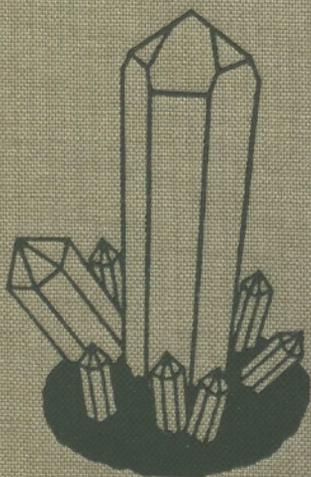


634 *E.B.*: Kräfte des Weltalls -von Strahlen, Sonnen und Atomen, Globus Verlag, Wien 1954, 277 S. (Lizenzausgabe: Urania-Verlag, Leipzig-Jena 1955, 1958; Übersetzungen: polnisch, tschechisch, ungarisch).
Digitalisiert mit freundlicher Genehmigung des Verlages.

FORMEN
KRÄFTE
DES
WELTAUS



6826



1001 6 5

10-5



6826

ENGELBERT BRODA
KRÄFTE DES WELTALLS



6826

Schutzumschlag und Einband von Kurt Lederhofer

Illustrationen von Maria Wimmer

Alle Rechte vorbehalten

Copyright 1954 by Globus, Zeitungs-, Druck- und Verlagsanstalt,
Gesellschaft m. b. H., Wien

Gesamtausführung: Globus II, Wien VI

ENGELBERT BRODA

KRÄFTE DES WELTALLS

VON STRAHLEN, SONNEN UND ATOMEN



6826



GLOBUS VERLAG WIEN

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Vorbemerkung	7

Weiten des Weltalls

Unsere Milchstraße und ihre Nachbarn	11
Explodierende Sterne	19
Himmliche Radiosender	23
Das Geheimnis des leeren Raumes	31
Steine und Eisen aus dem Weltraum	38

Atome und Strahlen

Die Atomlehre heute	47
Kosmische Strahlen	53
Erstaunliches Elektron	60
Atomenergie für Elektrizität	65
Kosmische und irdische Atombomben	76
Wie stellt man eine ferne Atomexplosion fest?	85
Verwertung radioaktiver Abfallstoffe	89
Atome „mit Schildchen“	93

Aus der Geschichte unseres Planeten

Wie alt ist unsere Erde?	103
Entschleierte Mumiengeheimnisse	108
Geochemie — eine junge Wissenschaft	114
Die Meere und ihr Ursprung	121
Unsere Luft	126

	Seite
Vom Ätna und seinen Kollegen	131
Wird es wieder Eiszeiten geben?	136

Schätze der Erde

Was kostet Uran?	143
Diamanten — Fluch und Segen	148
Wozu dient Magnesit?	153
Magnesium — ein Leichtmetall der Zukunft.	157
Im Reiche der Oktanzahlen	161
Methan — Freund und Feind	169
Gas aus dem Flöz	174

Moleküle und Kristalle

Ist Kristallglas kristallisch?	181
Die seltsamste Flüssigkeit	188
Bei 400000 Atmosphären	192
Atome auf Tausch	198
Stickstoff, Phosphor, Kali und Spurenelemente	203
Künstlicher Kautschuk	211
Im Zeitalter der Kunststoffe.	217

Im Bereich des Lebens

Wir leben von Licht und Luft.	227
Vitamine und Antivitamine	233
Das Krebsgift in der Butter.	240
Der lichtempfindlichste Stoff der Welt	245
Hier irrte Goethe	253
An der Grenze des Lebens	260
Wird es künstliches Leben geben?	268
Rückblick und Ausblick	275

Vorbemerkung

Das vorliegende Buch stellt eine Sammlung gemeinverständlicher Essays dar, die sich mit ausgewählten Problemen der modernen Naturwissenschaft befassen. Der Inhalt gliedert sich in sechs Abschnitte, die verschiedenen Themenkreisen gewidmet sind. Gleichwohl ist jeder Aufsatz in sich abgeschlossen und kann daher für sich allein mit Verständnis gelesen werden.

Die weitgehende Selbständigkeit der einzelnen Essays macht gelegentlich kurze Wiederholungen unvermeidlich, doch erfolgen diese stets in neuem Zusammenhang; dadurch wird einerseits die Anschaulichkeit der Darstellung gehoben und andererseits dem Leser die Möglichkeit gegeben, sich über das jeweils behandelte Thema rasch zu unterrichten, ohne daß er gleichzeitig die übrigen Aufsätze heranziehen müßte.

Wien, im Herbst 1954

Der Verfasser

Weiten des Weltalls

Unsere Milchstraße und ihre Nachbarn

In der wissenschaftlichen und besonders in der populären Literatur unserer Zeit findet man oft die Behauptung, unser Weltall sei vor etwa zwei bis vier Milliarden Jahren durch eine wahrhaft „kosmische“ Katastrophe entstanden, bei der erst die Materie, wie wir sie kennen, gebildet worden sei. Ist diese Behauptung in den Tatsachen begründet?

Als *Kopernikus* im 16. Jahrhundert erkannte, daß nicht die Sonne die Erde, sondern die Erde die Sonne umkreist, entthronte er damit die Erde als Mittelpunkt des Weltalls. Es war eine selbstverständliche Konsequenz dieser „kopernikanischen Revolution“, daß auch die Rolle der Fixsterne im Weltbild gewaltig geändert wurde. Nach Kopernikus glaubte man nicht mehr, daß die Fixsterne sich in 24 Stunden mit dem ganzen Himmelsgewölbe um die Erde, den angeblichen Mittelpunkt der Welt, drehen müssen. Der Weg war nun frei, auch die Fixsterne ebenso wie unsere Sonne als unabhängige Himmelskörper zu betrachten, die sich von unserer winzigen Erde in ihrer majestätischen Bewegung durchaus nicht beeinflussen lassen. Tatsächlich zeigte sich alsbald, daß die Fixsterne Weltkörper von der Art der Sonne sind, nur eben unvergleichlich weiter von uns entfernt.

