang zu setzen, ihn dann aber nicht ins Unendliche anwachsen zu lassen, sondern zu regulieren.

Wie kann man nun eine Kette von Atomkernspaltungen auslösen? Zu jeder Kernspaltung gehört — wie geschildert — ein spaltendes Neutron. Wir brauchen also eine Neutronenquelle. Aber woher nehmen wir sie? Diese Frage löste sich auf verblüffend einfache Weise. Die Neutronen zur Spaltung von Uran-Atomkernen entstehen von selbst bei der Kernspaltung! Diese fundamentale Entdeckung, die überhaupt erst eine Nutzenanwendung der Atomenergie ermöglichte, gelang dem französischen Physiker Professor Frédéric Joliot-Curie.

Um zu verstehen, wie „freie“, das heißt nicht mehr an einen Kern gebundene Neutronen bei der Spaltung des Urans entstehen, müssen wir uns an etwas erinnern: Der Neutronenbedarf eines Kerns ist bekanntlich um so größer, je mehr Protonen er hat, weil ja die Neutronen die gegenseitige elektrische

Abstoßungskraft der positiv geladenen Protonen neutralisieren. Nun ist es sehr bedeutsam, daß der Kern nicht nur so viele Neutronen braucht wie er Protonen hat, sondern daß die Zahl der Neutronen stärker anwächst als die der Protonen, je schwerer das Element ist. Im Kern des schweren Elements Uran zum Beispiel entfallen 1,59 Neutronen auf ein Proton, in einem mittelschweren Kern, zum Beispiel

Die Neutronen zur Spaltung von Uran-Atomkernen entstehen von selbst bei der Kernspaltung



dem des Palladiums, nur 1,39. Zwei mittelschwere Atomkerne haben zusammen also immer noch keinen so großen Neutronenbedarf wie ein schwerer allein.

Nehmen wir einmal an, ein Uran-Kern würde sich in zwei genau gleich große Tochterkerne spalten, von denen jeder 46 Protonen enthält und somit zum platin-ähnlichen Edelmetall Palladium wird. Der Kern des Palladiums ist aber nur in der Lage, höchstens 64 Neutronen an sich zu binden. Zweimal 64 sind erst 128. Der gesplattene Uran-Kern enthielt aber 143 Neutronen, und 1 spaltendes kam noch hinzu. Nach der Spaltung bleibt also ein Überschuß von 16 Neutronen, die von den neuentstandenen Tochterkernen nicht aufgenommen werden können.

In zwei gleich große Tochterkerne spaltet sich Uran²³⁵ übrigens selten, meist verhält sich die Masse der beiden neuentstandenen Kerne wie etwa 1:2. Bezüglich des Neutronenüberschusses gilt aber auch dann das selbe.

Wir wollen nicht weiter verfolgen, was aus diesen 16 Neutronen wird, sondern uns mit der Feststellung begnügen, daß durchschnittlich 2 bis 3 Neutronen pro Kernspaltung frei werden und mit hoher Anfangsenergie umherfliegen, also gerade als Geschosse zum Spalten weiterer Atomkerne geeignet sind! Trifft nun eines dieser Neutronen einen neuen Uran-Kern,

so wird er ebenfalls gespalten, wobei wiederum 2 oder 3 Neutronen frei werden, die erneut andere Kerne spalten können. Auf diese Weise entsteht die beabsichtigte Kettenreaktion, das heißt, bei jeder Spaltung eines Uran-Atomkerns entstehen zugleich auch die Neutronen, die weitere Kerne spalten — eine Spaltung bewirkt die nächste.

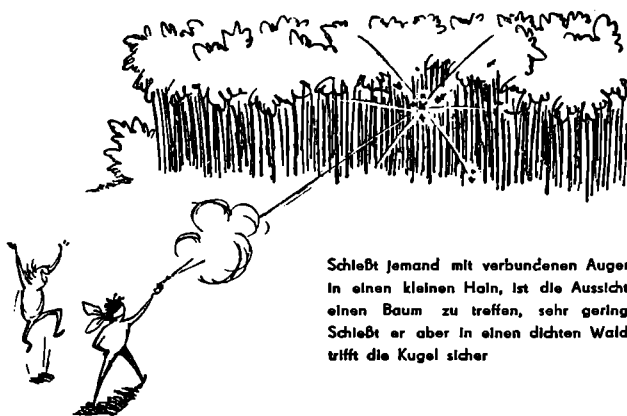
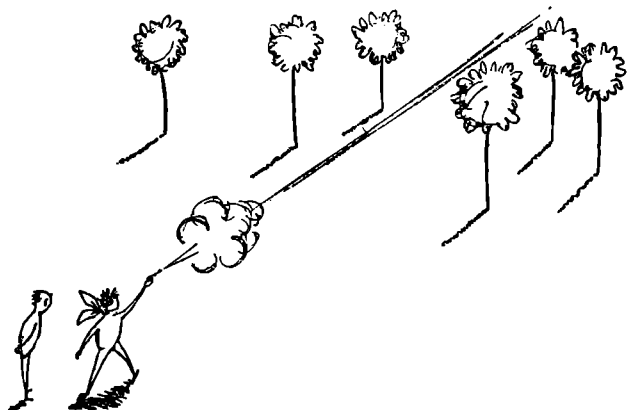
Warum haben sich dann nicht schon längst sämtliche Uran-Atome, die als Beimengung in Gesteinen oder in chemischen Verbindungen enthalten sind, durch Spaltung in andere Elemente umgewandelt? Es brauchte doch nur irgendein Uran-Kern gespalten zu werden, und schon würde das auf dem Wege der Kettenreaktion die Spaltung aller anderen nach sich ziehen.

Nun, so einfach ist die Sache nicht. Zum Glück! Auf unserem Planeten kann niemals eine Kettenreaktion der Kernspaltung von selbst entstehen. Ein erster Grund dafür liegt darin, daß das spaltbare Element Uran ja nirgends in reiner Form in der Erde liegt, sondern stets mit anderen Stoffen vermischt ist. Die Atomkerne dieser anderen Elemente spalten sich aber nicht, selbst dann nicht, wenn ein Neutron auf sie trifft. Will man also eine Kettenreaktion der Uran-kernspaltung einleiten, so muß man das Uran erst aus dem Erz scheiden und in chemisch reiner Form darstellen.

Besinnen wir uns nun darauf, daß — atomphysikalisch betrachtet — alle Stoffe, auch die feste, scheinbar kompakte Masse des Uranmetalls, ein fast leerer Raum ist, in dem mit großen gegenseitigen Abständen Elementarteilchen schweben! Stellen wir uns einmal vor, ein Neutron würde durch diesen Schwarm hindurchsauen. Wie gering wäre doch die Wahrscheinlichkeit, daß es dabei auf einen Atomkern prallt! Denn wir können die Kerne ja nicht sehen und schon gar nicht die Neutronen auf sie zielen. Es wäre, als wenn jemand mit verbundenen Augen Sandkörnchen in einen Mückenschwarm schösse. Er würde wohl kaum eine Mücke treffen.

Die Wahrscheinlichkeit eines Treffers läßt sich aber dadurch erhöhen, daß man eine genügend große Menge Uran sammelt, so daß möglichst viele Atomkerne im Schußfeld der Neutronen liegen. Hierzu ein Vergleich: Schießt jemand mit verbundenen Augen in einen kleinen Hain, so ist die Wahrscheinlichkeit sehr gering, daß die Kugel einen Baumstamm trifft. Schießt er aber in einen tiefen Wald, so ist ihm ein Treffer sicher. Ebenso ist es bei der Atomkernspaltung: Je größer der Klumpen Uran ist, desto wahrscheinlicher trifft ein Neutron einen Kern.

Um die für eine Kettenreaktion erforderliche Mindestmenge Uran, die sogenannte „kritische Masse“, nicht zu groß werden zu lassen, kann man einen „Trick“



Schließt jemand mit verbundenen Augen
in einen kleinen Hain, ist die Aussicht,
einen Baum zu treffen, sehr gering.
Schließt er aber in einen dichten Wald,
trifft die Kugel sicher

anwenden: Das Uran wird mit einem Mantel umgeben, der die Neutronen zurückwirft, wenn sie die Uranmasse durchflogen haben, ohne einen Atomkern zu treffen. Dieser Mantel heißt Reflektor und besteht meist aus Graphit, der chemisch das Element Kohlenstoff ist. Je besser der Reflektor die Neutronen zurückwirft und immer wieder durch die Masse des spaltbaren Materials jagt, um so kleiner kann die zum Entstehen einer Kettenreaktion erforderliche Menge Spaltstoff sein.

Meist ist nun noch eine weitere Voraussetzung künstlich zu schaffen, bevor es zu einer Kettenreaktion kommen kann. Das chemisch reine natürliche Uran besteht nämlich zu 99,3 Prozent aus einem Isotop, das sich kaum spalten läßt, nämlich aus dem U 238. Spaltbar durch Neutronen sind hauptsächlich nur die Atomkerne U 235, die nur 0,7 Prozent des natürlichen Urans ausmachen. Wenn Neutronen bei einer Kernspaltung frei werden, fliegen sie mit großer Geschwindigkeit umher. Diese „schnellen Neutronen“ werden aber nicht nur von den U-235-Kernen eingefangen, sondern auch von den U-238-Kernen. Der Unterschied ist nur: Die U-235-Kerne spalten sich nach dem Einfangen, die U-238-Kerne nicht! Da die letzteren aber weitaus in der Überzahl vorhanden sind, fangen sie also praktisch alle Neutronen weg, so daß zum Spalten der U-235-Kerne keine mehr übrigbleiben.

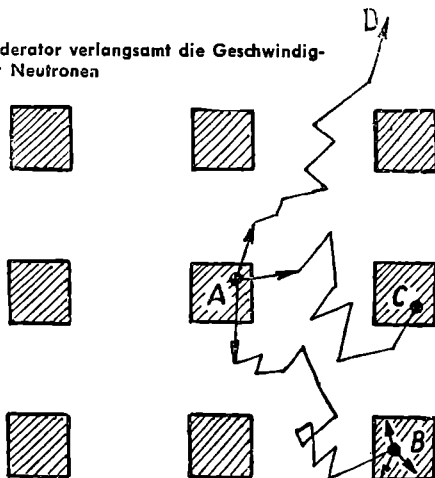
Deshalb kann selbst in einem großen Klumpen chemisch reinen Urans von selbst noch keine Kettenreaktion entstehen.

Den — wie es zunächst scheint — völlig nutzlosen Neutroneneinfang durch U-238-Kerne muß man also einschränken oder ganz unterbinden. Das geschieht, indem die ursprünglich schnellen Neutronen verlangsamt werden. Wenn die Neutronen eine gewisse Geschwindigkeit unterschreiten, werden sie nämlich von den U-238-Kernen nicht mehr eingefangen!

Die Neutronen werden verlangsamt, indem man sie auf Atomkerne einer „Moderator“ (Verlangsamer) genannten Substanz prallen läßt. Die Neutronen stoßen nacheinander mit mehreren Atomkernen des Moderators zusammen und verlieren dabei ihre hohe Geschwindigkeit, werden zu langsamen (thermischen) Neutronen. Ihre Eigenschaft, U-235-Kerne zu spalten, ändert sich dadurch nicht. Die Neutronenverlangsamung ist nicht nötig, wenn die Kettenreaktion mit reinem Uran 235 oder einem mit diesem Isotop sehr hoch angereicherten Kernbrennstoff durchgeführt wird.

Als Moderator eignen sich Graphit oder „schweres Wasser“, auch Deuterium genannt. Das Molekül des schweren Wasser enthält Wasserstoffatome, deren Kern nicht nur aus einem Proton besteht, sondern auch noch ein Neutron enthält. Es gibt auch „überschweren

Der Moderator verlangsamt die Geschwindigkeit der Neutronen



Wasserstoff“, Tritium genannt, dessen Atomkerne außer dem Proton sogar zwei Neutronen haben. Warum sind aber gerade schwere Wasserstoff- und Kohlenstoffkerne gut zum Abbremsen schneller Neutronen geeignet?

Ein guter Moderator muß zwei Voraussetzungen erfüllen: Erstens soll er ähnlich groß sein wie das abzubremsende Neutron; dann ist die Bremswirkung am stärksten. Prallt ein kleiner Ball gegen einen viel größeren, so wird er nicht gebremst, sondern springt mit fast unverminderter Geschwindigkeit wieder zurück. Prallt er dagegen auf einen Ball von etwa gleicher Größe, so stößt er ihn an und überträgt auf

ihn einen großen Teil seiner Bewegungsenergie. Die Bremswirkung ist dann am stärksten.

Zweitens darf der Moderator das Neutron nicht einfangen, also absorbieren. Schweres Wasser und Graphit sind Stoffe, welche diese beiden Voraussetzungen erfüllen; das erstere ist allerdings in der Herstellung sehr teuer. Es ist spurenweise in normalem Wasser enthalten und wird durch Elektrolyse von ihm abgesondert.

Damit hätten wir nun alle Bedingungen beisammen, die zur Entfaltung einer Kernspaltungs-Kettenreaktion gehören, nämlich

1. eine bestimmte Mindestmenge spaltbaren Materials, auch Spaltstoff oder Kernbrennstoff genannt, zum Beispiel Uran,
2. ein Reflektor, meist aus Graphit,
3. der Moderator (Graphit oder schweres Wasser) zum Verlangsamen der Neutronen.

Mit diesen drei Voraussetzungen können wir nun an den Bau einer Vorrichtung gehen, die eine Kettenreaktion einleitet und aufrechterhält. Eine solche Kettenreaktions„maschine“ ist der Atommeiler. Atomreaktor, Uranreaktor, Atompile, Uranpile, Kernreaktor, Uranbrenner und ähnliches sind nur andere Bezeichnungen dafür.

Die Atomkernspaltung liefert weit mehr Energie als die bisher als Energiequellen dienenden Verbren-



Bei der Spaltung von einem Kilogramm Uran entstehen theoretisch
19 Milliarden Kilogramm-Kalorien

nungsprozesse. Bei der Verbrennung von einem Kilogramm Steinkohle — einer chemischen Reaktion — entstehen 8000 Kilogramm-Kalorien. Das ist eine Wärmemenge, die ausreicht, um 8000 Kilogramm Wasser von 14,5 auf 15,5 Grad C, also um 1 Grad C, zu erwärmen. Bei der Spaltung von einem Kilogramm

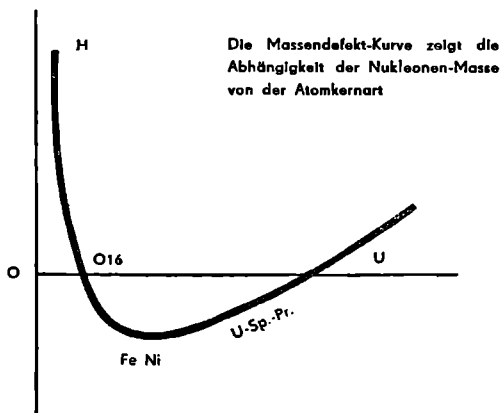
Uran — einer Kernreaktion nebst ihren Folgeerscheinungen — entstehen theoretisch 19 Milliarden Kilogramm-Kalorien!

Warum wird bei Kernreaktionen so sehr viel mehr Energie frei als bei chemischen Reaktionen? Das ist nicht ganz leicht einzusehen, und wir müssen, um es uns erklärlich zu machen, einige gedankliche Umwege einschlagen.

Es wurde bereits gesagt, daß ein Proton, also ein Wasserstoff-Atomkern, ein bestimmtes Gewicht oder — physikalisch exakt ausgedrückt — eine bestimmte Masse hat, nämlich $1,6725 \cdot 10^{-24}$ Gramm oder in einer übersichtlicheren Zahl ausgedrückt 1,00813 Masse-Einheiten. Neutronen haben fast dieselbe Masse, nämlich 1,00894 Masse-Einheiten. Da ein Atomkern des Urans 235 aus 92 Protonen und 143 Neutronen besteht, sollte man annehmen, daß seine Masse auch das 92fache der eines Protons zuzüglich des 143fachen eines Neutrons betragen müßte. Grob genommen stimmt das auch. Aber als man Atomkerne mit äußerster Genauigkeit „wiegen“ lernte (was nicht mit einer Waage, sondern mit einer komplizierten Apparatur, Massenspektograph genannt, geschieht), zeigte sich etwas sehr Überraschendes: Ein Kern des Urans 235 wiegt nicht ganz genau soviel, wie er eigentlich wiegen müßte. Aber auch alle anderen Atomkerne, die aus mehr als einem Kern-

teilchen zusammengesetzt sind, sind etwas leichter, als man rein rechnerisch zunächst ermitteln würde. Man kann diesen Sachverhalt anders auch so ausdrücken: Die durchschnittliche Masse eines im Atomkern gebundenen Kernteilchens ist kleiner, als wenn es als freies Proton oder Neutron existiert.

Ja, es stellte sich heraus, daß in jeder Art von Atomkernen die Kernteilchen eine etwas verschiedene durchschnittliche Masse haben. Wenn man die Unterschiede graphisch darstellt, ergibt sich die folgende Kurve:



Massendefekt-Kurve (vereinfacht)

In dieser Kurve ist als „Norm“ (die dick ausgezogene Null-Linie) jene Masse gewählt, welche ein Kernteil-

chen hat, wenn es innerhalb eines Atomkerns des Sauerstoff-Isotops $O\ 16$ gebunden ist. Alle Kernteilchen-Massen, die schwerer sind, hat man über, alle, die leichter sind, unter der Null-Linie eingetragen. Und zwar beginnt der Verlauf der Kurve ganz links mit dem Atomkern, der nur aus einem Kernteilchen besteht, also Wasserstoff, und geht dann mit zunehmender Anzahl der Kernteilchen immer weiter nach rechts. Am rechten Ende der Kurve steht die natürlicherweise vorkommende Atomkernart, welche die meisten Kernteilchen enthält, nämlich Uran 238.

Die Kurve zeigt wohlgermerkt nicht die Gesamtmasse der einzelnen Atomkernarten, sondern die Unterschiede der durchschnittlichen Masse eines Kernteilchens in den verschiedenen Atomkernarten. Wie man sieht, steht der Wasserstoff-Atomkern am höchsten Punkt der Kurve, was besagt, das ein Kernteilchen am schwersten ist, wenn es ohne Bindung an andere Kernteilchen existiert. Sobald sich zwei Kernteilchen zu einem Kern zusammenschließen, wird das durchschnittliche Gewicht beider schon etwas leichter.