Diese Entfernungen sind allerdings kolossal. Man erkannte, daß die Sterne unserer „Umgebung“ (kosmisch gerechnet) einem gewaltigen einheitlichen Sternsystem angehören, der *Milchstraße* (*Galaxis*), die linsenförmige Gestalt hat (*Abbildung 1*). Der Durchmesser der Linse (von Rand zu Rand) beträgt nun mindestens 100 000, ihre Höhe 15 000 Lichtjahre. Ein Lichtjahr ist die Entfernung, die das Licht mit seiner Geschwindigkeit von 300 000 Kilometer in der Sekunde innerhalb eines Jahres zurücklegt. Ein Lichtjahr — das im

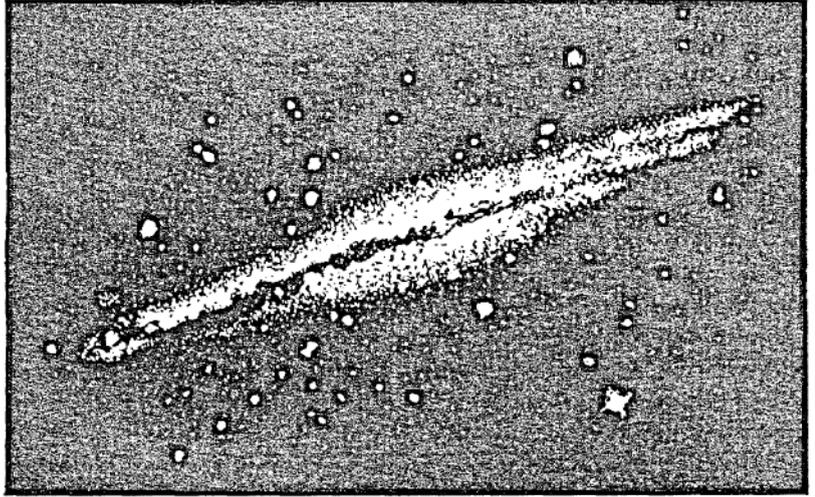


Abbildung 1

Ein Spiralnebel von der Schmalseite („von der Kante“) gesehen.

Widerspruch zu seinem Namen also gar keine Zeit, sondern eine Entfernung kennzeichnet — entspricht daher der Kleinigkeit von fast zehn Billionen Kilometer.

Sämtliche Weltkörper, alle Sterne, die wir am Himmel mit freiem Auge wahrnehmen können, gehören diesem Milchstraßensystem an. Mit einer kleinen Ausnahme — aber einer ganz besonders wichtigen Ausnahme! Im Sternbild der Andromeda bemerkt man in einer sternklaren mondlosen Nacht ein blasses Wölkchen, das durchaus nicht auffällig aussieht; es wird als der *Andromedanebel* bezeichnet (*Abbildung 2*). Durch ein gutes Fernrohr betrachtet, erscheint es gar nicht so nebelhaft wie mit freiem Auge, sondern läßt sich in eine Unzahl leuchtender Fixsterne auflösen. Der Andromedanebel ist tatsächlich nichts anderes als ein Schwestersystem unserer mächtigen Milchstraße, also eine zweite Galaxis. Die Milchstraße enthält 100 Milliarden leuchtende Sterne von der Art der Sonne. Der Andromedanebel, die Galaxis, die der Milchstraße am nächsten liegt,

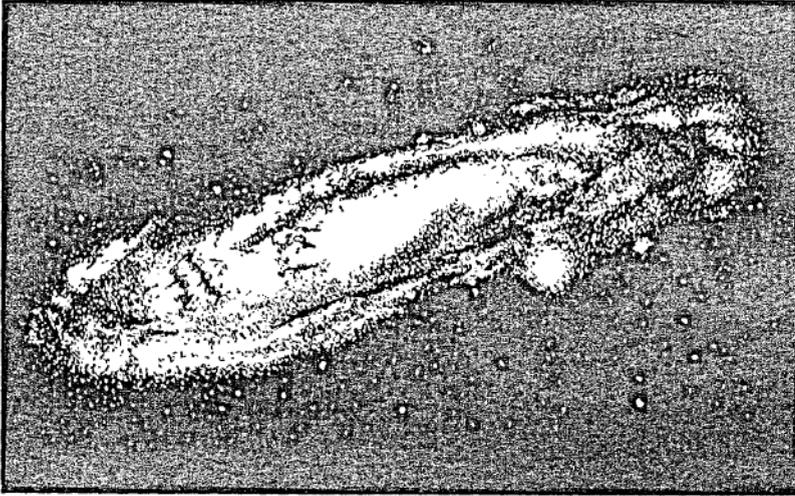


Abbildung 2

Der große Spiralnebel im Sternbild der Andromeda.

dürfte nicht weniger reich an Sternen sein. Die Nebel (Galaxen) werden oft, da sie sehr häufig spiralig gebaut sind, als *Spiralnebel* bezeichnet (*Abbildung 3*). Alle Nebel, darunter auch unsere Milchstraße, drehen sich um ihre Achse. Die Milchstraße braucht allerdings für jede Umdrehung hunderte Millionen Jahre.