Sehen wir uns nun einmal den Punkt der Kurve an, an dem sich das spaltbare Isotop U 235 befindet (fast am rechten Ende der Kurve), und vergleichen ihn mit der Strecke, auf welcher die Atomkernarten liegen, in welche der Urankern durch Spaltung zerfällt. Die

Kerne der Spaltprodukte liegen an der mit U-Sp.-Pr. gekennzeichneten Strecke der Kurve, also tiefer als der Kern U 235. Das bedeutet: Die Kernteilchen haben innerhalb der neu entstandenen Tochterkerne eine geringere durchschnittliche Masse als zuvor, als sie noch zusammen einen U-235-Kern bildeten. Die Kernteilchen sind bei der Umwandlung des Urans in andere Elemente also leichter geworden!

Was hat das alles mit unserer Frage zu tun, warum bei Kernreaktionen wesentlich mehr Energie frei wird als bei chemischen Reaktionen? Den Schlüssel für den Zusammenhang fand der geniale Physiker Prof. Albert Einstein bereits lange bevor das Problem in der Kernphysik aktuell wurde.

Wir sind gewohnt, Masse und Energie eines Körpers als zwei voneinander unabhängige Größen zu betrachten. Einstein erkannte jedoch, daß jeder Masse ein bestimmter Energiebetrag entspricht und daß umgekehrt auch jeder Energie eine bestimmte Masse gleichwertig ist. Nach dieser Energie-Massen-Beziehung wird bei jeder Massenverringering, wie sie sich bei Spaltung von Uran in mittelschwere Spaltprodukte ereignet, eine bestimmte Energiemenge frei. Umgekehrt erhöht sich mit der Energie eines Körpers auch seine Masse.

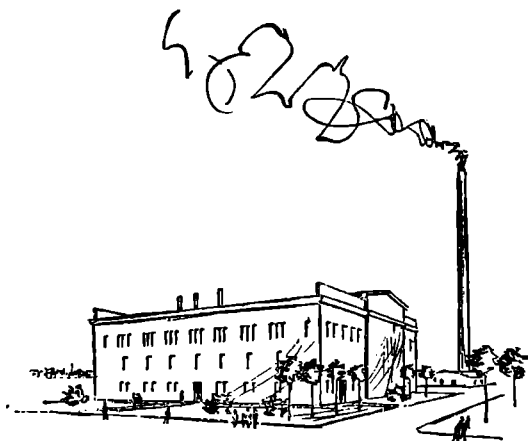
Entsprechend dem „Massendefekt“, der bei der Spaltung des Urans auftritt, wird also Energie frei! Die

Größe dieser Energie kann man ausrechnen, indem man den Betrag des Massendefekts mit dem Quadrat der Lichtgeschwindigkeit multipliziert. In dem in der Kernphysik gebräuchlichen Energiemaß ausgedrückt, entspricht der Defekt von nur etwa einem Tausendstel einer Masseneinheit dem Energiebetrag von rund einer Million Elektronenvolt oder umgerechnet $3,827 \cdot 10^{-24}$ Kalorien.

Bei chemischen Reaktionen tritt auch eine Veränderung der Masse ein, aber sie ist viel geringer und entspricht nicht Millionen sondern nur einigen wenigen Elektronenvolt. Warum besteht hier ein so enormer Unterschied?

Im Gegensatz zu einer Kernreaktion ist die chemische Reaktion ein ganz anderer Vorgang. Bei der letzteren werden nur die Elektronen der Hüllen verschiedener Atome neu verteilt, die Atomkerne bleiben unverändert.

Bei Kernreaktionen verändern sich die Atomkerne. Nun haben die Atomkerne aber viel größere Massen als die Elektronen. Der leichteste Atomkern ist 1837 mal schwerer als ein Elektron. Deshalb finden bei Kernreaktionen auch weit größere Massenveränderungen statt als bei chemischen Reaktionen, was nach der Massen-Energie-Beziehung wiederum bedeutet: Es werden auch weit größere Energien frei.



Energie der Zukunft

„Akademie der Wissenschaften der UdSSR, Atomkraftwerk“ steht in goldenen Buchstaben auf der Tafel am Eingang eines größeren dreistöckigen Gebäudes am Stadtrand von Moskau. Eine nüchterne, unauffällige Tafel, wie an vielen wissenschaftlichen Instituten in der Sowjetunion. Auch das ganze Gebäude unterscheidet sich äußerlich nicht von anderen. Und doch verkörpert es gewissermaßen den Beginn eines neuen Zeitalters. Denn seit dem 27. Juni 1954 wird hier zum erstenmal in der Welt aus Atomenergie elektrischer Strom gewonnen.

Mit komplizierten Einrichtungen werden im Innern des Gebäudes die neuentdeckten Kräfte des Atomkerns zum Segen der Menschheit nutzbar gemacht. 5000 Kilowatt in der Stunde erzeugt das Kraftwerk und verbraucht dafür in 24 Stunden nur 30 Gramm Uran. Ein Kraftwerk, wie wir es bisher kennen, würde bei gleicher Leistung in derselben Zeit 100 000 Kilogramm Kohle verbrauchen.

Eine imponierende Leistung — aber erst ein Anfang. Hier will man technische Einzelheiten und Probleme des Betriebs von Atomkraftwerken studieren, um nach den gewonnenen Erfahrungen Anlagen für 50 000 und 100 000 Kilowatt, also für die zehnfache und zwanzigfache Leistung und mehr zu bauen. Heute sind solche Atom-Großkraftwerke in der Sowjetunion bereits projektiert, in den nächsten Jahren werden sie Wirklichkeit sein. Die Sowjetunion beweist auch in der Atomtechnik ihre führende Rolle.

Wie sieht es nun in diesem Atomkraftwerk in Moskau aus?

Durch einen Vorraum gelangen wir in den Hauptsaal der Atomstation. Unter diesem Saal liegt das Herz der Anlage, der Atommeiler. Im Saal ist zwar manches zu sehen, aber wir werden daraus nicht klug. An der Decke sind zwei Kräne. Regelrechte Eisenbahnschienen führen in den Raum; hier können offenbar Güterwagen hineingefahren werden. Am Boden

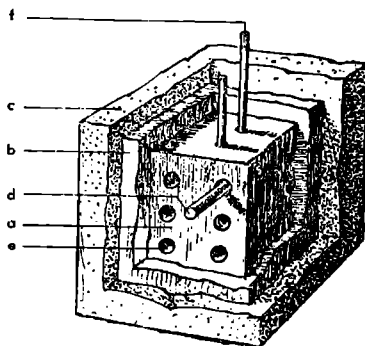
fallen uns große, runde gußeiserne Deckel auf. An den Wänden sieht man Instrumente mit Zeigern und grün leuchtende Lampen. Alarmglocken. Aber wozu das alles?

Nun, wir kennen die drei Voraussetzungen, die für eine Kettenreaktion und damit für den Bau eines Atommeilers erforderlich sind: den Kernbrennstoff, den Neutronenverlangsamer (Moderator) und den Reflektor. Praktisch kommt noch ein wichtiger Bestandteil hinzu: Eine etwa drei Meter dicke Beton-schutzwand, die den Atommeiler von allen Seiten umgibt. Sie wird zwar nicht für die Kettenreaktion selbst gebraucht; aber da dem arbeitenden Meiler trotz des Reflektors ständig ein intensiver Strom von Neutronen und radioaktiven Strahlen entweicht, ist die Betonwand zum Schutze des Personals notwendig. Sie fängt die Strahlen auf. Es würde uns sonst schlecht bekommen, hier oben auf dem Dach des Kernreaktors herumzulaufen. Denn radioaktive Strahlen und Neutronen sind in größerer Menge höchst gesundheitsschädlich, ja sogar tödlich.

Wie sind aber nun die drei Grundbestandteile in der „Kettenreaktionsmaschine“ zusammengesetzt? Könnten wir durch die dicken Wände hindurchsehen, so zeigte sich etwa folgendes Bild: Ein riesiger Graphitblock steht auf einem Betonfundament. In diesem Block, dem Moderator, verlaufen viele zylind-

drische Hohlräume in senkrechter Richtung, durchziehen also den Block wie Röhren. Darin hängen lange Stäbe aus Uran, fast allseitig von Graphit umgeben. Findet in einem Uranstab eine Kernspaltung statt, so fliegen die frei gewordenen Neutronen mit großer Geschwindigkeit umher, dringen aber bald in den Graphit ein. Dabei prallen sie nacheinander auf mehrere Kohlenstoffatome. Durch den Anprall werden die Kohlenstoffteilchen selbst angestoßen, also in noch schnellere Bewegung versetzt. Schnellere Molekülbewegung bedeutet aber höhere Temperatur! Nicht nur der Graphit erwärmt sich, sondern auch die Uranstäbe. Sie würden bei laufender Ketten-

Aufbau eines Atomreaktors:
 a) Moderator (Graphitblock),
 b) Reflektor, c) Betonschutzwand,
 d) Kernbrennstoff,
 e) Hohlräume zur Aufnahme des Kernbrennstoffs,
 f) Regulator- und Sicherungsstäbe



reaktion innerhalb kurzer Zeit so stark erhitzt, daß der ganze Meiler schmelzen könnte. Um das zu verhindern, muß die überschüssige Wärme dauernd abgeführt werden. Das kann durch Wasser, aber auch durch Gas oder flüssiges Metall geschehen, das ebenfalls durch die zylindrischen Röhren im Moderatorblock zirkuliert.

Im Moskauer Atomkraftwerk wird der Reaktor mit destilliertem Wasser gekühlt. Pumpen pressen kaltes Wasser in die Röhren hinein, dabei gibt der Reaktor seine Wärme an das Wasser ab, so daß es sich auf 270°C erhitzt. Trotzdem siedet und verdampft es nicht, denn es steht unter etwa 100 Atmosphären Druck und siedet erst bei 309°C . Das Wasser verläßt den Reaktor heiß, dann wird es abgekühlt und durchfließt den Meiler erneut in ständigem Kreislauf. Hier entsteht also ständig Wärmeenergie in Form heißen Wassers! Diese Wärmeenergie ist es schließlich, die — wie auch in den üblichen Kraftwerken — den Strom erzeugt. Aber darauf wollen wir später zurückkommen. Verfolgen wir zunächst den Weg der Neutronen, die gerade bei einer Kernspaltung in irgendeiner der Uranstangen entstanden sind.

Sie sausen infolge der Einbettung des Urans in den Moderator durch die Graphitmasse, stoßen mit vielen Kohlenstoffatomen zusammen, werden dadurch langsamer und treffen schließlich irgendwo wieder

auf eine Uranstange, denn es sind ja mehrere davon im Moderatorblock verteilt. Hier können sie aufs neue einen Atomkern spalten.

Viele Neutronen werden aber auf ihrem Wege durch den Graphitblock nicht gleich wieder auf einen neuen Uran-Atomkern stoßen, sondern ganz aus dem Block herausfliegen, ohne vorher eine neue Spaltung bewirkt zu haben. Um diesen Neutronenverlust einzuschränken, hat man den dritten wichtigen Grundbestandteil des Atommeilers, den Reflektor, wie einen Mantel rund um die aktive Zone des Graphitblocks gelegt. Der Reflektor umgibt als dicke Graphitschicht das Ganze und wirft die Neutronen, die aus der aktiven Zone entweichen wollen, wieder zurück. Dadurch wird die Wahrscheinlichkeit erhöht, daß die Neutronen endlich doch einen Uran-Kern treffen.

Freilich, alle Neutronen kann auch der Reflektor nicht zurückwerfen, einige suchen das Weite, ebenso wie die durchdringenden Gamma-Strahlen, die bei der Spaltung entstehen. Darum umgeben den Moderator mit eingesteckten Uranstäben und Reflektor nochmals eine meterdicke Schicht gewöhnlichen Wassers und anschließend eine drei Meter dicke Betonwand. Sie schirmen das Bedienungspersonal gegen schädliche Strahlen ab.

Wie bereits im vorigen Abschnitt erläutert, ist es nun klar, daß die Neutronen um so mehr „Volltreffer“ in

spaltbaren Uran-Atomkernen erzielen werden, je mehr Spaltstoff im Meiler ist. Ja, es bedarf sogar einer bestimmten Mindestmenge Uran, damit wenigstens eines der bei jeder Kernspaltung frei gewordenen Neutronen wieder einen neuen spaltbaren Kern trifft. Der Reaktor des Moskauer Atomkraftwerks muß sechs Uranstäbe von insgesamt 550 Kilogramm Gewicht enthalten, wenn die Kettenreaktion anlaufen soll. Verbraucht werden von diesen 550 Kilogramm in 24 Stunden nur ganze 30 Gramm, aber gefüllt sein muß der Meiler mit der großen Menge, damit möglichst viele Uran-Atome als Zielscheiben für die umherfliegenden Neutronen bereitstehen.

Was aber, wenn einmal der umgekehrte Fall eintreten sollte und die Zahl der je Zeiteinheit stattfindenden Kernspaltungen zu groß, die Kettenreaktion also zu heftig wird? Dann würde der Reaktor trotz Kühlung „weglaufen“, er würde sich selbst zerstören, wobei das gesamte Bedienungspersonal, ja sogar die nähere Umgebung gefährdet werden würde. Man muß nicht nur solchen Katastrophenfall mit absoluter Sicherheit verhindern, sondern überhaupt die Kettenreaktion genau regulieren können. Das ist auf höchst einfache Weise möglich.

Erinnern wir uns daran, wieviel Vorkehrungen getroffen werden müssen, nur um alle Stoffe aus dem Atommeiler fernzuhalten, die Neutronen unnütz ab-

sorbieren, sie „einfangen“, ihren Atomkernen einverleiben, aber sich dabei nicht spalten wie das Uranisotop U 235. Deshalb muß das Uran von den übrigen Elementen, die im Uranerz noch vorhanden sind, sorgfältig gereinigt werden. Auch die Atomkerne der Moderatorsubstanz dürfen nicht die Eigenschaft haben, Neutronen einzufangen. Nur dadurch ist es möglich, den Verlust von Neutronen so niedrig zu halten, daß noch eine für die Kettenreaktion erforderliche Mindestzahl übrigbleibt. Ist es nun aber so schwierig, die nötige Neutronen„dichte“ überhaupt erst einmal zu gewährleisten, dann ist es umgekehrt sehr leicht, die Zahl der im Reaktor umherschwirrenden Neutronen jederzeit wieder zu verringern.

Man braucht nur in zylindrische Hohlräume des Graphitblocks Stangen aus einem Material zu schieben, das die Eigenschaft hat, Neutronen gierig an sich zu reißen. Das ist bei den chemischen Elementen Bor und Kadmium der Fall. Im Moskauer Atomkraftwerk regulieren deshalb Stäbe aus Borkarbid den Reaktor. Je tiefer man sie in den Atommeiler schiebt, desto stärker wird die Zahl der umherfliegenden Neutronen und damit die Kettenreaktion vermindert. Auf diese Weise kann die Intensität der Kettenreaktion und damit auch die Wärmeerzeugung überaus genau reguliert werden. Überdies hat ein Uran-Reaktor des Moskauer Typs noch aus anderen, rein physi-

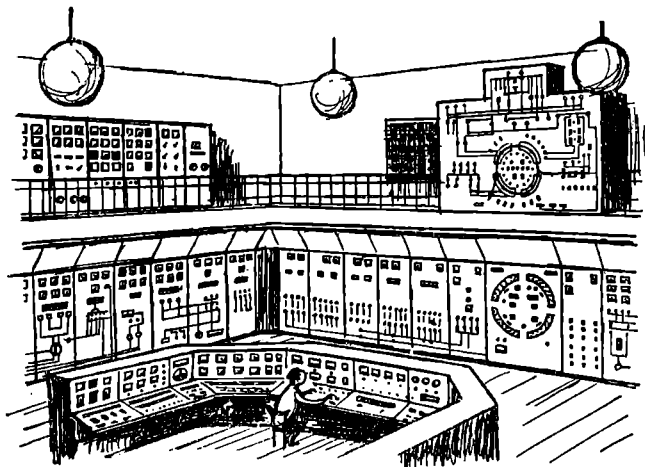
kalischen Gründen schon von selbst die Tendenz, das Ausmaß der Kettenreaktion auf annähernd gleichbleibendem Niveau zu halten.

Unabhängig von den Regulierstäben gibt es in jedem Atommeiler auch noch Sicherheitsstäbe. Sie bestehen ebenfalls aus einem stark Neutronen absorbierenden Material und fallen ohne Zutun des Bedienungs-personals automatisch in den Atommeiler, sobald die Kettenreaktion ein bestimmtes Maß überschreitet. Meßinstrumente registrieren laufend die Intensität des Neutronenstroms sowie die Temperatur im Innern des Meilers.

Diese Instrumente betätigen bei Überschreiten der kritischen Daten die Sicherheitsstäbe, wodurch die Kettenreaktion sofort erlischt und jede Gefahr ausgeschaltet ist. Übrigens können auch die Regulierstäbe vollautomatisch bedient werden. An der Steuerapparatur wird eingestellt, wie heftig die Kettenreaktion verlaufen soll. Meßinstrumente überprüfen dauernd diesen Vorgang. Unterschreitet die Intensität die eingestellte Grenze, so betätigen sie Vorrichtungen, welche die Regulierstäbe etwas weiter aus dem Atommeiler herausziehen, so daß die Neutronendichte wieder zunimmt. Überschreitet sie jedoch die Grenze, so werden die Regulierstäbe automatisch tiefer hineingeschoben, so daß die Kettenreaktion gebremst wird.

Ja, selbst Störungen der Reaktortätigkeit werden durch ein kompliziertes System von automatischen Steuerungsgeräten bis zu einem hohen Grade von selbst ausgeglichen. Man kann ruhig willkürlich in den normalen Arbeitsablauf des Atommeilers eingreifen, um ihn mit Gewalt aus dem Gleichgewicht zu bringen — es tanzen dann nur die Zeiger auf einigen Instrumenten für wenige Augenblicke hin und her. Einen Moment später hat sich der Gigant schon wieder gefangen. Automatische Geräte haben dafür gesorgt, daß die Regulierstäbe die Störung ausgleichen, und der Reaktor läuft wieder wie vorher.

Bleibe nur noch die Frage: Wie schaltet man die Kettenreaktion überhaupt ein? Auch das ist überraschend einfach. Wir wissen ja, daß Kernspaltungen des Urans auch spontan erfolgen, obzwar recht selten. Aber eine Spaltung wird schon irgendwo in den Uranstäben zu jeder Zeit stattfinden. Außerdem fliegen infolge der kosmischen Strahlung ständig einige Neutronen durch die Luft, und da sie zum Teil sehr energiereich sind, können sie auch in den Meiler gelangen. Überdies ist in ihn noch eine kleine künstliche Neutronenquelle eingebaut. Die Neutronen, die als Zündfunken die erste Kernspaltung bewirken, sind also vorhanden. In der Natur könnte dadurch zwar nie eine Kettenreaktion von Kernspaltungen ausgelöst werden. Aber der Meiler ist ja so gebaut, daß,



Zentrale Steuerungsanlage eines großen Teilchenbeschleunigers

im Unterschied zu den natürlichen Bedingungen, umherfliegende Neutronen nicht nutzlos verpuffen, sondern auf Atomkerne gelenkt werden, sie treffen und spalten. Man braucht also aus dem Meiler nur die Sicherheits- und Regulierstäbe herauszuziehen, und die Kettenreaktion läuft von selbst an.

Mühe und Zeit kostet es vielen Wissenschaftlern, Technikern und Arbeitern, einen Atommeiler zu bauen! Ist er aber fertig, kann er mit wenig Bedienungspersonal in Betrieb gehalten werden. Wenn wir den Schaltraum des Moskauer Atomkraftwerks betreten, sehen wir eine Fülle von Meßinstrumenten mit Zei-

gern, Lämpchen, Selbstschreibern und was sonst noch, vor denen an Pulten zwei Ingenieurinnen sitzen. Diese beiden Frauen steuern den mächtigen Atom-Giganten. Sie steuern nicht allein den Kernreaktor, sondern auch die Maschinen, welche die im Atommeiler entstandene Wärme in elektrischen Strom umwandeln. Ist es nicht bewundernswert und typisch für die gesamte Technik der Zukunft, daß zwei Menschen in der Lage sind, ein ganzes Kraftwerk von 5000 Kilowatt zu regulieren! Automatisierung und Mechanisierung der Arbeit, das ist die große Richtung, in der sich die Technik von morgen entwickelt. Nur wenige Arbeitskräfte werden erforderlich sein, um ganze Fabriken vollautomatisch in Betrieb zu halten — nicht nur Kraftwerke, sondern unter anderem auch Werkstätten zur Herstellung genormter Maschinenteile.

Der Kernreaktor ist das Herz des Atomkraftwerkes, aber er allein erzeugt noch keinen Strom. Verfolgen wir deshalb, welchen Weg das beim Durchlaufen des Reaktors auf 280 Grad erhitzte Wasser nimmt und wie schließlich elektrischer Strom daraus gewonnen wird. Man könnte mit dem Wasser direkt eine Stromerzeugungsmaschine, einen Turbogenerator antreiben. Das hätte aber einen Nachteil: Das Wasser ist beim Durchströmen des Reaktors einem heftigen Neutronenbeschuß ausgesetzt. Dadurch werden einzelne Atome der Wassermoleküle radioaktiv und

beginnen also, radioaktive Strahlen auszusenden. Würde dieses Wasser jetzt durch die Stromerzeugungsmaschinen laufen, dann müßte man sie ebenfalls mit einer Strahlenschutzwand umkleiden. Ja, nicht nur das Wasser selbst, sondern auch die Generatoren würden im Verlaufe der Zeit radioaktiv. Bei Reparaturen an den Maschinen wären die Monteure schädlicher Strahlung ausgesetzt.

Um das zu verhindern, erhitzt man in einem Wärmeaustauscher mit dem Wasser aus dem Reaktor anderes Wasser. Durch den Austauscher laufen sowohl das Wasser aus dem Reaktor als auch das für den Antrieb der Turbogeneratoren bestimmte. Jedoch fließen die beiden Arten von Wasser nicht zusammen, sondern durchströmen den Wärmeaustauscher in gesonderten Behältern. Das Heißwasser aus dem Reaktor umspült Röhren, in denen das Speisewasser der Turbinen fließt, das dadurch ebenfalls auf 280 Grad erhitzt wird. Da es nur unter 12 Atmosphären Druck steht, verwandelt es sich in heißen Dampf, der gegen die Turbinenschaufeln strömt. Die Turbine gerät dadurch in schnelle Umdrehung und treibt so den Generator, den Stromerzeuger, an. Hat der Dampf die Turbine durchlaufen, wird er abgekühlt, so daß er wieder zu Wasser kondensiert, und kommt erneut in den Wärmeaustauscher. So gibt es im Atomkraftwerk zwei getrennte Kreisläufe von Wasser, die sich nur

in einem Punkt, nämlich im Wärmeaustauscher, berühren. Das Wasser im Turbinenkreislauf wird dabei nicht oder in so unbedeutendem Maße radioaktiv, daß für das Bedienungspersonal keine Gefahr entsteht.

Fassen wir das Arbeitsschema eines Atomkraftwerkes noch einmal kurz zusammen: Im Kernreaktor findet eine Kettenreaktion von Atomkernspaltungen statt, die große Wärmemengen erzeugt. Diese Wärme wird auf Wasser übertragen, das unter hohem Druck den Reaktor durchläuft und anschließend in einen Wärmeaustauscher gelangt, wo es seine Wärme an einen zweiten Wasserkreislauf weitergibt. Erst das so erhitzte, unter geringerem Druck stehende und deshalb durch Sieden in heißen Dampf verwandelte Wasser treibt die Turbogeneratoren.

Was geschieht nun aber mit den Atomen des Urans 235, die sich gespalten haben? Sie sind in Atomkerne mittelschwerer Elemente wie Brom, Krypton, Jod, Xenon, Barium, Lanthan und andere zerfallen. Diese Spaltprodukte haben die unangenehme Eigenschaft, Neutronen zu absorbieren und hindern sie damit, weitere Uran-Kerne zu spalten. Sie wirken wie lästige Schlacken, die im Ofen den Verbrennungsprozeß hindern. Man sagt deshalb bildlich, der Reaktor „verschlackt“. Hinzu kommt noch, daß sich die vorhandene Menge der Atome Uran 235 infolge ihrer Auf-

spaltung immer mehr verringert. Deshalb müssen von Zeit zu Zeit die Schlacken entfernt und die verlorengegangene Menge der Atomkerne des Urans 235 wieder ergänzt werden.

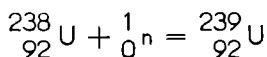
Zu diesem Zweck treten die beiden Kräne im Hauptsaal in Aktion. Sie ziehen die Kernbrennstoffstäbe aus dem Meiler heraus und senken neue hinein. Diesen Vorgang kann man nur durch dicke Bleiglasfenster beobachten. Denn ein Mensch darf sich dabei im Hauptsaal nicht aufhalten. Die in den Kernbrennstoffstäben entstandenen Spaltprodukte sind nämlich in höchstem Grade radioaktiv.

Durch Fernsteuerung betätigt, öffnen die Kräne im Hauptsaal die schweren Deckel, welche die zylindrischen Kanäle mit dem Kernbrennstoff verschließen. Dann greifen die Haken der Flaschenzüge die Kernbrennstoffstangen und ziehen sie aus dem Meiler. Neben dem Reaktor befinden sich lange Röhren, die von starken Strahlenschutzwänden umgeben sind. In sie werden die vorerst unbrauchbar gewordenen Uranstäbe versenkt. Durch dicke, strahlenundurchlässige „Korken“ werden diese Behälter wieder verschlossen, während neues Uran in den Reaktor eingeführt wird.

Erst wenn alles strahlende Material wieder hinter sicheren Schutzwänden verschwunden und die durch die stark strahlenden Stoffe zum Teil sogar radio-

aktiv gewordene Luft aus dem Hauptsaal abgesaugt und durch frische ersetzt ist, leuchten wieder die grünen Lampen auf. Das ist das Zeichen dafür, daß man den Raum jetzt wieder betreten darf. Die grünen Lampen sind mit Meßinstrumenten für radioaktive Strahlung, ähnlich den Geiger-Müller-Zählrohren, verbunden. Mißt das Instrument eine gewisse Höchstmenge radioaktiver Strahlen, so schaltet es automatisch eine rote Gefahrenlampe und Alarmglocken ein. Erst wenn der kritische Wert radioaktiver Strahlen in der Luft wieder unterschritten ist, schaltet das Instrument die grünen Lampen ein. Während die Uranstäbe ausgewechselt werden, ist der Meiler natürlich außer Betrieb.

In den „verbrannten“ Uranstäben sind aber nicht nur Spaltprodukte, deren Beseitigung Schwierigkeiten bereitet, sondern durch die intensive Neutronenstrahlung hat sich in den Stäben auch ein Stoff gebildet, der von höchstem Wert ist: neuer Kernbrennstoff! Um das zu verstehen, wollen wir uns daran erinnern, daß im Uran ein hoher Prozentsatz des Isotops U 238 enthalten ist. Es fängt ebenfalls Neutronen ein, spaltet sich aber nicht, sondern wandelt sich nach der Reaktionsgleichung



in das Uran-Isotop U 239. Dieses Isotop ist radioaktiv und wandelt sich durch zweimaligen Beta-Zerfall über das Element Neptunium in das Element Plutonium (${}_{94}^{239}\text{Pu}$) um. Das Plutonium 239 ist aber jener schon eingangs erwähnte künstlich erzeugte Stoff, der sich ebenso spalten läßt wie Uran 235.

Geradezu märchenhaft: Als „Nebenprodukt“ beim Verbrauch einer Brennstoffart entsteht eine neue gewissermaßen gratis. Ja, in dafür besonders konstruierten sogenannten „Brutreaktoren“ kann sogar mehr Plutonium erzeugt werden, als Uran 235 verbraucht wird! Man spricht hier von einer „Züchtung von Kernbrennstoff“.

Spaltstoff läßt sich aber auch noch auf andere Weise züchten.

Führt man statt des Urans 238 das Element Thorium in den Reaktor ein, dann wandelt es sich unter dem Neutronenbeschuß in das ebenfalls spaltbare Uran 233 um. So ist die Atomtechnik nicht nur auf das verhältnismäßig seltene Uran 235 angewiesen, sondern die in größeren Mengen vorhandenen Isotope Uran 238 und Thorium 232 können in spaltbares Material umgewandelt werden. Das enthebt die Menschheit — selbst unter der Voraussetzung, daß der Energiebedarf ständig rapide steigt — aller Sorgen um die Beschaffung ausreichender Rohstoffe zur Energieerzeugung.

Der Reaktor des Moskauer Atomkraftwerkes ist nicht der einzige mögliche Typ. Beim Bau von Atommeilern wird noch ausprobiert, welcher Reaktortyp für welche Zwecke am vorteilhaftesten ist. Schon heute sind mehrere Typen bekannt. In allen werden Atomkerne durch Neutronen auf dem Wege einer Kettenreaktion gespalten, aber in Einzelheiten unterscheiden sie sich. So gibt es Kochend-Wasser-Reaktoren, die ohne Wärmeaustauscher arbeiten. Durch den Reaktor und die Turbogeneratoren fließt dasselbe Wasser. Der Kernbrennstoff hat in diesem Reaktor nicht Stangenform, sondern ist zu dünnen Blechen ausgewalzt, die zwischen Aluminiumstreifen liegen. Man bezeichnet diese Methode der Wärmeabführung und -verwendung als direkte im Unterschied zur indirekten Methode, bei der ein Wärmeaustauscher zwischen-geschaltet wird.

Ferner unterscheidet man sogenannte inhomogene und homogene Reaktoren. Der Moskauer Reaktor ist ein inhomogener, weil Kernbrennstoff und Moderator getrennt angeordnet sind. Bei diesem Typ muß der Betrieb unterbrochen werden, wenn die radioaktiven Spaltprodukte entfernt und der Kernbrennstoff erneuert werden sollen. Beim homogenen Reaktor sind Kernbrennstoff und Moderator innig miteinander verbunden. So kann man beispielsweise Uransalze in Wasser lösen. Dieser Reaktor kann ununterbrochen

in Betrieb bleiben. Will man die Spaltprodukte entfernen, dann wird lediglich ein Teil der Uransalzlösung abgelassen und gleichzeitig eine gleiche Menge frischer Lösung nachgefüllt.

Weiter unterscheidet man einfache und Brut-Reaktoren. Die letzteren dienen dazu, nicht spaltbare Stoffe nach dem bereits besprochenen Prinzip in spaltbare umzuwandeln.

Auf der Internationalen Konferenz zur friedlichen Verwendung der Atomenergie vom 8. bis 20. August 1955 in Genf wurde bekanntgegeben, daß es bereits gelungen ist, in einem Brutreaktor für jeden gespaltenen Atomkern zwei andere Kerne eines zuvor nicht spaltbar gewesenen Stoffes in spaltbare Form umzuwandeln. Dieser Faktor ist einstweilen allerdings eine experimentelle Spitzenleistung, aber auch bei der großtechnisch betriebenen „Brut“ von Spaltstoffen ist immerhin mit einem Faktor von 1,5 bis 1,7 zu rechnen, so daß auf jeden Fall wesentlich mehr Kernbrennstoff erzeugt als verbraucht wird.

Die USA zeigten auf der Genfer Konferenz das Modell eines „Swimming Pool“ genannten Reaktortyps. Hier hängt der Kernbrennstoff in einer Art Fahrstuhlschacht und kann durch ihn in ein 6 Meter breites, 12 Meter langes und 6 Meter tiefes Bassin unter Wasser versenkt werden. Der ganze untere Teil des Reaktors steht also während des Betriebs unter Was-

ser. Wenn er arbeitet, leuchtet im Zentrum des Kernbrennstoffs ein gespenstisches blaues Licht. Als Kernbrennstoff dient Uran, worin das Isotop U 235 stark angereichert ist. Das gewöhnliche Wasser im Bassin ist gleichzeitig Moderator, Kühlmittel und zusammen mit der Betonwand des Bassins auch noch Strahlenschutz.

Allen bisher gebauten oder projektierten Atomkraftwerken ist gemeinsam, daß der Kernreaktor Wärme erzeugt, die dann wie in gewöhnlichen Kraftwerken in elektrischen Strom umgewandelt wird. Der Reaktor hat im Atomkraftwerk also dieselbe Funktion wie in gewöhnlichen Kraftwerken die Feuerungsanlagen. Das Arbeitsschema ist demnach Kernenergie — Wärme — Strom. Vielleicht wird man aber schon in naher Zukunft Möglichkeiten finden, den Umweg über die Wärme zu vermeiden und Atomenergie direkt in elektrischen Strom zu verwandeln. Theoretisch und experimentell besteht diese Möglichkeit schon heute, doch bleiben noch Methoden zu entwickeln, die eine rationelle Erzeugung großer Strommengen direkt aus Atomenergie ermöglichen.

Der Atommeiler dient nun nicht ausschließlich energie-technischen Zwecken, sondern ist noch in anderer Beziehung nützlich. Man kann im Kernreaktor gewissermaßen Atome „nach Bestellung anfertigen“. Durch Beschuß mit Neutronen lassen sich nämlich fast alle

Stoffe, die von Natur aus nicht radioaktiv sind, künstlich radioaktiv machen. Zu diesem Zweck sind in der Betonschutzwand viele regelmäßig angeordnete Löcher, die ins Innere des Reaktors führen. Leitet man durch sie chemische Elemente in den Meiler, so werden sie dort einem heftigen Neutronen-Beschuß ausgesetzt, wodurch sie sich in künstliche radioaktive Isotope, kurz Radioisotope genannt, verwandeln. Diese Stoffe sind für die technische, wissenschaftliche und medizinische Praxis sowie für die Forschung von größter Bedeutung.

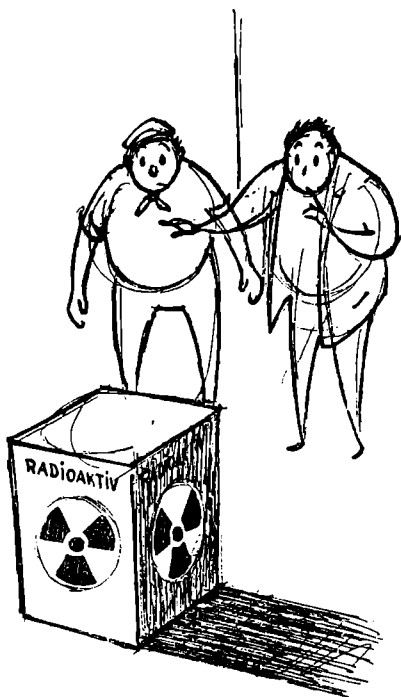
Im Atommeiler entstehen schließlich nicht nur künstliche Radioisotope natürlicher Elemente, sondern sogar neue künstliche Elemente, die schwerer als Uran sind, sogenannte Transurane. Zwei davon, das Neptunium und Plutonium mit den Kernladungszahlen 93 und 94 wurden schon erwähnt. Inzwischen sind aber bereits Elemente mit Kernladungszahlen bis zu 101 künstlich erzeugt worden. Das Element 101 wurde übrigens zu Ehren des großen russischen Chemikers Mendelejewium genannt. Die anderen Transurane mit den Kernladungszahlen 100—95 sind Fermium, Einsteinium, Californium, Berkelium, Curium, Americium — Elemente, die einstweilen aber nur von theoretischem Interesse sind.

Atom-Cocktail gefällig?

Atome liefern nicht nur Energie in gigantischem Ausmaß, sondern sie geben uns auch Möglichkeiten, von denen Techniker, Chemiker, Landwirtschaftswissenschaftler, Biologen und Ärzte bisher nur träumen konnten. Radioaktive Atome helfen uns, die Rätsel der Natur zu lösen und die komplizierte Struktur der Materie in allen Einzelheiten zu erforschen.

Jeder Forscher muß lernen, mit radioaktiven Stoffen umzugehen und sie richtig anzuwenden. Es wird bald kein naturwissenschaftliches Institut mehr geben, in dem nicht radioaktive Isotope zu Forschungszwecken verwendet werden. Schon heute leisten Radioisotope in vielen Laboratorien der Welt unschätzbare Dienste.