Der Andromedanebel ist „bloß“ 750000 Lichtjahre (sieben Trillionen Kilometer) von uns entfernt*. Deshalb ist er auch der einzige Nebel, der noch mit freiem Auge sichtbar ist. Er ist durch eine weite Strecke freien Raumes von unserer Milchstraße getrennt.

* Seit der Inbetriebnahme des neuen Riesenteleskops auf dem Mount Palomar im Jahre 1952 scheint es auf Grund genauerer Beobachtungen wahrscheinlich, daß den bisherigen Entfernungs- und Größenangaben, soweit sie sich auf die Räume außerhalb des Milchstraßensystems beziehen, fehlerhafte Annahmen zugrunde lagen. Die wahren Werte dürften doppelt so hoch liegen, wie bisher angenommen wurde. Dementsprechend wäre die Entfernung des Andromedanebels mit etwa 1,5 Millionen Lichtjahren anzusetzen.

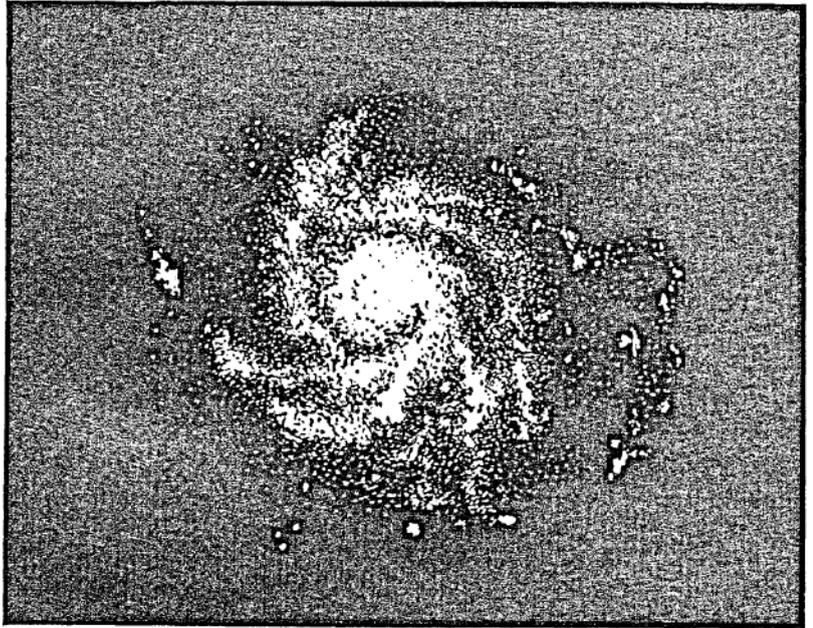


Abbildung 3

Spiralnebel M 51 im Sternbild der Jagdhunde.

Je weiter wir nun mit unseren Fernrohren in den Weltraum vordringen sind, desto mehr Nebel haben wir gefunden. Der Weltraum ist von Spiralnebeln von der Art der Milchstraße und des Andromedanebels übersät — so wie die Südsee mit Inseln übersät ist. Freilich beträgt die durchschnittliche Entfernung der Spiralnebel voneinander ungefähr zwei Millionen Lichtjahre. Wir haben also geradezu einen Haupttreffer gemacht, daß wir im Weltraum nicht einsam dastehen, sondern einen so prächtigen Nebel wie den Andromedanebel zum nahen Nachbarn haben!

Mit dem besten Fernrohr der Welt sieht man eine Milliarde Lichtjahre weit. Das Licht von den fernsten noch sichtbaren Sternen ist also eine Milliarde Jahre unterwegs, bis es bei uns eintrifft. Soweit

nun unser durch das Fernrohr bewaffnetes Auge blickt, sieht es — außerhalb unserer Milchstraße — nichts als Nebel, überall Nebel. Dazwischen liegt sternleerer Raum. Bisher können 100 Millionen Nebel festgestellt werden. Jeder von ihnen enthält wie die Milchstraße 100 Milliarden Sonnen. Die Gesamtheit der Nebel wird auch als *Metagalaxis* bezeichnet. Diese enthält also, soweit bisher erforscht, zehn Trillionen Sonnen. Es ist damit zu rechnen, daß es neben unserer Metagalaxis noch andere Metagalaxen gibt...

Wir kehren nun zu der Frage zurück, die wir anfangs gestellt haben. Warum glauben manche Forscher, daß die heute sichtbare Materie des Alls vor zwei bis vier Milliarden Jahren — zu einer „Zeit null“ — durch eine kosmische Katastrophe entstanden sei?

Der experimentelle Ausgangspunkt ist die sogenannte *Rotverschiebung* des Lichtes, das uns von den Nebeln erreicht. Bekanntlich schöpfen wir unsere gesamte Kenntnis vom Weltall aus der Untersuchung der Strahlung — hauptsächlich des sichtbaren Lichtes —, die uns die Himmelskörper zusenden. In mehrfacher Hinsicht ist die Zusammensetzung des Lichtes durch den Zustand des Sternes bestimmt, der ihn aussendet. Man kann also durch die Analyse des Lichtes Kunde von dem „Leben“ des Sternes erhalten.

Die Analyse erfolgt dadurch, daß man das Licht mit Hilfe von sogenannten *Spektrographen* in das Farblight zerlegt, aus dem es zusammengesetzt ist. Man findet also durch *Spektralanalyse* im zusammengesetzten Licht blaue, rote, grüne, gelbe Anteile. Licht jedes bestimmten Farbtons ist durch die Schwingungszahl (die Häufigkeit der Schwingungen pro Sekunde) gekennzeichnet. Blaues Licht schwingt rasch, rotes Licht relativ langsam. So kann man beispielsweise, wie man seit 1860 weiß, die chemische Zusammensetzung der Sternoberflächen durch die Analyse des Lichtes erforschen. Wir alle wissen, daß Kochsalz eine Flamme gelb färbt. Diese Färbung geht auf das Element Natrium zurück, das im Kochsalz enthalten ist. Man kann also, wenn in einem Lichtstrahl Gelb — und zwar eines ganz bestimmten Farbtons, also einer ganz bestimmten Schwingungszahl — auftritt, auf die Anwesenheit von Natrium in der Lichtquelle schließen. (Unter bestimmten Umständen kann man nicht nur aus der Anwesenheit, sondern gerade auch aus der

Abwesenheit von Licht, also aus dem Auftreten dunkler Linien im Spektrum, auf das Vorliegen gewisser chemischer Elemente schließen.)

Aus der Zusammensetzung des Lichtes kann man aber außer dem chemischen Aufbau der Sterne noch viele andere schöne Dinge erfahren. Der bedeutende österreichische Physiker *Christian Doppler* fand Anfang des vorigen Jahrhunderts, daß die Farbe des Lichtes auch davon abhängt, ob die Lichtquelle sich *zu* uns *her-* oder *von* uns *fortbewegt*. Nähert sich nämlich das leuchtende Objekt, so wird unser Auge (oder ein Meßgerät) in jeder Zeiteinheit von mehr Wellen (Schwingungen) getroffen, als wenn die Lichtquelle ruht oder gar von uns fortstrebt. Zum Vergleich: Ein Boot, das sich auf einem See gegen die Wellen bewegt, wird öfter von Wellen getroffen als eines, das in der Richtung der Wellen fährt. Die Schwingungszahl der Wellen erscheint daher im ersten Falle vergrößert.

Ebenso weist Licht, dessen Quelle sich uns nähert, vergrößerte Schwingungszahl auf. Rotes Licht nimmt dann gelblichen, gelbes Licht grünlichen, grünes Licht bläulichen Ton an. (Solange die Geschwindigkeit der Lichtquelle nicht sehr groß ist, ist die Farbtonänderung freilich nicht mit dem Auge, sondern nur mit dem Gerät, eben dem Spektrographen, festzustellen.) Auf Grund dieses *Doppler-Effekts*, wie die Erscheinung der Farbverschiebung in der internationalen wissenschaftlichen Literatur heißt, hat man schon bei hunderttausenden Sternen unserer Milchstraße entschieden, ob sie uns zu- oder von uns fortstreben.

In den letzten Jahrzehnten hat man ähnliche Untersuchungen an den Spiralnebeln angestellt, die inselartig den Weltraum erfüllen. Die Technik dieser Messungen ist ganz außerordentlich schwierig. Von den fernsten Nebeln erreicht uns nur so wenig Licht, daß das Fernrohr samt dem Spektrographen viele Nächte hindurch stets auf den gleichen Lichtpunkt gerichtet bleiben muß, damit die Photoplatte genügend Licht sammeln kann. Die Helligkeit der fernsten Nebel, deren Spektrum man noch untersucht hat, beträgt wegen ihrer enormen Entfernung nur den zehnmillionten Teil der Helligkeit der lichtschwächsten individuellen Sterne der Milchstraße, die wir noch mit freiem Auge sehen können. (Mit dem besten Teleskop

kann man noch Lichtquellen auffinden, deren Helligkeit der einer Kerze auf 24 000 Kilometer Entfernung entspricht).

Bei diesen letzten Forschungen hat sich nun ein geradezu sensationelles Ergebnis einwandfrei herausgestellt. Es hat sich nämlich gezeigt, daß das Licht der Nebel um so röter erscheint, je weiter sie von uns entfernt sind! Manche Astronomen sind nun geneigt, diese *Rotverschiebung* tatsächlich als Doppler-Effekt aufzufassen, also anzunehmen, daß alle Nebel mit überraschender Einstimmigkeit „beschlossen“ haben, uns zu fliehen, und zwar um so rascher, je weiter entfernt sie bereits sind. Die berechneten Geschwindigkeiten sind ganz enorm; bei den fernsten Nebeln erreichen sie ein Fünftel der Lichtgeschwindigkeit! Da wir nicht annehmen wollen, daß die Nebel gerade vor unserer Sonne oder der Erde besonderen Ekel empfinden, müssen wir schließen, daß sie auch *voneinander* wegstreben.

Wenn man nun derartige Geschwindigkeiten der Nebel einer Rechnung zugrunde legt, kommt man wirklich zu dem Ergebnis, daß die Gesamtheit aller Nebel — daher also sämtliche Materie des Weltraums — vor ungefähr zwei bis vier Milliarden Jahren auf sehr engem Raum, also sozusagen in einem Punkt, zusammengepfercht war. Manche Physiker und Philosophen haben daraus geschlossen, daß zu jener Zeit die Materie „aus Nichts erschaffen wurde“. Die Welterschöpfung soll also durch einen einmaligen Akt erfolgt sein — zwar nicht, wie der irische Bischof *Usher* nach der Bibel „berechnet“ hat, vor 5958 Jahren, aber immerhin vor zwei bis vier Milliarden Jahren!

Dieser Schluß ist aber durch die vorliegenden Tatsachen keineswegs gerechtfertigt. Erstens kann man aus einer heutigen Bewegung der Nebel nicht ohne weiteres schließen, wie sie sich in vergangenen Zeiten bewegt haben. So meint der hervorragende armenische Astrophysiker *W. A. Ambarzumjan*, daß die Materie in dem unserer Beobachtung bis jetzt zugänglichen Teil des Weltalls (der *Metagalaxis*) sich zwar tatsächlich in Expansion befindet, daß aber Zeiten der Expansion mit Zeiten der Kontraktion abwechseln können.