In Laboratorien und Instituten, in denen chemische, physikalische, technische, biologische oder medizinische Probleme untersucht werden, treffen mehrmals wöchentlich per Flugzeug oder per D-Zug sorgsam verpackte Behälter ein: Kleine und große Bleikessel, stabile 50 Kilogramm-Kisten und Dosen, die wie Konservenbüchsen aussehen. Sie werden sofort aufgemacht. Die Kisten sind die reinsten Scherzpakete: Zuerst Holzwolle, nichts als Holzwolle. Dann müssen schwere, übereinandergeschichtete Bleibarren, dann wieder Berge von Holzwolle entfernt werden, ehe



Ein feuerrotes Klebblatt
kennzeichnet radioaktive
Stoffe

schließlich ein winziges, in dicke Wattelagen eingebettetes Glasröhrchen zum Vorschein kommt. Irgendeine unscheinbare Substanz ist darin. Niemand kann ihr ansehen, was für einen großen Wert und

welche vielfältigen, zum Teil sehr gefährlichen Eigenschaften sie besitzt.

Auf der Glasröhre ist — ebenso wie außen auf der Kiste — ein großes, feuerrotes, einem dreiblättrigen Kleeblatt ähnliches Zeichen, dessen Bedeutung jeder Eingeweihte kennt: Achtung! Radioaktive Stoffe! Lebensgefahr! Und daneben stehen Buchstaben und Zahlen, die genau angeben, um welche Stoffe es sich handelt, welcher Art und wie stark ihre Strahlung ist. Außerdem überprüfen die Wissenschaftler mit Geiger-Zählrohren ständig die Intensität der Strahlung, die den Behältern entweicht, um sich vor eventuell zu intensiven Strahlen zu schützen.

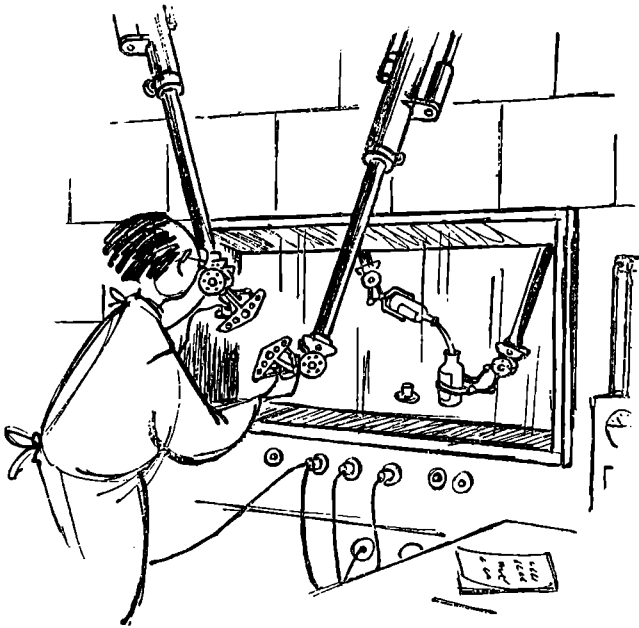
Achtung! Lebensgefahr! Jeder, der mit radioaktiven Stoffen umgeht, muß um die schädliche Wirkung ihrer Strahlen wissen. Bei zu großer Intensität oder zu langer Einwirkungszeit lösen sie im menschlichen Organismus eine Reihe chemischer Prozesse aus, bei denen das Gewebe angegriffen und sogar zerstört werden kann. Ausreichende Schutzvorrichtungen sind deshalb Voraussetzung für die Arbeit mit radioaktiven Isotopen.

Seit der Entdeckung der Radioaktivität Ende des vorigen Jahrhunderts sind durch genaues Studium der Strahlungseinflüsse auf den menschlichen Körper viele Schutzvorschriften erarbeitet worden. Heute weiß man, welche Dosis radioaktiver Strahlen der

Mensch ohne Schaden vertragen kann. Diese Dosis richtet sich nach Art, Intensität und Zeitdauer der Strahleneinwirkung. Je geringer die Strahlungsintensität, desto länger darf der Körper den Strahlen ausgesetzt werden und umgekehrt. Dementsprechend gibt es für jedes radioaktive Isotop genaue Bestimmungen, wie lange man täglich damit arbeiten darf.

In Laboratorien, in denen die aus dem Atommeiler gewonnenen Isotope umgefüllt und versandfertig gemacht werden, und in Instituten, die mit hochradioaktiven Substanzen Forschungsarbeit betreiben, bestehen außerdem eine Reihe weiterer Schutzvorschriften. Wichtig ist genügend großer Abstand von der Strahlenquelle. Wer mit einem Isotop von der Strahlungsintensität eines tausendstel Gramms Radium arbeitet, muß dreißig Zentimeter Mindestabstand von dem strahlenden Material halten. Kuriose Geräte wurden konstruiert, um das gefahrlose Arbeiten mit Radioisotopen zu ermöglichen: an langen Hebeln befestigte Halter, mechanische und elektromagnetische Greifer, komplizierte Zangen und „mechanische Hände“, die ferngesteuert werden und mit denen man jede Arbeit machen kann, auch die Flaschen mit Radio-Isotopen anheben, abfüllen, umfüllen und absetzen.

Dicke Mauern schützen das Personal der Institute vor der schädigenden Wirkung, denn wenn radio-



Mechanische Hände dirigieren den gefährlichen Stoff

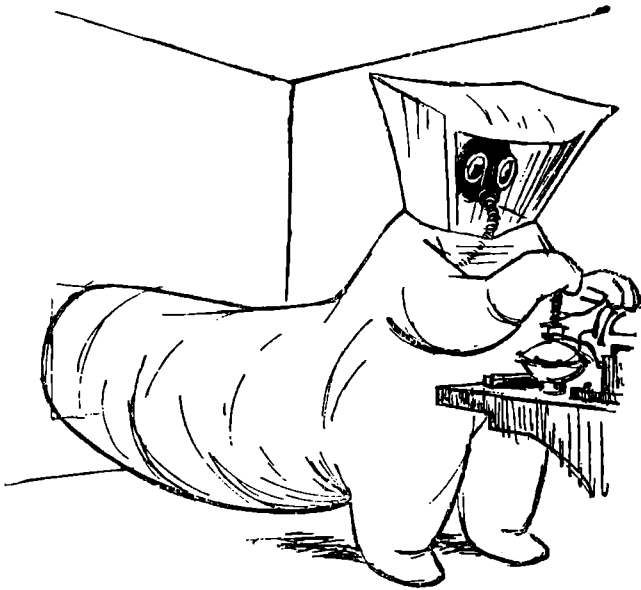
aktive Strahlen einen Stoff durchdringen, so werden sie dabei abgeschwächt — allerdings nicht alle Strahlenarten in gleichem Maße. So genügen schon dünne Gummihandschuhe als Schutz gegen Alpha-Strahlen. Um sich gegen Beta-Strahlen zu schützen, sind mindestens drei bis fünf Millimeter starke Kunstharz-, Glas- oder Aluminiumplatten erforderlich, und

um vor den besonders harten, das heißt durchdringenden Gamma-Strahlen geschützt zu sein, bedarf es Schwermetall-, Beton- oder Ziegelsteinwände von einer Stärke, die der Intensität der Strahlung entspricht.

Grundsätzlich darf mit radioaktiven Stoffen nur in besonders dafür ausgerüsteten Laboratorien gearbeitet werden. Diese Räume dürfen nur Wissenschaftler und Techniker betreten, die für den Umgang mit Radioisotopen geschult sind. Alle Arbeitsräume müssen besondere Sicherheitseinrichtungen, Absaugventilationen, Frischluftzufuhr und Abzugsschränke haben. Wände und Decken müssen entweder gekachelt oder zumindest mit Ölfarbe gestrichen sein, damit sie sich leicht von Staub und Schmutz reinigen lassen.

Die Laboratoriumsräume haben Spezialeinrichtungen, zum Beispiel Ausgußbecken mit Ellenbogen- oder Fußhebeln zum Öffnen der Hähne und besondere Schutzkästen aus Blei, in denen alle Abfälle, die radioaktive Stoffe enthalten, gesammelt und aufbewahrt werden können, bis ihre Aktivität unter die Grenze der höchstzulässigen Konzentration gesunken ist. Radioaktive Flüssigkeiten müssen, bevor man sie weggießen darf, erst so lange verdünnt werden, bis ihre Strahlungsintensität ungefährlich geworden ist.

Die Laboratoriumsräume werden täglich gesäubert, und wenigstens einmal monatlich wird das gesamte Inventar einschließlich der Möbel und sonstigen Einrichtungsgegenstände einer Generalreinigung unterzogen. Jede direkte Berührung mit radioaktiven Stoffen ist zu vermeiden, weil sich sonst strahlendes Material in Hautfalten oder an der Kleidung festsetzen könnte und unkontrolliert auf den Körper einwirkt. Kittel und Gummihandschuhe müssen unbedingt getragen werden. Außerdem müssen die



Ein eigenartiger Schutzanzug, das Tunnelschwanz-Atomkostüm

Hände oft und sorgfältig mit warmem Wasser und Seife gewaschen und die Kleidung mehrmals täglich mit Geiger-Zählrohren kontrolliert werden, ob sie auch wirklich frei von allen radioaktiven Stoffen geblieben sind. Selbstverständlich ist es streng verboten, in den Räumen, in denen mit radioaktiven Stoffen gearbeitet wird, Nahrungsmittel aufzubewahren oder zu verzehren. Auch das Rauchen ist untersagt. Alle Personen, die mit radioaktiven Stoffen umgehen, haben sich regelmäßig ärztlich untersuchen zu lassen, wobei besonders die Beschaffenheit des Blutes kontrolliert wird, weil die blutbildenden Organe des menschlichen Körpers sehr anfällig gegen radioaktive Strahlen sind.

Gewiß wird sich mancher fragen, ob die Arbeit mit Radioisotopen überhaupt lohnt, wenn sie so komplizierte Schutzmaßnahmen erfordert. Es gibt keinen Zweifel: Die radioaktiven Stoffe sind von so großem Wert, daß sich die Umstände lohnen! Viele Wissenschaftler sind der Meinung, daß radioaktive Isotope für die Forschung keine geringere Bedeutung haben als zum Beispiel das Mikroskop, ja dieses einmal sogar an Bedeutung übertreffen werden.

Wie bereits beschrieben, gibt es von einigen wenigen chemischen Elementen Isotope, die schon von Natur aus radioaktiv sind, zum Beispiel vom Uran. Die meisten Elemente senden keine Strahlen

aus. Die von ihnen existierenden Isotope sind also stabil, das heißt, sie unterliegen keinem radioaktiven Zerfall. Aus solchen stabilen Isotopen der Elemente besteht der weitaus größte Teil der belebten und unbelebten Materie auf unserer Erde.

Frédéric Joliot-Curie gelang es jedoch im Jahre 1934, durch Bestrahlung mit Alpha-Teilchen einige von Natur aus stabile Stoffe künstlich radioaktiv zu machen. Später wurde es durch die Benutzung von Teilchenbeschleunigern möglich, eine ganze Reihe künstlicher radioaktiver Isotope, darunter radioaktives Aluminium, Jod und Phosphor, herzustellen. Sie unterscheiden sich von ihren „normalen Schwestern“, den stabilen Aluminium-, Jod- oder Phosphor-Isotopen nur durch andere Atomgewichte und dadurch, daß sie Strahlen aussenden. Solche künstlich radioaktiv gemachten Stoffe, die Radio-Isotope, sind nun die neuen großen und bedeutungsvollen Helfer der modernen Wissenschaft und Forschung.

Heute werden allerdings die meisten radioaktiven Isotope nicht mehr mit Hilfe von Teilchenbeschleunigern hergestellt, sondern man gewinnt sie, wie schon erwähnt, viel leichter und billiger im Atommeiler. Wenn man durch eigens dafür belassene Löcher in den Uran-Reaktor gewöhnliche chemische Elemente einführt, also stabile Isotope von Kohlenstoff, Natrium, Eisen, Bor, Phosphor, Jod und

Schwefel, so wird die Atomstruktur dieser Stoffe durch die im Reaktor umherfliegenden Neutronen und anderen Strahlen verändert. Es kann zum Beispiel geschehen, daß die Atomkerne der in den Reaktor eingeführten Stoffe sich ein Neutron einfangen. Dadurch verwandeln sie sich in ein anderes Isotop des Elements. Es ist sogar möglich, daß sich die Atomkerne der eingeführten Elemente in Kerne anderer Elemente verwandeln.

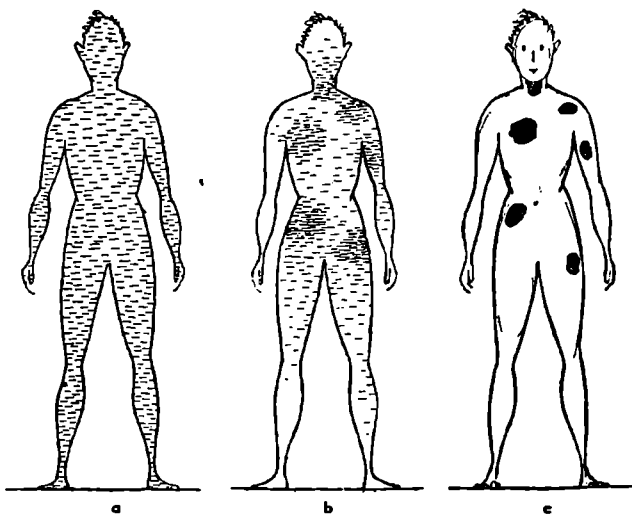
Heute werden in den Atom-Reaktoren systematisch die verschiedensten radioaktiven Stoffe „gezüchtet“, und es ist gelungen, von fast allen Elementen des Periodischen Systems künstliche radioaktive Isotope herzustellen.

Gegenwärtig sind bereits weit über 800 verschiedene Radio-Isotope bekannt. Ihr Wert für die wissenschaftliche Forschung und Praxis beruht im wesentlichen auf drei Eigenschaften. Einmal machen sich radioaktive Isotope überall durch ihre Strahlung bemerkbar. Wie wir bereits wissen, kann man mit dem Geiger-Müller-Zählrohr jede noch so geringe radioaktive Strahlung feststellen. Die Atome radioaktiver Stoffe wirken wie winzige Sender, die durch „Funksprüche“ ständig melden, wo sie sich gerade aufhalten und in welcher Menge. Die zweite Eigenschaft ist, daß man sie mit gewöhnlichen, nicht radioaktiven Stoffen innig vermischen kann. Die radioaktiven

Atome begleiten also ihre inaktiven Schwestern auf allen ihren Wegen. Deshalb kann man vom Vorhandensein der radioaktiven Atome, das mit dem Geiger-Müller-Zählrohr feststellbar ist, zugleich auch auf die Anwesenheit des nicht radioaktiven Stoffes schließen, mit dem sie vermischt wurden. Radioaktive Isotope lassen sich also mit den stabilen Isotopen der betreffenden Elemente beliebig „verdünnen“, oder anders ausgedrückt: Man kann nichtradioaktive Stoffe „markieren“, wenn man radioaktive Atome hinzufügt. Die dritte wertvolle Eigenschaft radioaktiver Isotope ist, daß man sie genauso verwenden kann wie die nichtradioaktiven Isotope desselben Elements. Radioaktive und nichtradioaktive Isotope eines Elements verhalten sich — abgesehen von der Strahlung — chemisch völlig gleich, sie gehen also beide dieselben chemischen Verbindungen ein, werden von pflanzlichen, tierischen und menschlichen Organismen auch ganz genauso wie nichtradioaktive Isotope mit der Nahrung aufgenommen und innerlich verarbeitet.

Welche praktische Bedeutung diese Eigenschaften für die wissenschaftliche Forschung haben, soll folgendes Beispiel veranschaulichen: Der menschliche Körper nimmt neben vielen anderen Elementen mit der Nahrung auch eine bestimmte Menge Phosphor auf, und zwar normalerweise ein stabiles, nicht strahlendes

Isotop dieses Elements, den Phosphor P 31. Bisher war nicht genau bekannt, welchen Weg der Phosphor im menschlichen Körper einschlägt, wie er sich verteilt, wie er verarbeitet wird, wie lange er im Körper verbleibt und wie er ihn schließlich wieder verläßt. Mit Hilfe radioaktiver Isotope ist die Erforschung solcher Fragen leicht möglich. Dazu braucht man nur eine geringe Menge des radioaktiven Phosphor-Isotops



Erkennung von Krebsherden durch radioaktives Jod. Zunächst (a) ist das Radiojod gleichmäßig im ganzen Körper verteilt. Nach vier Tagen (b) hat es sich in den Krebsherden konzentriert, wodurch deren Sitz (c) erkennbar wird

P 32 mit der menschlichen Nahrung zu vermischen. Der Körper nimmt gewöhnlichen radioaktiven Phosphor in gleicher Weise auf und verarbeitet ihn auch ohne Unterschied. Der radioaktive Phosphor aber sendet ununterbrochen Strahlen aus. Der Wissenschaftler kann also mit dem Geiger-Müller-Zählrohr den menschlichen Körper „abtasten“ und den Weg des radioaktiven Phosphors durch den Organismus genau verfolgen. Und da er mit dem gewöhnlichen Phosphor innig vermischt ist, weiß man dadurch zugleich auch dessen Weg und Verbleib im Körper.

Radio-Isotope dienen Biologen und Medizinern also als „Detektive“ bei der Erforschung der physiologischen und chemischen Vorgänge im lebenden Organismus. Aber nicht nur der biologischen und medizinischen Forschung sind radioaktive Isotope nützlich, sondern auch bei der Erkennung (Diagnostik) und Heilbehandlung (Therapie) von Krankheiten, also der praktisch angewandten Medizin. Eine besondere Rolle spielen sie schon heute in vielen Ländern bei der Bekämpfung von Krebs.

Ein diagnostischer Idealfall liegt beim Schilddrüsenkrebs vor. Bei dieser Krankheit bilden sich, außer in der Schilddrüse selbst, auch an den verschiedensten Stellen im Körper Krebsbildungen, Metastasen genannt. Kein Arzt konnte bisher feststellen, ob und

wo sich im Körper eines an Schilddrüsenkrebs Erkrankten eventuell Tochterkrebsherde gebildet haben, so daß eine erfolgreiche Behandlung kaum möglich war. Durch die Anwendung eines radioaktiven Jod-Isotops ist es aber verhältnismäßig leicht, den Sitz eventueller Tochterkolonien festzustellen. Dazu wird in eine Vene des Erkrankten eine Lösung gespritzt, die eine bestimmte Menge des Isotops Jod 131 enthält. Daraufhin kann mit dem Geiger-Zähler nachgewiesen werden, daß dieses radioaktive Jod mit dem Blut durch den gesamten Körper kreist. Überall, in jedem kleinsten Äderchen, sind radioaktive Jod-Atome. Da die Schilddrüse jedoch Jod zum Aufbau eines Hormons, des Thyroxins, benötigt, sammelt sich bald ein großer Teil des Jods im Schilddrüsengewebe, was man mit Hilfe entsprechender Spezialgeräte leicht erkennen kann.

Das radioaktive Jod sammelt sich aber nicht nur in der Schilddrüse selbst, sondern auch in den Geschwulstzellen eventueller Tochterkolonien an anderen Stellen des Körpers. Diese speichern ebenfalls Jod, weil die entarteten Zellen der Metastasen mit dem kranken Muttergewebe der Schilddrüse verwandt sind. Die Jodansammlungen senden verstärkte Strahlen aus und verraten dem Arzt die genaue Lage der Krebsherde im Körper. Damit besteht heute die Möglichkeit, den Krebsbefall des Organismus bis in Einzelheiten

zu erkennen und mit der gezielten Behandlung bereits in einem Stadium zu beginnen, in dem sie noch genügend Aussicht auf Erfolg hat.

Jod 131 gestattet neben der geschilderten Feststellung von Krebsgeschwülsten auch eine genaue Funktionsprüfung der Schilddrüse. Aus dem Tempo, mit dem die Schilddrüse Jod aufnimmt, kann man wichtige Schlüsse auf den Zustand des Organs ziehen. Der Patient bekommt ein Glas Wasser mit einer geringen Menge radioaktiven Jods zu trinken. Danach wird mit einem Geiger-Zähler, der mit einer Spezialapparatur verbunden ist, die Geschwindigkeit der Jodaufnahme durch die Schilddrüse in einer Kurve genau aufgezeichnet. Eine steile Kurve zeugt von gesteigerter, eine flache von zu schwacher Tätigkeit des Organs.

Über diese beiden Beispiele hinaus gibt es viele andere Möglichkeiten, radioaktive Isotope für die medizinische Diagnostik anzuwenden. So werden die Feststellung von Gehirntumoren, die genaue Untersuchung von Kreislaufstörungen, die Erforschung der Herztätigkeit und die Funktionsprüfung anderer innerer Organe durch radioaktive Isotope wesentlich erleichtert.

Nachdem wir erfahren haben, wie gefährlich radioaktive Strahlen für den menschlichen Organismus sind, wird nun vielen nicht recht einleuchten, daß

es möglich sein soll, einem Menschen radioaktives Jod in die Blutbahn zu spritzen oder es ihm sozusagen als „Atom-Cocktail“ gläserweise bei der ärztlichen Morgenvisite zu verabreichen. Dazu ist zweierlei zu sagen: Erstens werden die radioaktiven Substanzen so stark verdünnt, daß sie ungefährlich sind. Die Schädlichkeit oder Unschädlichkeit hängt ja von der Menge der einwirkenden Strahlen ab! „Kenner“ von Atom-Cocktail, den sie zur Prüfung ihrer Schilddrüsenfunktion schlucken mußten, meinten: „Das Zeug schmeckt wie Wasser!“ Und damit haben sie recht, denn ein Atom-Cocktail besteht tatsächlich so gut wie aus reinem Wasser. Die radioaktive Jod-Beimengung ist so minimal, daß sie der Patient überhaupt nicht spüren kann. Genauso verhält es sich mit allen anderen, auch den in die Vene zu spritzenden Radio-Isotopen für diagnostische Zwecke.

Eine zweite Garantie für die Unschädlichkeit der angewandten radioaktiven Substanzen bietet überdies ihre Halbwertszeit, die bei den in der medizinischen Diagnostik verwendeten Radio-Isotopen sehr kurz ist. Es gibt radioaktive Isotope, die schon nach Stunden, ja sogar nach Minuten ihre Strahlungsfähigkeit verlieren. Solche Isotope kann man freilich nur in Kliniken anwenden, die sich in der Nähe des Atommeilers befinden, denn sonst würden

sie schon während des Transports ihre Radioaktivität einbüßen.

Radio-Isotope ermöglichen auch ganz neuartige Methoden der Heilbehandlung. Von der heilenden Wirkung einiger radioaktiver Stoffe weiß man bereits seit geraumer Zeit. So war in den dreißiger Jahren dieses Jahrhunderts besonders Radium ein sehr begehrtes Heilmittel, das vornehmlich zur Bekämpfung bösartiger Geschwülste, also Krebs, verwendet wurde. Erstens aber ist Radium unerschwinglich teuer, und zweitens hat es noch einige andere bedeutende Nachteile, die es nur für ganz bestimmte, wenige Zwecke als Heilmittel geeignet machen. Dagegen bieten die künstlichen Radio-Isotope vielerlei Vorteile. Vor allem sind sie billig! Ein Gramm radioaktives Kobalt ($\text{Co } 60$), das ganz ähnlich wie Radium verwendet werden kann, kostet nur etwa den zehntausendsten Teil der gleichen Menge Radium.

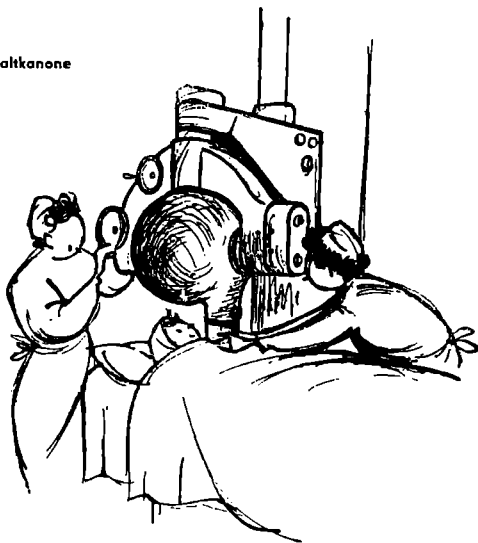
So zerstörend die Strahlen auf gesunde Gewebezellen des menschlichen Organismus wirken, so können sie andererseits unter Umständen einem Menschen das Leben retten! Denn so wie gesunde Gewebezellen durch radioaktive Strahlen zerstört werden können, ist es auch möglich, mit ihrer Hilfe die wild wuchernden Zellen von Krebsgeschwülsten zu vernichten. Für die Behandlung von Krebs mit

radioaktiven Stoffen gibt es verschiedene Möglichkeiten; die bekanntesten sind Bestrahlungen, Trink- oder Inhalationskuren und Packungen.

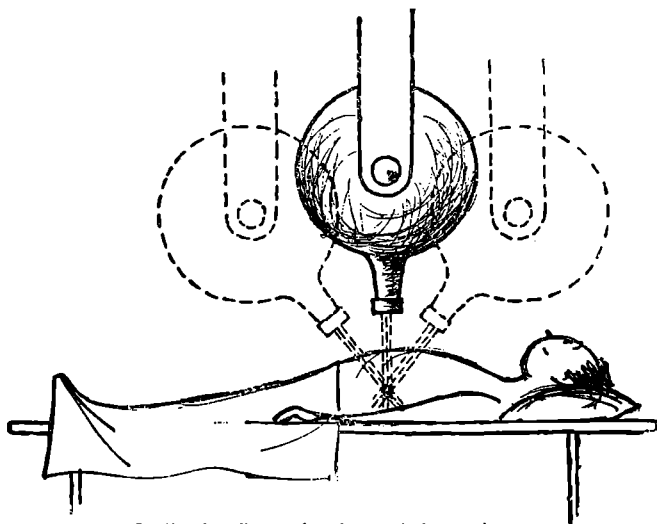
Für Bestrahlungen eignet sich das bereits erwähnte Kobalt 60 besonders gut, das auch auf verschiedenen Gebieten der Technik und in der industriellen Produktion eine wichtige Rolle spielt. Radioaktives Kobalt hat eine äußerst harte, der Röntgenstrahlung sehr ähnliche Gammastrahlung von großer Energie. Es gibt auf der ganzen Welt nur wenige Groß-Röntgengeräte, deren Energie auch nur annähernd an die des künstlichen Kobalt-Isotops heranreicht. In sowjetischen Geschwulst-Kliniken werden Bestrahlungsanlagen — sogenannte „Kobalt-Kanonen“ — eingesetzt. Sie enthalten eine Kobaltladung, deren Strahlungsstärke etwa der von vierhundert Gramm Radium entspricht. Um sich einen Begriff davon machen zu können, was das bedeutet, muß man wissen, daß vor dem zweiten Weltkrieg die größte Gammastrahlen-Anlage für medizinische Zwecke nur zwölf Gramm Radium enthielt.

Kobalt-Kanonen sind Geräte mit dicken Bleiwänden, die den bekannten Röntgenanlagen ähneln. Ihr wichtigster Teil ist eine große, zwölf Zentner schwere Bleikugel, die das radioaktive Kobalt enthält. Durch eine kleine, rüsselartige Öffnung ist es möglich, die Kobalt-Strahlen genau auf den Krebs-

Kobaltkanone



herd zu richten. Um Krebsherde auch tief im Körper erfolgreich behandeln zu können, ist die Kobalt-Quelle schwenkbar aufgehängt, damit man das erkrankte Gewebe von allen Seiten bestrahlen kann. Das hat den Vorteil, daß dabei das gesunde Gewebe den Strahlen nicht zu stark ausgesetzt wird. Vereinfacht dargestellt, ist die Wirkung radioaktiver Strahlen auf Krebsgeschwülste etwa folgende: Sobald der Arzt die Kobalt-Kanone eingeschaltet hat,



Die Kobaltquelle ist schwenkbar aufgehängt, damit das erkrankte Gewebe von allen Seiten bestrahlt werden kann

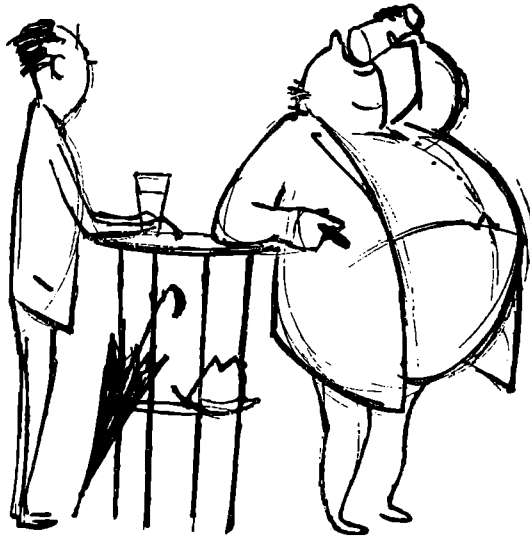
bombardieren unzählige energiereiche Strahlen den Krebsherd. Sie durchdringen die kranken Zellen, bringen ihren Lebensrhythmus durcheinander und verhindern dadurch ihr weiteres Wachstum. Allerdings greifen die Strahlen auf ihrem Weg durch den menschlichen Körper auch gesunde Zellen etwas an, was in manchen Fällen zu einer Rötung der Haut an den bestrahlten Stellen führt. Die so „erkrankten“ Zellen erholen sich aber glücklicherweise wesentlich schneller als die Krebszellen, und bei wiederholter Bestrahlung schrumpft die Krebsgeschwulst ein. Die Ärzte sagen, der Krebs sei damit

„unter Kontrolle“ gebracht. Die Kobalt-Strahlen wirken trotz ihrer großen Energie auf das gesunde Gewebe milder als Röntgen- und Radiumstrahlen. Neben der Fernbestrahlung eignet sich radioaktives Kobalt auch zur Kontaktbestrahlung. Dabei wird die strahlende Substanz in möglichst enge und direkte Berührung mit dem Krankheitsherd gebracht. So kann man Krebsgeschwülste mit „Kobalt-Nadeln“ regelrecht spicken oder „Kobalt-Perlen“ in erkrankte Hohlgänge einlegen. Zur Behandlung von bestimmten Hautkrebsen kann eine plastische Masse benutzt werden, die Kobalt-Pulver in ganz feiner Verteilung enthält. Diese Masse wird unmittelbar auf die Haut gelegt und paßt sich dabei der Körperform ideal an, so daß überall direkter Kontakt zwischen der Geschwulst und der strahlenden Substanz besteht. Sind Radio-Isotope auch kein Allheilmittel gegen Krebs, so werden die Aussichten auf Heilung durch diese neuartigen Hilfsmittel der Medizin doch viel größer!

Schon die wenigen Beispiele deuten an, wie vielseitig radioaktive Isotope allein in der Medizin verwendet werden können. In Zukunft werden sich gewiß noch weitere Aussichten eröffnen. Wichtige Unterstützung wird auch die biochemische Wissenschaft zu leisten haben, die sich ebenfalls für viele Zwecke radioaktiver Isotope bedienen kann.

Der Biochemiker hat die Aufgabe, die physiologisch-chemischen Vorgänge zu erforschen, die sich im Inneren lebender Organismen abspielen, wozu unter anderem die Assimilation, die Verwertung der Nahrungsstoffe und andere physiologische Funktionen gehören. Durch Anwendung radioaktiver Isotope wurde bereits die Zusammensetzung wichtiger Bestandteile des Organismus geklärt, wie die der Eiweißstoffe, Fette und Fermente. Es wurde möglich, das Schicksal eines Moleküls auf dem gesamten Weg seiner zahlreichen Umwandlungen im Prozeß des Stoffwechsels zu verfolgen. So kann man zum Beispiel mit radioaktivem Kohlenstoff genau feststellen, wo das Fett aus der Sahnentorte bleibt, das einer Dame die schlanke Linie verdirbt, oder welchen Weg der Kohlenstoff aus einer Boulette oder einer Schrippe über alle möglichen Stationen im menschlichen Körper bis in die äußerste Spitze eines Kopfhaares nimmt. Mit radioaktiven Isotopen kann man auch die Wirkung eines Düngemittels auf bestimmte Pflanzen genau untersuchen.

Die Anwendung radioaktiver Isotope in der Biochemie hat in vielen Fällen geholfen, alte, falsche Vorstellungen zu überwinden. So wurde bis vor kurzem noch angenommen, daß die Fettreserve eines Menschen aus dem Stoffwechselprozeß ausgeschlossen sei, chemisch unbeweglich ruhe und nur in etwaigen



Das Bierbauchfett erneuert sich etwa innerhalb einer Woche zur Hälfte

Hungerperioden wieder in den Stoffwechsel mit einbezogen werde. Mit Radio-Isotopen wurde jedoch nachgewiesen, daß sich in den Körpern höher entwickelter Lebewesen alle Stoffe, die am Aufbau der Gewebe und Organe beteiligt sind, ununterbrochen und verhältnismäßig schnell erneuern. Das geht so schnell, daß an einem einzigen Tage die Hälfte aller Leberfette aufgespalten und die gleiche Menge erneut synthetisiert ist. Das „Bierbauchfett“, das sogenannte Depotfett, erneuert sich etwa innerhalb einer Woche zur Hälfte.

Wesentliche Fortschritte wurden mit Hilfe radioaktiver Isotope auch bei der Enträtselung der Photosynthese erzielt, jenes wichtigen Prozesses in grünen Pflanzen, durch den sie in der Lage sind, die Energie der Sonnenstrahlen in Vorräte chemischer Energie umzuwandeln. Durch die Erforschung der Photosynthese hoffen die Wissenschaftler, das größte Geheimnis der Natur ergründen zu können — die Verwandlung von Stoffen der unbelebten Natur in Stoffe lebender Organismen. In über hundert Jahren Forschung ohne Radio-Isotope wurden über das besonders komplizierte Problem der Fotosynthese weniger Erkenntnisse gewonnen als in einigen Jahren Forschungsarbeit mit radioaktiven Isotopen. Die Anwendung strahlender Atome hat bereits wesent-

Die Kartoffeln werden nur
in einen tiefen „künstlichen
Schlaf“ versetzt



liche Teilvorgänge im Inneren der Pflanze erkennbar gemacht, die mit den gewöhnlichen, klassischen Untersuchungsmethoden niemals hätten ergründet werden können, und es ist zu erwarten, daß in Zukunft mit Hilfe der Radio-Isotope weitere wichtige Ergebnisse zu erzielen sind, die uns einmal befähigen werden, die Fotosynthese von Kohlehydraten aus Luft, Wasser und Sonnenlichtenergie künstlich zu vollziehen.

Radioaktive Isotope dienen ferner der Chemie und Physik bei der Untersuchung der Wege und Wanderungsgeschwindigkeiten von Elementen und chemischen Verbindungen bei den verschiedenen chemischen und physikalischen Prozessen. Radioaktive Isotope finden in der Industrie zwei hauptsächliche Verwendungsmöglichkeiten. Einmal kann die Durchdringungskraft von stark strahlenden Isotopen zur Kontrolle vieler Produktionsprozesse und zur Automatisierung der Industrie ausgenutzt werden, und zum anderen sind sie als „markierte“ strahlende Atome bei der Untersuchung komplizierter chemischer Vorgänge, bei der Durchführung feinsten Analysen und bei komplizierten Untersuchungen ähnlich wie in der Medizin und Biochemie verwendbar.

In vielen Ländern werden radioaktive Isotope bereits seit geraumer Zeit zum Durchleuchten von Schweiß-

nähten und Gußstücken angewendet. Bisher wurden für diese Zwecke meist Röntgen-Anlagen eingesetzt, die jedoch den Nachteil haben, daß sie wegen ihrer Unhandlichkeit oft nur schwer an die zu untersuchenden Stellen herangebracht werden können. Wie will man zum Beispiel die Schweißnähte eines Schiffskörpers mit einem riesigen Röntgengerät kontrollieren?

Radioaktives Thulium, das harte, der Röntgenstrahlung ähnliche Gamma-Strahlen aussendet, hat nun den Bau eines kleinen, leicht transportierbaren Apparates ermöglicht, mit dem überall, ohne elektrische Stromquelle, exakte Röntgenaufnahmen gemacht werden können. Die Leistungen dieses Gerätes, das äußerlich einer Grubenlampe ähnelt, entspricht der eines Röntgengerätes mit hunderttausend Volt Spannung. Dabei kostet es nur einen Bruchteil einer modernen Röntgenanlage. Es wird, weil es auch an jedem Krankenbett und an jeder Unfallstelle eingesetzt werden kann, auch in der Medizin verwendet.