Zweitens ist es aber überhaupt noch unsicher, ob die Rotverschiebung des Nebellichts wirklich durch einen Doppler-Effekt, also

durch eine auswärts gerichtete Bewegung der Nebel verursacht ist. Es könnte nämlich auch sein, daß nach einem — bisher noch nicht aufgefundenen — Gesetz der Physik jeder Lichtstrahl im Laufe langer Zeiträume, also beim Durcheilen weiter Strecken, an Schwingungszahl verliert und aus diesem Grunde allmählich röter wird. Da die Energie eines Lichtstrahls um so kleiner ist, je röter das Licht ist, so würde das gleichzeitig bedeuten, daß das Licht im Lauf von Jahrmillionen Energie verliert. (Die Energie müßte dann freilich in anderer Form wieder auftauchen.) Das Licht, das von den fernsten Nebeln stammt, hätte die meiste Energie verloren, und die Rotverschiebung wäre begründet. Zu dieser Anschauung neigt jener Astronom, der sich um die Messung der Rotverschiebung die größten Verdienste erworben hat — *Edwin Hubble*.

Gemeinsam ist Hubble und Ambarzumjan jedenfalls die Überzeugung, daß das *Weltall unendlich* ist, und daß die Materie nicht nur bis zu jener Grenze reicht, bis zu der sie bei ihrer Flucht seit der angeblichen Ur-Explosion vorgedrungen sein soll. Beide wenden sich also — wenn auch von verschiedenen Standpunkten — gegen den Gedanken einer Weltschöpfung durch eine kosmische Katastrophe vor zwei bis vier Milliarden Jahren. Die Überzeugung von einem unendlichen, mit Materie übersäten Weltraum, in dem natürlich dann auch unzählige bewohnte Weltkörper Platz finden, gehörte zu jenen Ketzergedanken, deretwegen der kühne Denker *Giordano Bruno* im Jahre 1600 nach siebenjähriger Haft vom päpstlichen Inquisitionsgericht auf dem „Blumenfeld“ in Rom verbrannt wurde.

Explodierende Sterne

„Und ihre vorgeschriebne Reise vollendet sie mit Donnergang“ — so spricht *Goethe* von unserer *Sonne*. Und wirklich: Wir wissen, daß die Sonne seit mindestens zwei bis drei Milliarden Jahren in gleicher Weise wie heute scheinbar die Erde umkreist, in Wahrheit also von der Erde umkreist wird. Daran kann sich nichts Wesentliches geändert haben. Die Sonne muß der Erde schon seit Milliarden Jahren das gleiche Bild geboten haben wie heute. Vor allem kann die Strahlungsintensität der Sonne weder viel kleiner noch viel größer gewesen sein, sonst würden die älteren Gesteine der Erdoberfläche ein anderes Bild bieten. Insbesondere hätte sich sonst auch die Entwicklung des Lebens auf der Erde nicht vollziehen können.

Eine große Zahl anderer Fixsterne hat sich zweifellos ebenso gesittet und verläßlich wie die Sonne benommen. Aber es gibt unter den Sternen auch schwarze Schafe, die explodieren können! Hoffen wir, daß unsere Sonne niemals auf so schlechte Gedanken kommt! Denn dann wäre es um unsere schöne Erde geschehen — und zwar wahrscheinlich so schnell, daß wir des Ereignisses gar nicht gewahr würden. Bei einer „gewöhnlichen“ Sternexplosion vergrößert sich die Strahlungsleistung des Sterns innerhalb weniger Stunden auf das Fünfzigtausendfache! Die Astronomen bezeichnen einen explodierenden Stern als *Nova* (als *neuen Stern*).

Dieser schlecht gewählte Name kommt daher, daß der betreffende Stern vor seiner Explosion durch keinerlei Eigenschaft aufgefallen war. Unser eigenes Sternsystem, die Milchstraße, enthält 100 Milliarden Sterne. Begreiflich, daß die Astronomen nicht jeden einzelnen dieser Sterne „persönlich kennen“. Wenn nun einer aus der großen Schar explodiert und innerhalb kurzer Zeit gewaltige Helligkeit annimmt, dann zieht er natürlich die Aufmerksamkeit

auf sich. Man bemerkt ihn zum ersten Male: Er erscheint als „Nova“, obwohl er in Wirklichkeit in bescheidener Form schon früher existiert hat.

Wenn man nachträglich eine alte Photographie der betreffenden Himmelsgegend prüft, so findet man zumeist auch das Bild des Sterns vor seiner Explosion. Aber leider hat man ihn damals nicht näher untersucht, denn man hatte ja nicht geahnt, daß er einmal interessant werden würde! Man weiß daher nicht, ob die künftigen Neuen Sterne sich durch irgendwelche besonderen Eigenschaften des von ihnen ausgesendeten Lichtes von den stabilen Sternen unterscheiden.

Dabei sind die Neuen Sterne gar nicht einmal so besonders selten. In unserer Milchstraße allein gibt es alljährlich ungefähr 25. Die meisten sind freilich so weit von uns entfernt, daß nicht einmal ihre 5000fache Helligkeitszunahme ihnen Beachtung durch den Laien verschafft. Nur wenn die Nova sich in verhältnismäßiger Nähe der Erde befindet, fällt uns das Neuerscheinen des hellen Sternes auf.

Nachdem der Stern innerhalb einiger Stunden oder Tage eine enorme Menge an Strahlungsenergie verpulvert hat, kommt er allmählich wieder zur Besinnung. Die Helligkeit flaut langsam wieder ab. In einem Jahr oder in zwei Jahren hat der Stern zu seiner altgewohnten bürgerlichen Existenz zurückgefunden. Er hat seine frühere normale Helligkeit wieder angenommen. Nichts verrät mehr seine turbulente Vergangenheit.