Neuerdings gibt es Geräte, die als strahlende Substanz Kobalt 60 verwenden. Mit ihnen ist es möglich, Metallerzeugnisse in gegossener und geschweißter Ausführung bis zu einer Stärke von dreihundert Millimetern auf etwaige in den Werkstücken enthaltene Materialfehler zu kontrollieren.

Warum kann man radioaktive Strahlen für die Materialkontrolle verwenden? Dadurch, daß sie an Energie verlieren, wenn sie einen Körper durchdringen, ist es einmal möglich, aus dem Grade der Energieeinbuße die Stärke eines von Strahlen durchdrungenen Körpers zu messen. Eine solche Stärkemessung von Materialien kann während des industriellen Fertigungsprozesses vorgenommen werden, ohne daß es nötig ist, die Produktion zu unterbrechen. Mit Hilfe spezieller Geräte ist zum Beispiel die vollautomatische Einstellung von Walzwerken möglich, wozu die automatische Regulierung des Abstandes zwischen den Walzen gehört, so daß Bänder oder Bleche von genau gleicher Dicke das Walzwerk verlassen. Fehler im Material markieren sich deutlich auf der „Röntgenaufnahme“: Die Schwärzung der fotografischen Schicht weicht vom Normalen ab.

Techniker der ganzen Welt bemühen sich schon lange, die Abnutzung von Maschinenteilen genau zu untersuchen, um die geeignetesten Materialien und Bedingungen zur Verringerung der Abnutzung zu finden. Bisher mußten die Maschinen angehalten und auseinandergenommen werden, erst dann konnte man Messungen vornehmen. Durch Radio-Isotope ist die Untersuchung wesentlich leichter geworden. Will man zum Beispiel die Abnutzung einer Welle kontrollieren, so braucht man nur auf ihrer Oberfläche

eine bestimmte Menge radioaktiven Metalls anzubringen. Wenn man dann nach einiger Zeit feststellt, wieviel radioaktive Teilchen sich im Lagerfett befinden, kann man daraus den Abnutzungsgrad der Welle noch viel genauer als nach den bisherigen Methoden bestimmen, noch dazu ohne die Maschine angehalten oder gar auseinandergenommen zu haben.

Auf ähnliche Weise ist auch der Verschleiß von Autoreifen oder Bremsbelägen verhältnismäßig leicht und dabei sehr genau zu untersuchen.

Radio-Isotope haben auch ein altes Problem bei der Beförderung von Öl durch ein Fernleitungsnetz gelöst. Wollte man nacheinander verschiedene Ölsorten, etwa Petroleum und Benzin, durch ein und dieselbe Leitung pumpen, so bestand stets die Gefahr, daß man am Ankunftsort des Öls nicht rechtzeitig umschaltete, so daß die beiden Ölsorten in einen Behälter flossen und sich vermischten. Wenn man aber zwischen beide als signalisierende Trennschicht einige Liter radioaktiven Öls in die Leitung bringt, meldet der Geiger-Zähler sofort, daß jetzt die eine Ölart ausgelaufen ist und die nächste folgt. Der Geiger-Zähler kann sogar automatisch eine Vorrichtung auslösen, die den Ölfluß umschaltet, so daß verschiedene Sorten unvermischt in gesonderte Behälter gelangen.

Ungezählte Anwendungsmöglichkeiten gibt es für die radioaktiven Isotope in der Industrie. Sie sind wie magische Augen, die den Ablauf vieler chemischer und physikalischer Prozesse sichtbar machen, über die Einzelheiten bisher nicht bekannt waren. Ob es gilt, die Gewinnung von Metallen aus Erzen im Hochofenprozeß genau zu untersuchen oder schwer zu berechnende und zu kontrollierende Fertigungsvorgänge auf billige, einfache, exakte und schnelle Weise zu prüfen — in der Bauindustrie ebenso wie im Fernmeldewesen, im Bergbau und in der Leichtindustrie — überall, für die Wissenschaft, die Forschung und die Praxis, können radioaktive Isotope unschätzbare Dienste leisten.

Dabei sind auf diesem Gebiet bisher nur die ersten Schritte getan, denn erst seit knapp zwei Jahrzehnten arbeitet man mit radioaktiven Isotopen. Dabei hat sich seither deutlich gezeigt, daß die Ergebnisse mit fortschreitender Zeit für den Menschen immer wertvoller wurden und daß die Entdeckungen neuer Anwendungsmöglichkeiten zunehmen. Radioaktive Strahlen lassen sich aber noch für ganz andere Zwecke nutzbar machen. So kann man damit die im Schweinefleisch hin und wieder vorkommenden Trichinen abtöten, indem man das Fleisch eine Zeitlang bestrahlt. Wenn diese Methode vorläufig auch erst im Labor erprobt wird, so ist es doch wahrscheinlich nur eine

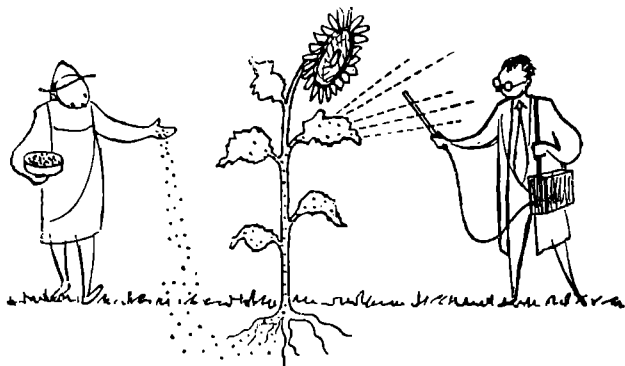
Frage der Zeit, bis Verfahren und Apparaturen für die Praxis entwickelt werden.

Die Trichinenabtötung ist nur ein interessanter Beispielfall, aber praktisch nicht von großer Bedeutung, weil trichinöses Fleisch heute selten vorkommt und selbst nach Abtötung der Trichinen höchstens als Freibankfleisch Verwendung findet. Eine übertragende Bedeutung können radioaktive Strahlen dagegen künftig in der Nahrungsmittelkonservierung erlangen, weil sie unter gewissen Voraussetzungen keimtötend wirken. Optimistische Fachleute glauben an eine revolutionierende Umwälzung der Konservierungstechnik und behaupten, in Zukunft könne durch radioaktive Bestrahlung praktisch jedes Verderben von Lebensmitteln verhindert werden. Man hat versuchsweise Hackfleisch, das bekanntlich sehr leicht verdirbt, radioaktiv bestrahlt und es dann drei Monate lang bei südlicher Sommerhitze aufbewahrt. Angeblich soll es danach noch nicht einmal gerochen haben und von frischem Hackfleisch nicht zu unterscheiden gewesen sein.

Besonders eindrucksvolle Ergebnisse wurden mit der Bestrahlung von Kartoffeln erzielt. Normalerweise kann man Kartoffeln mit Mühe nur gerade so lange lagern, daß der Anschluß an die neue Ernte erreicht wird. Meist beginnen die Knollen schon vorher zu keimen, wodurch sie an Geschmack und Nährwert

stark verlieren. Viele Tausend Tonnen werden auf diese Weise jährlich ungenießbar und gehen als Nahrungsmittel verloren. Deshalb suchte man schon lange nach geeigneten Mitteln, die das Keimen der Kartoffeln verhindern. In den Gamma-Strahlen, die Kobalt 60 aussendet, ist ein solches Mittel nun gefunden. Es gibt Institute, sowohl in der Sowjetunion als auch in den USA, in denen radioaktiv bestrahlte Kartoffeln bereits mehrere Jahre lang lagern, ohne verdorben zu sein. Während daneben gelagerte, unbestrahlte Knollen längst verrunzelt, verschrumpelt oder ganz verfault sind, zeigen die bestrahlten sowohl in ihrer Größe als auch im Geschmack keinerlei Veränderungen. Es stellte sich heraus, daß Kartoffeln durch Bestrahlung fast unbegrenzt haltbar werden,

**Weg eines radioaktiv markierten Düngemittels. Von den radioaktiven Atomen
in den Blättern geht eine Strahlung aus**



wodurch es künftig möglich sein wird, überreiche Kartoffelernten in ganz gewöhnlichen Lagerkellern jahrelang aufzubewahren, um schwächere Ernten auszugleichen.

Dabei tötet die Strahlung die Lebensfähigkeit der Kartoffeln nicht etwa gänzlich ab. Die Kartoffeln werden nur in einen tiefen „künstlichen Schlaf“ versetzt. Es konnte festgestellt werden, daß bestrahlte Kartoffelknollen langsamer „atmen“ als unbestrahlte. Aus diesem Schlaf können sie wieder aufgeweckt werden. Man hat bestrahlte Kartoffelknollen neben unbestrahlten eingepflanzt und beobachtet, daß die bestrahlten zwar sehr viel später zu keimen und zu wachsen beginnen als die unbestrahlten, dann aber diese rasch einholen und schließlich überflügeln. Von den Pflanzen, die aus den bestrahlten Knollen hervorgingen, wurden sogar mehr Kartoffeln geerntet als von den unbestrahlten. Obwohl auf diesem Gebiete erst wenige Versuche angestellt wurden, kann schon gesagt werden, daß sich die Bestrahlung auch auf die meisten anderen Hackfrüchte vorteilhaft auswirkt.

Weil in allen Nahrungsmittelfragen jedoch die absolute Gewähr für völlige Unschädlichkeit das erste Gebot bleibt, werden vor der praktischen Anwendung der neuen radioaktiven Konservierungsverfahren erst noch jahrelange und sorgfältige Versuche

gemacht. Zu diesem Zweck züchtet man gegenwärtig in mehreren Instituten drei Gruppen von Versuchstieren, die verschiedene Nahrung erhalten. Die erste Gruppe erhält nur unbestrahlte Nahrung, die zweite durch Strahlung konservierte und die dritte gemischte Kost. In jeder Gruppe befinden sich männliche und weibliche Tiere, die sich vermehren, so daß einige Generationen untersucht werden können, ob sie irgendwelche Anzeichen einer Strahlenschädigung zeigen. Nach dem augenblicklichen Stand der Experimente scheint es, als ob alle drei Gruppen der Versuchstiere gleichmäßig gut gedeihen. Die ersten Ergebnisse lassen also die Hoffnung zu, daß die Konservierung von Nahrungsmitteln durch radioaktive Bestrahlung künftig — wenn nicht in allen, so zumindest in vielen Fällen — möglich sein wird.

Außer den bisher behandelten Anwendungsmöglichkeiten radioaktiver Isotope hat sich für die Wissenschaft durch die Atomforschung noch eine weitere Entdeckung von unschätzbarem Wert ergeben, nämlich, daß alle organischen Stoffe und damit alle Lebewesen auf der Erde schwach radioaktiv sind! Diese überraschende Tatsache beruht darauf, daß aus dem Kosmos ständig Atome und Elementarteilchen mit hoher Energie in die irdische Lufthülle eindringen. Durch diese sogenannte kosmische Strahlung oder ihre Folgeerscheinungen werden durch Neutronen-

beschuß in den höchsten Schichten der Atmosphäre ständig einige wenige Stickstoffatome der Luft in radioaktiven Kohlenstoff, in C 14-Atome, umgewandelt. Solche strahlenden Kohlenstoff-Atome sind nun also in der Kohlensäure der Luft und werden von allen Pflanzen zum Aufbau ihrer organischen Substanzen aufgenommen. Dadurch wird jede Pflanze in einem gewissen, freilich nur ganz minimalen Grade, radioaktiv, was mit dem Geiger-Zähler unter bestimmten Voraussetzungen meßbar ist. So löst zum Beispiel frisches Holz etwa 15 Impulse in der Minute aus.

Aber nicht nur Pflanzen sind von Natur aus radioaktiv, auch alle Tiere und sogar der Mensch. Unsere Radioaktivität stammt von den Pflanzen, die wir essen. Selbst Tiere, die nur von Fleisch leben, sind radioaktiv, weil unter den Lebewesen, die ihnen als Nahrung dienen, bestimmt einige Pflanzenfresser sind. Deshalb enthalten praktisch alle organischen Stoffe, und mithin alle Lebewesen, spurenweise radioaktiven Kohlenstoff.

Diese Tatsache macht man sich neuerdings in der Abstammungs- und Frühgeschichtsforschung zunutze. Denn die Intensität der radioaktiven Strahlen, die fossile Funde ursprünglich organischer Stoffe, wie altes Holz, Torf, Knochen, Leder, aussenden, läßt auf deren Alter schließen. Sobald nämlich eine Pflanze, ein

Tier oder ein Mensch stirbt, hört sein Stoffwechsel und damit auch die Zufuhr von strahlenden C 14-Atomen auf. Von da an beginnt die im Organismus gespeicherte Menge radioaktiven Kohlenstoffs ganz gleichmäßig nach der Gesetzmäßigkeit seiner Halbwertszeit zu zerfallen. Daher ist beispielsweise die radioaktive Strahlung frischen Holzes weitaus stärker als die eines fossilen hölzernen Fundes. Je nach seinem Alter löst fossiles Holz nur noch drei bis fünf Impulse pro Minute im Zählrohr aus. Dadurch ist es möglich, überraschend genau das Alter von Funden aus prähistorischer Zeit zu bestimmen. Der Gehalt an radioaktiven Kohlenstoff stellt sozusagen eine Uhr dar, die Jahrtausende zu messen vermag.

Mit Hilfe dieser Methode gelang es, das Rätsel des sogenannten Piltdown-Schädels endgültig zu lösen. Der Piltdown-Schädel, den ein englischer Liebhaber-Forscher Anfang dieses Jahrhunderts gefunden haben wollte, stellte die Wissenschaftler vor ein Rätsel. Er widersprach allen Vorstellungen von der Entwicklungsgeschichte der Menschheit, die man bis dahin gewonnen hatte. Dicht bei einem echt menschlichen prähistorischen Schädeldach wurde ein typisch äffischer Unterkiefer gefunden. Der Schädelteil bewies eine hohe Entwicklung des Gehirns, der primitive Unterkiefer dagegen zeigte, daß dieses merkwürdige Wesen den äffischen Vorfahren des Menschen noch

sehr nahegestanden haben mußte. Also ein Affe mit Menschenverstand? Eine sensationelle Folgerung, die schon damals kein ernsthafter Forscher recht glauben konnte. Viele zweifelten deshalb die Echtheit des Fundes von vornherein an. Niemand konnte allerdings Beweise erbringen. Erst vier Jahrzehnte später gelang es, eindeutig festzustellen, daß der Unterkiefer des Piltdown-Schädels mit Eisenoxyd künstlich auf prähistorisches Aussehen gebracht worden war und in Wirklichkeit von einem Affen stammte, der vor höchstens hundert Jahren gelebt hat.

Diese Beispiele für die vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten radioaktiver Isotope mögen genügen. Radioisotope und Geiger-Zähler werden bald überall, genauso wie heute das Röntgengerät und das Mikroskop, zum täglichen Handwerkszeug der Naturwissenschaftler gehören und ihnen in ihrem ständigen Bemühen, die Struktur der Welt in allen Einzelheiten zu ergründen und zu erforschen, wertvolle Hilfe leisten.

Kann der Mensch den Erdball vernichten?

Es war am 6. August 1945. Ein Sommermorgen voll strahlenden Sonnenscheins lag über der japanischen Stadt Hiroshima. In Europa schwiegen bereits die

Waffen. Die faschistischen Armeen, die, angepeitscht von Hitler und einer Clique ihm ergebener Verbrecher, ganz Europa in Not und Elend gestürzt hatten, waren schon seit Monaten vernichtend geschlagen. Die Kapitulation des japanischen Verbündeten Hitler-Deutschlands war nur noch eine Frage der Zeit. Fast hätte man an jenem schönen Sommermorgen, als sich der blaue Himmel friedlich über Hiroshima wölbte, glauben können, der Krieg sei auch hier schon vorbei. Die Menschen schickten sich soeben an, ihr Tagewerk zu beginnen.

Drei amerikanische Flugzeuge flogen über die endlose Weite des Pazifischen Ozeans der japanischen Küste entgegen — nichts Ungewöhnliches, so schien es, sondern ein Routineflug, während des Krieges für die Luftaufklärung ab und zu notwendig. Die Offiziere der japanischen Luftabwehr gaben bald wieder Entwarnung, als sie bemerkten, daß es nur drei Flugzeuge waren. Die Menschen strömten aus den Luftschutzkellern ins Freie, atmeten tief die frische Morgenluft und freuten sich, daß kein Luftangriff bevorstände. Sie konnten ja nicht ahnen, daß wenige Augenblicke später buchstäblich nichts mehr von ihnen übrigbleiben sollte als ihr Schatten, den ein neues, zuvor nie gekanntes grelles Licht auf dem Asphalt hinterließ. Niemand in Hiroshima konnte ahnen, daß amerikanische Politiker und Militärs diese

Stadt dazu ausersehen hatten, das schrecklichste Experiment der Weltgeschichte durchzuführen.

Die drei Maschinen flogen in großer Höhe auf Hiroshima zu. Eine von ihnen hatte den Tod an Bord, den Tod für eine ganze, dichtbevölkerte Stadt. Mit gewohnter Präzision wurde die Bombe ausgelöst. Ein Fallschirm öffnete sich und schwebte langsam dem Erdboden zu. Die drei Flugzeuge aber jagten, was die Motoren hergaben, weiter, weg von der Stelle, an der sich wenig später die furchtbare Explosion ereignen mußte.

Auch von den Straßen und Plätzen Hiroshimas aus sah man ein in der Sonne glitzerndes Etwas am Fallschirm niederschweben. Man wunderte sich über das neue merkwürdige Ding. Aber nicht mehr lange. Exakt arbeiteten die Instrumente an Bord der Bombe und lösten genau in der vorgesehenen Höhe über dem Erdboden einen Mechanismus aus, der zwei etwa tennisballgroße Halbkugeln eines silbrigen Metalls mit großer Wucht zu einer Kugel vereinigte. Und in diesem Augenblick brach die Hölle los...

Nur ganz wenige Menschen in der Nähe des Explosionszentrums haben das grauenvolle Schauspiel überlebt. Zuerst sahen sie einen Lichtschein, viel greller als die Sonne. Er glühte sekundenlang über Hiroshima und war so hell, daß der strahlende Sommermorgen verblaßte. Alle Überlebenden berichten,



daß er sie blind machte für Sekunden, Minuten oder noch länger. Niemand weiß es, denn im nächsten Augenblick jagte eine furchtbare Druckwelle heran, schleuderte sie gegen die Wand, begrub sie unter Trümmern, und sie verloren das Bewußtsein.

Die Menschen, die ganz in der Nähe des Explosionszentrums im Freien waren, verbrannten augenblicklich von der Gluthitze der Explosion. Die Luftdruckwelle riß sie in Stücke, stürzte Gebäude ein und zerschmetterte mit den umherfliegenden Trümmern die Leiber der Männer, Frauen und Kinder. Was diesen Wirkungen noch widerstanden hatte, wurde von der Feuersbrunst dahingerafft, die — entfacht von der Gluthitze der Atomexplosion — sich sofort über die ganze Stadt ausbreitete und sie in einen flammenden Trümmerhaufen verwandelte. Über der Stätte des Grauens stieg eine merkwürdig geformte Rauchsäule auf, ein „Atompilz“. Die ungeheure Wärmeentwicklung löste Windströmungen aus, die mit der Gewalt von Orkanen durch die Stadt rasten.

Als die Rettungskommandos aus den Randgebieten Hiroshimas und aus den umliegenden Städten herbeieilten, bot sich ihnen ein Bild nie dagewesenen Grauens. Menschen, denen die verbrannte Haut in Fetzen vom Körper hing, rannten schreiend umher. Anderen fiel, wenn sie sich bewegten, das Fleisch von den Knochen. Soldaten, denen buchstäblich die

Augen aus dem Kopfe herausgebrannt waren, über und über mit entsetzlichen Brandwunden bedeckt, wälzten sich stöhnend am Boden. In höllischem Durst suchten sie blind nach irgend etwas Trinkbarem. 60 000 Menschen waren auf der Stelle tot. Eine erschütternde Statistik:

Bis zu 400 Meter Entfernung vom Explosionszentrum
95 Prozent aller Menschen tot

von 400 bis 800 Meter Entfernung

85 Prozent aller Menschen tot

von 800 bis 1200 Meter Entfernung

58 Prozent aller Menschen tot

von 1200 bis 1600 Meter Entfernung

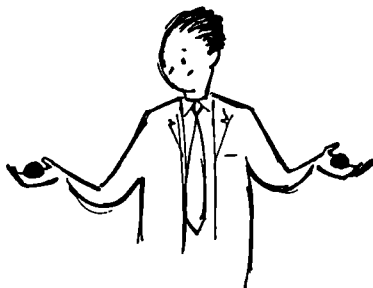
35 Prozent aller Menschen tot.

Das Verbrechen forderte aber noch weit mehr Opfer als jene, die sofort tot waren. Die Überlebenden trugen den Tod in Gestalt der Atomkrankheit in sich, ohne es zu ahnen. Ja, selbst die Angehörigen der Rettungskommandos, die sich nur vorübergehend in Hiroshima aufgehalten hatten, wurden von der Atomkrankheit erfaßt und wenn nicht getötet, so doch jahrelang oder zeitlebens geschädigt. Damals wußte man noch nichts von der entsetzlichen Gefahr, die eine Atombombe hinterläßt, lange nachdem Lichtblitz, Hitze, Druckwelle und Feuersbrunst vorbei sind. Es ist die schädliche Strahlung der radioaktiven Teilchen, die bei der Atombomben-Explosion entstehen.

Langsam und schleichend bemächtigte sich die Atomkrankheit aller Menschen, die sich an der todgeweihten Stätte aufhielten. Zunächst fühlten sie keine Schmerzen, sondern höchstens ein allgemeines Unwohlsein, zwei oder drei Tage lang. Nach etwa zwei Wochen fielen ihnen die Haare aus. In zwei bis drei Tagen war der Kopf vollkommen kahl, dann bildeten sich blutende Stellen auf der Haut. Die Verdauung setzte aus, blutige Durchfälle stellten sich ein. Die Mandeln schwellen an. Die Verletzungen und Verbrennungen heilten plötzlich nicht weiter, sondern verschlimmerten sich wieder, die Entzündungen griffen auf alle Körperteile über. Das Fieber kletterte auf 40 Grad. Langsam, aber unaufhaltsam ging es dem Tod entgegen.

In den Körper dringen, auch wenn wir gar nicht erkranken, ständig Bakterien ein. Aber der Organismus wird mit ihnen fertig. Die weißen Blutkörperchen machen sie unschädlich. Dieser natürliche Abwehrmechanismus des Körpers ist bei der Atomkrankheit außer Tätigkeit gesetzt. Die radioaktiven Strahlen, vor allem die Gamma-Strahlen und Neutronen, greifen die blutbildenden Organe an. Es werden keine weißen und bald auch keine roten Blutkörperchen mehr neu gebildet. Der Organismus kann sich deshalb gegen eindringende Bakterien nicht mehr behaupten und geht langsam und heimtückisch zugrunde. Auch

Jede dieser Halbkugeln allein ist harmlos

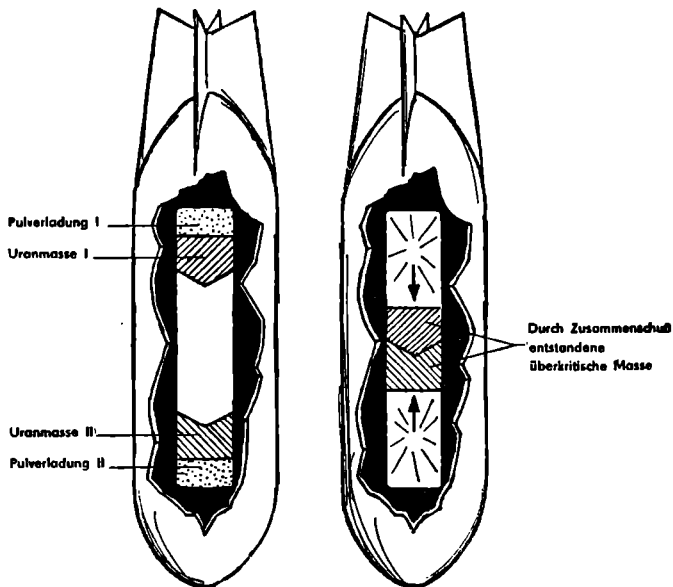


Blutplättchen bilden sich nicht mehr, die für die Blutgerinnung eine unersetzliche Rolle spielen. Deshalb treten unstillbare Blutungen in den haarfeinen Blutgefäßen auf.

Über 200 000 Tote — das war die Endbilanz eines einzigen Atombombenabwurfs auf Hiroshima! Hinzu kommen Tausende fürs ganze Leben gesundheitlich schwer Geschädigter. Ja, selbst auf die Nachkommen wirkt sich die Atomkrankheit noch aus. Denn radioaktive Strahlen schädigen besonders auch die Geschlechtsdrüsen und führen zu Mißgeburten bei den Frauen, die der radioaktiven Strahlung ausgesetzt waren. Die Ärzte vermuten eine nachhaltige Schädigung der Erbanlagen.

Und das alles soll die Wirkung zweier tennisballgroßer Halbkugeln aus Metall sein? So unglaublich es klingt, es ist wahr. Die beiden Halbkugeln bestanden aus reinem Uran 235 oder Plutonium. Jede für sich allein ist harmlos, man kann sie in Händen halten — sie sind durch nichts in der Welt zur Explosion zu bringen. Aber sobald sie zu einer Kugel vereinigt werden, bricht die Hölle aus. Was ist das für ein geheimnisvoller Mechanismus?

Das Prinzip der Atombombe besteht darin, daß Energie nicht wie im Atommeiler allmählich im Verlaufe langer Zeit freigesetzt wird, sondern schlagartig, auf einmal, explosiv. Im Atommeiler wird die Kettenreaktion gedrosselt, so daß immer nur etwa ein frei gewordenen Neutron Gelegenheit zur Spaltung eines neuen Atomkerns findet. In der Atombombe wird die Kettenreaktion nicht gedrosselt. Sie ist so konstruiert, daß alle bei der Spaltung eines Urankerns frei gewordenen Neutronen auf einen neuen Kern treffen und ihn spalten. Das bedeutet: Wenn im Zeitpunkt A ein Urankern gespalten wurde, so spalten sich infolge der dabei frei gewordenen 2 bis 3 Neutronen im Zeitpunkt B bereits 2 bis 3 neue Kerne. Wollen wir diese Rechnung einmal fortsetzen und dabei der Einfachheit halber annehmen, es würden nur 2 Neutronen pro Kernspaltung frei. Aus der zum Zeitpunkt B erfolgten Spaltung von 2 Urankernen



Schema einer Uran-Atombombe

resultieren dann bereits insgesamt 4 freie Neutronen, die im Zeitpunkt C 4 weitere Kerne spalten. So wächst die Zahl der Kernspaltungen lawinenartig von 4 auf 8, von 8 auf 16, von 16 auf 32 und so weiter; die Zahl der Kernspaltungen verdoppelt sich von einem Zeitpunkt zum andern.

Nun muß man aber berücksichtigen, daß zwischen der Ausschleuderung freier Neutronen infolge einer

Kernspaltung und dem Spalten neuer Kerne durch die frei gewordenen Neutronen bei weitem noch keine millionstel Sekunde vergeht. Die Zeitpunkte unseres Schemas folgen also im Abstand von weniger als einer millionstel Sekunde aufeinander. Das bedeutet: In einem einzigen Augenblick werden die Atomkerne des Urans von der Kettenreaktion erfaßt. Die Explosion erfolgt also augenblicklich im winzigen Bruchteil einer Sekunde.

Wie kommt es aber nun, daß die beiden Uran- oder Plutonium-Halbkugeln für sich allein nicht explodieren und auch durch keinen Sprengstoff dazu gebracht werden können? Blättern wir zurück: Körper sind keine kompakten Massen, bestehen nicht aus einem Stück, sondern aus Atomkernen und Elektronen, die mit großem Abstand voneinander im leeren Raum schwirren. Stellen wir uns nun vor, ein Atomkern würde sich spalten und dabei mit großer Wucht zwei bis drei freie Neutronen nach verschiedenen Richtungen ausschleudern. Sie sind so winzig und würden kaum einen anderen Kern treffen und spalten!

Es kommt also auf die Menge an! Es muß eine bestimmte Mindestmenge von Atomen eines reinen spaltbaren Materials zu einem Klumpen vereinigt sein, dann wird zwangsläufig jedes bei einer Kernspaltung entstandene Neutron wieder neue Atom-

kerne treffen und ebenfalls spalten. Diese Mindestmenge nennt man die „kritische Masse“. Sie beträgt bei den reinen Isotopen Uran 235 und Plutonium 239 nur wenige Kilogramm.

Man kann eine kritische Masse spaltbaren Materials also nicht aufbewahren, ohne daß sie explodiert. Folglich müssen zwei Uran- oder Plutonium-Halbkugeln, jede für sich kleiner als die kritische Masse, in die Atombombe eingebaut werden. Gewöhnlicher Sprengstoff schießt diese beiden Halbkugeln mit großer Wucht aufeinander, beide zusammengenommen überschreiten die kritische Masse, und augenblicklich ist eine explosive Kernspaltungs-Kettenreaktion ausgelöst! Die beiden unterkritischen Massen müssen mit großer Wucht vereinigt werden, sonst wird die kritische Masse schon in der ersten Phase der explosiven Kettenreaktion in Stücke gerissen, die jedes für sich viel kleiner sind als die kritische Masse und deshalb nicht mehr explodieren können. Deshalb schießt man die beiden unterkritischen Massen mit Sprengstoff, also mit großer Energie aufeinander.

Das Problem, wie man gegen die Wirkung der Atomexplosion selbst die kritische Masse beisammen hält, ist bis heute noch nicht vollkommen gelöst. Deshalb werden bei weitem nicht alle Atome des Urans oder Plutoniums von der Kettenreaktion erfaßt, sondern nach Schätzungen nur höchstens 20 Prozent. Daß

diese an sich winzige Menge dennoch eine so verheerende Wirkung hat, verschafft uns eine Ahnung davon, welche geradezu unvorstellbaren Energien in den Atomkernen schlummern.

Der gesetzmäßige Zusammenhang von kritischer Masse und explosiver Kettenreaktion macht es nun auch verständlich, daß man Uran- und Plutonium-Atombomben weder beliebig klein noch beliebig groß bauen kann. Eine zu kleine Masse spaltbaren Materials explodiert überhaupt nicht. Es kann deshalb auch keine kleinen „taktischen Atomwaffen“ geben, Atomwaffen sind vielmehr immer Massenvernichtungsmittel. Andererseits kann eine gewöhnliche Atombombe auch nicht beliebig groß sein.

Längst gibt es aber eine andere Atomwaffe, die Wasserstoff-Bombe, deren Größe theoretisch keine Grenze gesetzt ist, die aber stets eine gewöhnliche Uran- oder Plutoniumbombe als Zünder enthalten muß, also ebenfalls keine taktische Waffe für den Kampf an der Front, sondern nur Massenvernichtungswaffe sein kann.

An der Technik der gewöhnlichen Atombombe ist noch bemerkenswert, daß das spaltbare Material nicht mit unspaltbaren Atomen durchmischt sein darf. Während man im Atommeiler Uran verwenden kann, das sich aus dem spaltbaren Isotop U 235 und dem nicht spaltbaren U 238 zusammensetzt, eignen sich

zur Füllung der Atombomben nur reine spaltbare Isotope. Das war denn auch der schwierigste Punkt bei der Herstellung der ersten Atombomben. Denn da sich Isotope desselben Elements chemisch gleich verhalten, lassen sich U 235 und U 238 nicht durch chemische Analyse, sondern nur auf physikalischem Wege voneinander trennen. Die Isotopentrennung war anfangs sehr schwierig. Über zwei Milliarden Dollar ließen es sich die USA kosten, um mit einem Stab von 150 000 Wissenschaftlern, Ingenieuren, Technikern, Laboranten und Arbeitern die ersten beiden Bomben herzustellen.

Das U 235 mußte regelrecht „atomweise“ aus dem U 238 herausortiert werden. Dazu bediente man sich physikalischer Apparate, die Massenspektrographen genannt werden. Diese Apparate enthalten unter anderem Kupferdrahtwicklungen. Es wurden aber so viel Massenspektrographen für die Gewinnung weniger Kilogramm reinen Urans 235 erforderlich, daß sämtliche Kupferbestände, die in den USA und einigen anderen verbündeten Ländern aufzutreiben waren, nicht für die Drahtwicklungen der Apparate ausreichten. Die USA mußten auf die Silberbestände ihres Schatzamtes zurückgreifen und Massenspektrographen mit silbernen Drähten herstellen. Als diese Sisyphusarbeit geschafft war, entdeckte man einen viel einfacheren Weg der Isotopen-

trennung durch sogenannte Thermodiffusion. Sofort baute man dafür Anlagen, so groß wie Städte. Aber auch das war für die USA nur ein Kraft- und Zeitverlust, denn schließlich zeigte sich, daß reines spaltbares Material noch viel schneller, einfacher und billiger in den schon erwähnten Brutreaktoren hergestellt werden kann, in denen die Atomkerne des U238 in Plutonium umgewandelt werden. Plutonium unterscheidet sich chemisch vom Uran und ist deshalb durch chemische Analysen leicht von ihm zu trennen und als reines spaltbares Material zu gewinnen.

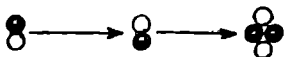
Als schließlich die ersten Atombomben fertig waren, stand Japans Kapitulation bevor. Aber die USA wollten die Welt durch die Demonstration einer furchtbaren Waffe einzuschüchtern versuchen. Die Bombenabwürfe auf Hiroshima und Nagasaki leiteten den „Kalten Krieg“ der amerikanischen Atomwaffendrohungen ein. Diese ständige Bedrohung zwang die Sowjetunion im Interesse der Verteidigung ihres eigenen Landes und der anderen friedliebenden Länder, ebenfalls Atom- und Wasserstoffbomben herzustellen.

Von einer militärischen Überlegenheit der USA durch den Besitz von Atomwaffen kann längst keine Rede mehr sein. Der Ende 1955 gestartete Wasserstoffbomben-Versuch, bei dem die bisher mächtigste aller Atomexplosionen erzeugt wurde, dürfte jedermann

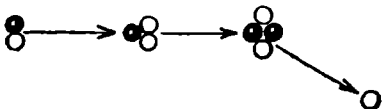
klargemacht haben, daß ein Angriff der imperialistischen Staaten auf die Sowjetunion und die ihr verbündeten friedliebenden Länder einem Selbstmordversuch gleichkommt. Die Sowjetunion wird kein Land angreifen, weder mit den herkömmlichen noch mit Atomwaffen, aber sie ist jederzeit imstande, einen Angriff unter Einsatz modernster und wirksamster Waffen zurückzuschlagen. Die Völker und Regierungen der Sowjetunion und aller anderen Staaten des Weltfriedenslagers kämpfen beharrlich weiter für die Ächtung aller Atomwaffen.

Bis dieses Ziel erreicht ist, müssen sie aber zu ihrem Selbstschutz ebenfalls die Technik der Atomwaffen meistern.

Wie funktionieren nun jene Wasserstoff-Bomben, die noch eine weit verheerendere Wirkung als die auf Hiroshima und Nagasaki abgeworfenen Uran- und Plutonium-Atombomben haben? In ihnen erfolgt nicht eine Spaltung, sondern ein Aufbau von Atomkernen. Die Atomkerne schweren und überschweren Wasserstoffs (Isotopenformeln $\frac{1}{2}$ H bzw. $\frac{3}{3}$ H) werden zu Heliumkernen vereinigt. Eine solche Kernreaktion kann sich normalerweise nirgends auf der Erde vollziehen. Sie geht nur im Innern von Gestirnen vor sich, auch im Innern unserer Sonne. Die dabei entstehende Energie ist so enorm, daß die Sonne noch Milliarden und aber Milliarden Jahre lang strahlen kann.