Neue Sterne sind nicht nur in unserem eigenen Sternsystem der Milchstraße zu finden, sondern auch in anderen Sternsystemen. Diese anderen Sternsysteme sind die sogenannten Spiralnebel — die in Wirklichkeit gar keine Nebel sind, sondern nur nebelhaft erscheinen, weil sie von uns ungeheuer weit entfernt sind. Sie sind ebenso wie die Milchstraße aus Fixsternen zusammengesetzt. Unsere eigene Milchstraße mit ihren 100000 Millionen Sternen kann also mit Recht als ein Spiralnebel unter vielen aufgefaßt werden. Sie würde aus großer Entfernung nicht anders erscheinen als irgendein beliebiger anderer Spiralnebel (siehe *Abbildungen 1, 2, 3*). Neue Sterne erscheinen in anderen Spiralnebeln ebensooft wie in unserem

eigenen. Freilich hat sich das, was wir heute als Explosion bewundern, oft vor Millionen Jahren zugetragen. Denn so lange braucht das Licht in den meisten Fällen, um uns die Neuigkeit von Schwesternebeln zuzutragen.

Fast alle Sternexplosionen erfolgen mit ungefähr gleicher Energie, das heißt, die Leuchtkraft jeder Nova an ihrem Höhepunkt ist ungefähr die gleiche. Die Leuchtkraft würde uns irdischen Menschen auch wirklich gleich erscheinen, wenn wir die Neuen Sterne sämtlich aus der gleichen Entfernung beobachten könnten. Aber es gibt da eine ganz wichtige Ausnahme, die den Astronomen und Astrophysikern sehr viel Kopfzerbrechen verursacht. Das sind die sogenannten *Supernovae*.

Diese Supernovae sind viel seltener als die normalen Novae. Aber wenn der Astronom nicht nur unsere Milchstraße, sondern auch andere Spiralnebel beobachtet, so sammelt er schon genug Beobachtungsmaterial. Das Erstaunliche an den Supernovae ist nun, daß sie an ihrem Höhepunkt nicht wie die „einfachen Novae“ die 5000fache, sondern die 50millionenfache Sonnenleuchtkraft erreichen. Dann flauen auch sie wieder ab.

Man kann sich vorstellen, welches Schauspiel eine Supernova mit der 50millionenfachen Sonnenleuchtkraft bieten muß, wenn sie in unserer eigenen Milchstraße auftritt! In historischer Zeit ist ein solches denkwürdiges Ereignis dreimal beobachtet worden. Das erste Mal im Jahre 1054 in China und Japan, das zweite und das dritte Mal in Europa zu Beginn der Neuzeit, nämlich zu Lebzeiten der berühmten Astronomen Tycho Brahe bzw. Johannes Kepler. Die Supernova Brahes konnte selbst am hellichten Tag beobachtet werden. Bis zum heutigen Tage finden die Astronomen Trümmer der Explosion von 1054 als rasch bewegtes „Wölkchen“ am Himmel.

Die Supernovae — wie die Novae — gleichen einander mehr oder weniger, als würden sie in Serie erzeugt. Es gibt also keine Abstufungen zwischen den Novae und den Supernovae. Die beiden Arten der Sternexplosionen müssen daher wohl verschiedene Ursachen haben.

Was den Stern zu seinem „Wahnsinnsausbruch“ bewegt, wissen wir nicht. Gewiß ist aber, daß es sich dabei nicht, wie man vielleicht

glauben könnte, um einen Zusammenstoß zweier Fixsterne handeln kann. Da der Weltraum sogar innerhalb der Milchstraße nur äußerst dünn besiedelt ist, kommen solche Zusammenstöße so gut wie niemals vor. Im Durchschnitt kommt nämlich innerhalb der Milchstraße erst auf einen Raum von einer Septillion (eine Zahl mit 43 Stellen) Kubikkilometer *ein* Fixstern!

Klar ist daher jedenfalls, daß irgendwelche inneren Umstände die Katastrophe verursachen müssen. Durch eine Entwicklung irgendwelcher Art muß auf einem derartigen Stern eine Art „Schutzwall“ gefallen sein, der vorher dem Auftreten bestimmter physikalischer Vorgänge im Wege gestanden war. Fällt der Schutzwall, so treten diese Vorgänge ein und Energie wird plötzlich stoßweise geliefert. Es bricht also gewissermaßen — um einmal das Feuer mit dem Wasser zu vergleichen — ein Damm, und die aufgestauten Fluten ergießen sich über das bis dahin vom Damm geschützt gewesene Land.

Bekanntlich macht jeder Stern während seines „Lebens“ eine bestimmte Entwicklung durch. Sterne entstehen, sie strahlen dann lange, lange Zeit, und schließlich sind sie erschöpft, sie werden klein und dunkel. Es erhebt sich nun die Frage, ob vielleicht jeder Stern auf seinem Lebensweg durch das Nova-Stadium hindurch muß, ob er also einmal explodieren *muß*. Gehört eine Explosion zu seiner normalen Entwicklung? So kehren wir zu der Frage zurück, ob auch unsere Sonne einmal explodieren und uns verschlingen wird.

Die Astrophysiker neigen zu einer negativen Antwort. Durch das Studium der Novae ist man zu der Ansicht gekommen, daß nur eine Minderzahl der Sterne explosiv ist, und zwar Sterne mit durchaus anderen Eigenschaften, als unsere Sonne sie besitzt. Die explosiven Sterne allerdings können unter Umständen auch mehrmals in ihrem „Leben“ explodieren. Wiederholt ist beobachtet worden, daß eine anscheinend zur Ruhe gekommene Nova von neuem aufgeflammt ist.