Bei der Wasserstoffbombe erfolgt keine Spaltung, sondern ein Aufbau von Atomkernen



Warum kann normalerweise unter irdischen Bedingungen die Aufbaureaktion von Atomkernen nicht erfolgen? Wir wissen, daß Atomkerne positiv geladen sind. Will sich ein Atomkern einem andern nähern, so wird er also infolge der gegenseitigen elektrischen Abstoßungskraft von ihm weggedrängt. Es gibt aber ein Mittel, um gegen den Widerstand der elektrischen Abstoßung dennoch zwei Atomkerne zu vereinigen: Sie müssen auf eine sehr hohe Energie gebracht werden, das heißt mit höchster Geschwindigkeit und dementsprechend großer Wucht aufeinanderfliegen. Hohe Geschwindigkeit von Atomen und Molekülen bedeutet aber hohe Temperatur! Zur Aufbaureaktion eines Kerns aus zwei anderen, kleineren ist eine Temperatur von Millionen Grad erforderlich! Deshalb bezeichnet man diesen kernphysikalischen Vorgang als thermonukleare Re-

aktion (von thermos = warm und nucleus = Kern). Es gibt bis jetzt auf der Erde nur eine Möglichkeit, Temperaturen von mehreren Millionen Grad zu erzeugen, und das ist die Explosion einer Uran- oder Plutonium-Atombombe. Deshalb müssen in die Wasserstoff-Bombe ebenfalls zwei Plutonium-Halbkugeln eingebaut und im Moment der Zündung durch zwei Sprengstoffladungen aufeinandergeschossen werden. Das gibt eine Explosion wie bei der Hiroshima-Bombe! Aber diesmal ist sie „nur“ der Zünder für einen noch höllischeren Prozeß. Der explodierende Spaltstoff ist nämlich von einer Füllung schweren und überschweren Wasserstoffs umgeben. Die explosive Kettenreaktion des Urans oder Plutoniums erzeugt viele Millionen Grad Hitze, und durch sie wird schließlich die Aufbaureaktion der Wasserstoffkerne zu Heliumkernen ausgelöst. Bei dieser thermonuklearen Aufbaureaktion werden noch größere Energien frei als bei der Spaltung von Atomkernen. Die ganze Bombe ist von einem Mantel aus Uran oder anderem Metall umgeben, das sich durch die bei der Kernspaltung des Plutoniums und bei der thermonuklearen Reaktion des Wasserstoffs frei werdenden Neutronen und anderen radioaktiven Strahlen ebenfalls in einen höchst radioaktiven Stoff verwandelt. So entstehen in einem einzigen Augenblick zahlreiche Quellen unermesslichen Unheils gleichzeitig.

Was geschähe, wenn eine Wasserstoff-Bombe (H-Bombe) über einer Stadt explodierte? (Alle Atombomben zünden nicht beim Aufschlag auf der Erde, sondern in einer Höhe, die für die Entfaltung der höchsten Wirkung am geeignetsten ist.) Zunächst läßt ein unvorstellbar greller Lichtblitz die Kleidung aller Menschen im Umkreis von zehn Kilometern in Flammen aufgehen und verbrennt Hautstellen, die unbedeckt dem Licht ausgesetzt sind, kohlschwarz. Noch unterbricht die Stille nur das Schreien der Menschen, aber wenige Augenblicke später donnert eine Druckwelle heran, die im Umkreis von fünf Kilometern fast alles restlos zerstört. Aus den wankenden Stahlgerüsten der Häuser fallen Decken und Wände und zerstäuben. Noch in acht Kilometer Entfernung wirbeln in Stücke gerissene Autos durch die Luft. Sechzehn Kilometer ab stürzen Häuserblöcke ein, ihre Bewohner unter sich begrabend. Bis zum Umkreis von vierundzwanzig Kilometern sind alle Gebäude so beschädigt, daß man sie nicht mehr bewohnen kann. Erst in vierzig Kilometer Entfernung verliert sich der Druck so weit, daß nicht mehr alle Fensterscheiben springen.

Über dem Zentrum des Gravens steigt jetzt der entsetzliche Atompilz auf. Der Wind in den oberen Luftschichten beginnt die radioaktiven Ascheteilchen der Explosion zu zerstreuen. In weit entfernte Gebiete

wird der tödliche Staub getragen. Nach der Explosion einer speziell auf Strahlungswirkung konstruierten Bombe kann je nach der Windrichtung der tödliche Staub schon nach Stunden Hunderte Kilometer weit ganze Gegenden verseuchen. Alle lebenden Wesen können nur in überstürzter Flucht aus dem Gebiet Rettung erhoffen. Nachzügler behalten unheilbare Verbrennungen und schleichende, zum Tode führende Krankheiten zurück.

Man kann die Strahlungswirkung der Bombe noch mehr steigern, wenn man sie noch mit einem dicken Mantel aus Kobalt umkleidet, das sich durch die Explosion in das bekannte hochradioaktive Kobalt 60 umwandelt.

Da dieses Isotop eine Halbwertszeit von etwa 5 Jahren hat, blieben die mit seinem Staub verseuchten Gebiete für Jahre unbewohnbar. Ja, bei vielen Explosionen großer Wasserstoffbomben würden so enorme Mengen von Neutronen frei, daß durch Neutronenbeschuß ein beträchtlicher Teil des Stickstoffs der Luft in das radioaktive Kohlenstoff-Isotop C 14 umgewandelt wird, wie es ja in geringem Maße als Folge der kosmischen Strahlung ständig geschieht. Dieses Isotop hat eine Halbwertszeit von 5570 Jahren! Bildete sich in großen Mengen C 14 in der Atmosphäre, so wäre unser Planet für Menschen und wahrscheinlich auch für den größten Teil der anderen

Lebewesen unbewohnbar! In den USA gibt es Atom-bomben-Theoretiker, die schon ausgerechnet haben, wieviel Wasserstoffbomben zur Vernichtung des Lebens auf der Erde erforderlich wären und was die Ausrottung der gesamten Bevölkerung pro Kopf kosten würde. Welche grausame, unmenschliche Rechnung!

Blick ins Atomzeitalter

Experten der amerikanischen Massenvernichtungs-Strategie malen sich die Zukunft etwa so aus: In einer weithin öden, von riesigen Trümmerhalden unterbrochenen Landfläche sieht man von oben nichts weiter als langgestreckte, betonierte Gräben. In regelmäßigen Abständen ragen aus ihnen Periskope heraus. Alles Leben hat sich unter die Erde zurückziehen müssen. Hier liegen die Fabriken und Wohnkammern, in denen die wenigen Überlebenden der Atomangriffe zusammengepfercht sind. Als notdürftigen Ersatz für Sonnenschein erhalten sie rationiert auf Karten ab und zu Höhensonnenbestrahlung. Durch die Periskope wird von unterirdischen Beobachtungsständen her die Oberwelt beobachtet, ob sich etwa feindliche strahlengeschützte Panzerfahrzeuge oder Flugzeuge nähern.

An der Erdoberfläche kann sich niemand mehr aufhalten. Auch die Tiere sind längst eingegangen. Durch den Abwurf von Kobalt-Bomben ist das ganze Gelände radioaktiv verseucht. Jahrelang bleibt die Luft radioaktiv. „Atommüll“, die radioaktiven Spaltprodukte aus Atom-Reaktoren, hat man hervorgekramt und von Flugzeugen aus abgeblasen, und dazu der radioaktive Staub der Atomexplosion! Der Wind treibt den Tod übers Land.

Nur ab und zu entsteigen der schaurigen Unterwelt ein paar Menschen in dicken Strahlenschutzanzügen und reparieren unter Lebensgefahr hier ein Periskop, dort einen Sendemast . . .

Soweit darf es nicht kommen! Du und ich, wir lieben das Leben, und Millionen Menschen lieben es genauso wie du und ich. Wer will wohl von einer Atom-bombe zerfetzt und verbrannt oder von radioaktivem Staub bei lebendigem Leibe zerfressen werden?

Was erwartet uns aber, wenn wir verstehen, die gewaltigen Energien aus der Atomzertrümmerung für friedliche Zwecke nutzbar zu machen?

In allen Einzelheiten können wir heute noch nicht sagen, wie wir im Jahre 2000 leben werden — genauso wenig wie man vor 70 Jahren hätte sagen können, welche Autotypen es 1956 geben wird. Aber in groben Umrissen können wir berechnen, welche großen Umwälzungen auf den verschiedensten Gebieten der

Technik stattfinden und wie sie sich auf das Leben der Menschen auswirken werden.

Eines ist sicher: Es wird Energie in Hülle und Fülle geben, so daß Projekte, die man bisher nie in Angriff nehmen konnte, zur Verwirklichung gelangen. Dort, wo die Erde keine Kohle oder andere brennbare Schätze beherbergt, können mit geringstem Aufwand an Transportmitteln die kleinen Mengen des Spaltstoffs herangeschafft werden, die für den Betrieb von Atomkraftwerken erforderlich sind. Wo aber Energie erzeugt wird, kann eine Industrie wachsen, ja, sogar in den jetzt noch entlegensten Gebieten.

In den letzten Jahrzehnten wurde viel davon phantasiert, die riesige nordafrikanische Wüste Sahara wieder fruchtbar zu machen. Allein es blieben Phantasien, die entweder schon theoretisch auf falschen Voraussetzungen beruhten oder praktisch undurchführbar waren, weil man dafür enorme Energiemengen gebraucht hätte. Das ändert sich im Atomzeitalter. Wenige große Atomzentralen werden so viel Strom erzeugen, daß man die Wüste bewässern kann, und sie wird allmählich wieder das, was sie vor Jahrtausenden war — ein fruchtbares Land, in dem Menschen leben und arbeiten. Umgekehrt wird man durch atomgetriebene Pumpwerke auch Sümpfe trockenlegen können.

Der Mensch wird durch Atom-Sprengungen die Geographie unseres Planeten korrigieren, er wird den Lauf von Flüssen verlegen, um bessere Frachtverkehrsverbindungen zu schaffen, aber vor allem, um das Klima künstlich zu verändern. In der Sowjetunion wurde schon vor vielen Jahren der Anfang gemacht. Hier diente die erste Atom-Explosion dazu, die Natur für das friedliche Leben der Menschen kühn umzugestalten.

Doch richten wir unsere vorausseilenden Blicke, mit denen wir ein wenig von den Geheimnissen des kommenden Atomzeitalters lüften wollten, auch auf unser Vaterland. Deutschland hätte durch die Uranerzlager von Aue, die zu den reichsten Uranvorkommen der ganzen Erde zählen, die Rohstoffbasis für eine gigantische Atomenergiezentrale, die nicht nur ganz Deutschland, sondern auch noch Gebiete der angrenzenden Nachbarländer mit Strom versorgen könnte. Übrigens wird längst daran gearbeitet, die thermonukleare Reaktion, die bisher nur explosiv in der Wasserstoffbombe auszulösen ist, zu regulieren und damit nutzbar zu machen.

Der Überfluß an Energie wird nicht nur der industriellen Produktion einen ungeahnten Aufschwung geben, sondern auch unser persönliches Leben umgestalten und bereichern. Niemand wird mehr Kohlen aus dem Keller holen und mühsam im Ofen ein



Niemand wird mehr Kohlen aus dem Keller holen und mühsam im Ofen
ein Feuer anzünden müssen

Feuer anzünden müssen. Ein Druck auf einen Schalter, und schon beliefert ein mit regionalen Atomkraftwerken gekoppeltes Fernheizwerk jede Wohnung mit behaglicher Wärme. Der Überfluß an Energie wird uns sogar gestatten, bei besonders strengen

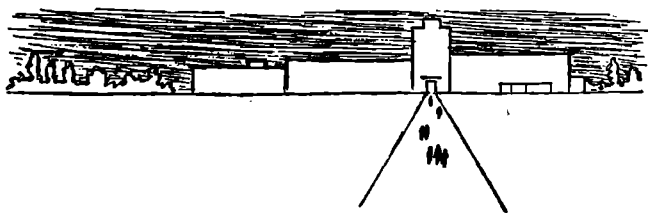
Frösten die Straßen mit Infrarotstrahlern zu heizen. Sie erwärmen zwar nicht die Luft, aber ihre Strahlen wirken wärmend direkt auf die Stelle ein, die sie treffen. Umgekehrt werden an heißen Sommertagen Ventilatoren nicht nur Wohnungen, sondern auch die Gehsteige der Hauptstraßen kühlen.

Wenn nun die Produktion gesteigert wird, können größere Mengen von Bedarfsgütern zu billigeren Preisen hergestellt werden. Natürlich braucht man dazu nicht nur Atomenergie, sondern der gesamte Produktionsablauf muß mechanisiert und automatisiert werden — das zweite hauptsächliche Charakteristikum der Technik von morgen. Mit weniger Aufwand an Zeit und menschlicher Arbeitskraft wird mehr und billiger produziert werden. Der Mensch wird künftig nur Energie-Anlagen bauen, die, wenn sie fertig sind, automatisch arbeiten und von wenigen Arbeitern bedient werden. Denken wir doch an das Moskauer Atomkraftwerk!

Jeder werktätige Mensch wird im Atomzeitalter sein Leben angenehmer und behaglicher gestalten können. Fernsehempfänger, Telefon, Magnetongerät, aber auch eine Klimaanlage, die Winter wie Sommer für gleichbleibende behagliche Temperatur sorgt, und noch vieles, was man sich heute gar nicht vorstellen kann, wird zum selbstverständlichen Komfort jeder Wohnung gehören.



Die künftigen Energieanlagen werden nur wenige Menschen
zu ihrer Bedienung brauchen



Die anstrengende und monotone Handarbeit in der Landwirtschaft wird ganz verschwinden. Riesige elektrisch betriebene Maschinen werden alle Arbeitsgänge übernehmen. Ein Mensch wird von einer Dispatcher-Zentrale aus mit ferngesteuerten Maschinen viele Felder bewirtschaften. Ja, vielleicht wird man auf den Anbau von Getreide, Zuckerrüben und Kartoffeln, also den Kohlehydrate liefernden Nutz-

pflanzen, eines Tages ganz verzichten können und mehr und mehr zu einer pflanzlosen Landwirtschaft übergehen. Denn wenn es mit Hilfe von Radioisotopen gelingt, den Prozeß der Fotosynthese in allen Einzelheiten zu klären und ihn künstlich nachzuahmen, so wird man buchstäblich aus Luft, Wasser und Sonnenlicht — alles massenhaft und kostenlos überall vorhandene „Rohstoffe“ — künstlich jene Kohlehydrate synthetisieren, deren Erzeugung bis heute noch allein den grünen Pflanzen gelingt. Für die Gewinnung von Kohlehydraten aus Luft, Wasser und Sonnenlicht könnte man sogar die Gebiete jenseits der Polarkreise, die für den Pflanzenanbau kaum geeignet sind, nutzbar machen. Denn die genannten drei Rohstoffe gibt es selbst in den Polargebieten, Sonnenlicht zwar immer nur ein halbes Jahr, dafür aber im Unterschied zu den anderen Gebieten der Erde ununterbrochen Tag und Nacht, weil während des Polarsommers ja auch nachts die Sonne nicht untergeht.

Atomgetriebene Verkehrsmittel werden uns schneller, billiger und bequemer über weiteste Entfernungen befördern. Überseereisen in komfortablen Ozeandampfern oder weite Transkontinental-Reisen in höchst luxuriösen D-Zügen, in denen man nicht mehr im Abteil eingesperrt sitzt, sondern eine „fahrende Wohnung“ gemietet hat, werden im hochentwick-

kelten Atomzeitalter nichts Ungewöhnliches mehr sein. Ja, sicher wird es als Bildungsmangel gelten, wenn jemand nicht alle charakteristischen und interessanten Gebiete unserer Erde einmal bereist hat. Die Sowjetunion plant schon für die nächsten Jahre den Bau von großen atomkraftgetriebenen Ozeandampfern, die mit einem Verbrauch von nur 800 Gramm Uran Weltrundfahrten machen können. Sowjetische Atom-Eisbrecher werden die Wasserstraße zwischen Europa und Asien durch das Nördliche Eismeer noch verkehrssicherer machen.

Für den Bau von Atommotoren für kleine Verkehrsmittel wie Autos und Flugzeuge besteht noch das Problem, wie man Strahlenschutzwände herstellen kann, die nicht zu dick und schwer sind und doch die Passagiere gegen jede schädliche Strahleneinwirkung schützen. Aber wenn wir bedenken, daß wir erst am Anfang des Atomzeitalters stehen, so dürfte kaum daran zu zweifeln sein, daß auch dieses und noch einige andere Probleme einmal gelöst werden. Vielleicht wird es dann ganz neuartige Fahrzeuge geben, etwa eine Kombination von Auto, Hubschrauber und Motorboot, mit der man ganz nach Belieben über die Straße, übers Wasser oder durch die Luft brausen kann.

Ob nun jeder so ein Fahrzeug besitzen wird, das ist weniger eine Frage des Geldbeutels als der Zweck-

mäßigkeit. Wie schnell wären selbst die breitesten Straßen, ja sogar die Luft „verstopft“ und verkehrsunsicher, wenn jeder Einwohner einer Großstadt ein solches Universalfahrzeug steuern würde. Sicher wird aber auch die Technik der öffentlichen Verkehrsmittel so enorm verbessert sein, daß viele Menschen es als unbequem empfinden werden, ständig einen eigenen Wagen zu benutzen.

Die neuen Grundlagen der Produktion, die Anwendung der Atomenergie, die Mechanisierung und Automatisierung, werden dem Menschen der Zukunft auch geistig ein neues Gepräge geben. Um die Atomtechnik meistern, um automatische Fabriken bauen und in Betrieb halten zu können, müssen die Menschen viel mehr wissen. Aber sie brauchen die umfangreichere Bildung nicht allein für die Arbeit, sondern auch, um mit ihrer Freizeit etwas Sinnvolles anfangen zu können. Sie haben nämlich wesentlich mehr Freizeit als wir heute; denn unter den zukünftigen Produktionsbedingungen ist der Arbeitstag viel kürzer, und es wird trotzdem mehr geschafft.

Lohnt es sich da nicht, alles zu tun, damit dieses neue, schönere Leben Wirklichkeit wird?

Einband und Illustrationen: Wilmar Riegenring
Alle Rechte vorbehalten · Lizenz-Nr. 304-270/187/58-(13-VII B)
Satz: Sachsen Druck Plauen
Druck: Sächsische Zeitung 3972 · 2. Auflage
9 F



MEHR WISSEN – MEHR VERSTEHEN

Die „Welt in der Tasche“
mit unserer neuen Buchreihe aus Forschung
und Technik

Jeder Band

2
MARK