Himmliche Radiosender

Die bisherigen Kenntnisse der Astronomie wurden ausnahmslos mit dem *Lichtfernrohr* erworben. Seit seiner Erfindung in Holland im 17. Jahrhundert ist das Fernrohr immer weiter vervollkommen worden. Die überaus kostspieligen Fernrohre der modernsten Konstruktion besitzen Spiegel mit Durchmessern von mehreren Metern, deren Glas bis auf den Bruchteil eines Millimeters genau geschliffen werden muß, bevor die spiegelnde Schicht aus Metall (Aluminium) aufgebracht werden kann. Der Fünfmeterspiegel vom Mount Palomar wiegt fünf Tonnen.

Auch wird das Licht, das diese Fernrohre sammeln, nicht mehr bloß mit dem Auge aufgefangen. Viel empfindlicher ist die Photoplatte, die das Licht — wenn nötig — mehrere Tage hindurch speichert. In neuerer Zeit läßt man das Licht statt auf die Platte auch auf *photoelektrische Zellen* fallen (*Abbildung 4*). Diese Zellen verwandeln die Lichtenergie direkt in elektrische Energie, die den Vorteil bietet, sich besonders leicht und genau messen zu lassen. Man kann also mit solchen Photozellen nach erheblicher Verstärkung des Stroms die Lichtstärke von Sternen unmittelbar bestimmen.

Natürlich begnügt man sich nicht mehr mit der Messung des gesamten Lichtstroms, der die Erde von einem Stern aus trifft. Mit Hilfe des *Spektroskops* zerlegt man das Licht in seine Bestandteile, also das weiße Licht in rotes, gelbes, grünes, blaues Licht. Aus der Zusammensetzung des Lichtes kann man auf die Natur und die Bewegung des Sterns schließen.

So großartige Leistungen die Astronomie bisher auch erzielt hat und so wenig der Leistung des Lichtfernrohres eine starre Grenze gesetzt ist, so galt es doch bisher unausgesprochen geradezu als ein Dogma, daß wir Kenntnisse über den Weltraum eben nur mit Hilfe

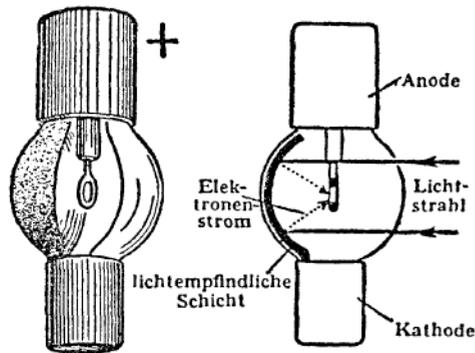


Abbildung 4

Photozelle.

des Lichtfernrohres schöpfen können — so wie das ja bis in die jüngste Zeit tatsächlich der Fall war. Auf den Gedanken, es könnten noch andere Werkzeuge zur Erforschung der fernen Himmelskörper herangezogen werden, kam man nicht.

Um so bedeutsamer ist es, daß sich nun mit großer Schnelligkeit neben der Lichtastronomie, die bis ins Altertum zurückreicht, ein neuer Zweig der Astronomie entwickelt hat. Das ist die *Radioastronomie*. Sie verwendet keine Fernrohre, sondern Radioempfänger. Es ist kennzeichnend, daß auch hier, wie so oft in der Wissenschaft, die Erfindung einer neuen Methode neue große Entwicklungen einleitet. Man hofft, mit Hilfe der Radiowellen sogar weiter als mit den Lichtwellen in den Weltraum „vordringen“ zu können.

Die ersten „Radiosignale“ aus dem Weltraum wurden vor etwa zwei Jahrzehnten von einem Amateur aufgefangen und als Ursache gewisser Störungen des Radioempfangs erkannt. Die Geräte der heutigen Radioastronomen freilich kann sich ein Privatmann schon längst nicht mehr leisten! Die leistungsfähigen Empfangssysteme dieser Art benötigen kompliziert angeordnete Antennen, die sich über hunderte Meter erstrecken. Der parabolische Empfänger unserer *Abbildung 5* steht bei Manchester und hat einen Durchmesser von 75 Meter.

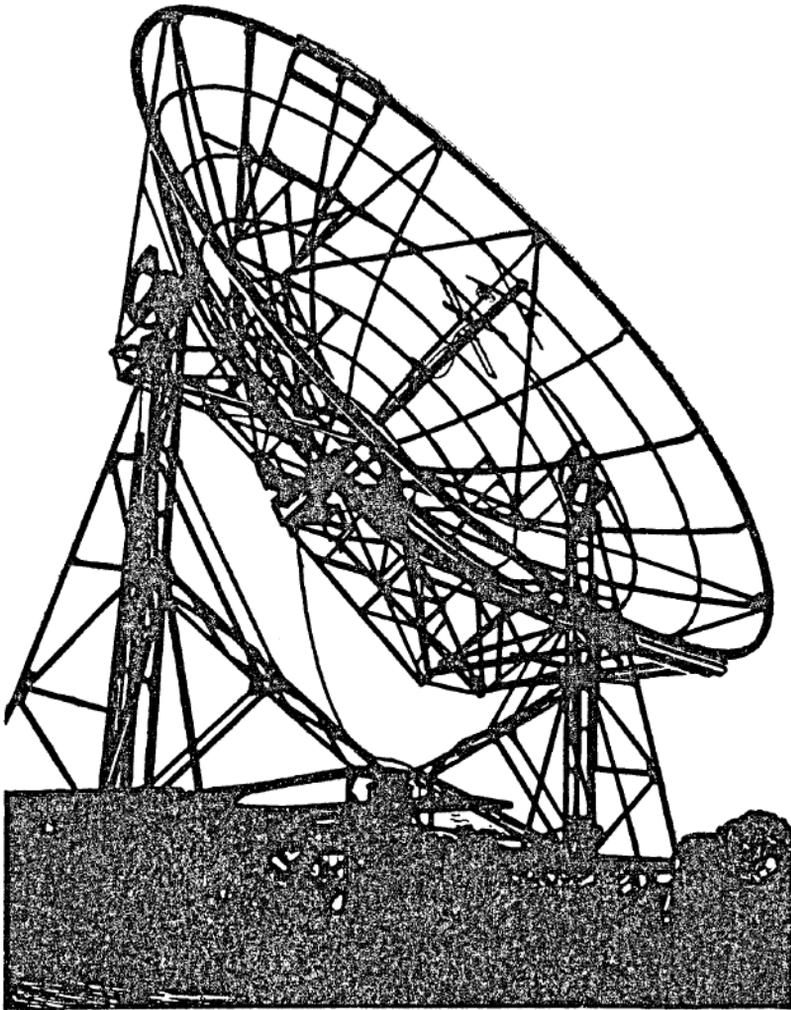


Abbildung 5

Gerät zum Empfang von Radiowellen aus dem Weltraum.

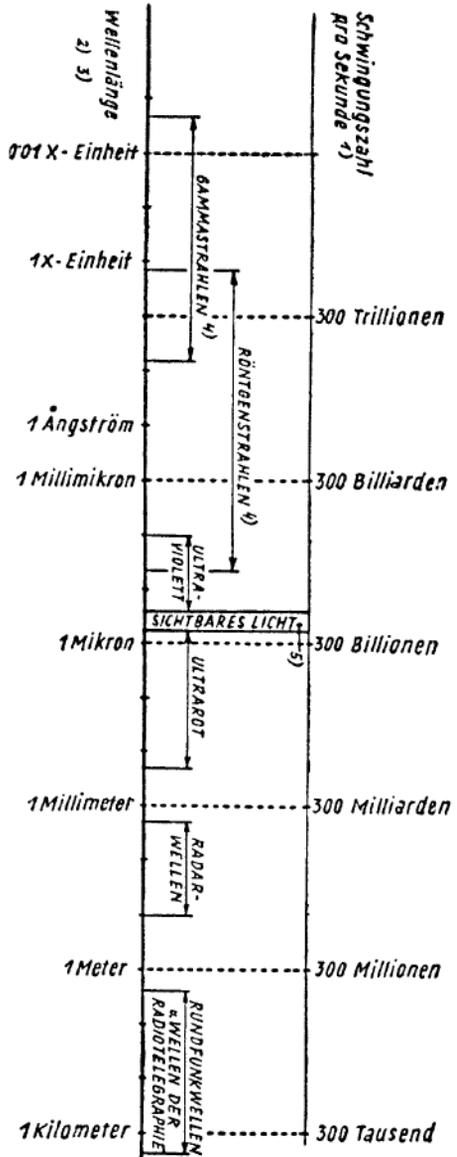


Abbildung 6

Skala der elektromagnetischen Schwingungen.

- 1) 1 Schwingung pro Sekunde = 1 Hertz (1 Hz),
1000 Schwingungen pro Sekunde = 1 Kilohertz (1 kHz),
1 Million Schwingungen pro Sekunde = 1 Megahertz (1 MHz).
- 2) 1 Mikron (1 μ) = 0.001 (= 10^{-3}) Millimeter,
1 Millimikron (1 $m\mu$) = 0.000001 (= 10^{-6}) Millimeter,
1 Angström (1 Å) = 0.0000001 (= 10^{-7}) Millimeter,
1 X-Einheit = 0.0000000001 (= 10^{-10}) = 1 zehnmilliardstel Milli-
meter).
- 3) Bei jedem Übergang von einem Teilstrich der Wellenlängenskala zum nächsten (von links nach rechts) steigt die Wellenlänge auf das Zehnfache.
- 4) Gammastrahlung und Röntgenstrahlung gleicher Wellenlänge sind identisch; die beiden Strahlenarten unterscheiden sich nur nach ihrer Entstehung. Das gleiche gilt für das Verhältnis der Ultra-violet- zur Röntgenstrahlung im Bereich ihrer Überschneidung.
- 5) Der Bereich des sichtbaren Lichtes erstreckt sich ungefähr von Wellenlänge 0.4 μ bis Wellenlänge 0.8 μ .

Die verschiedenen elektromagnetischen Schwingungen, die sich im leeren Weltraum ausbreiten, unterscheiden sich durch ihre Schwingungszahl. (Durch die Schwingungszahl ist auch die Wellenlänge bestimmt, da das Produkt der beiden Größen die Lichtgeschwindigkeit ergibt.) Zu den Schwingungen gehören die Gamma- und die Röntgenstrahlen, das ultraviolette, das sichtbare und das ultrarote Licht und schließlich die Radiowellen. In *Abbildung 6* ist die ganze Skala der elektromagnetischen Schwingungen dargestellt.

Von der Wellenlänge und damit auch von der Schwingungszahl hängt es ab, ob die betreffenden elektromagnetischen Wellen durch die Erdatmosphäre bis zur Erdoberfläche durchdringen können oder nicht. Das sichtbare Licht dringt bekanntlich durch; deshalb sehen wir „den Mond und die Sterne, den Wald und das Reh“. Freilich ist auch die Durchdringungskraft des sichtbaren Lichtes nicht einheitlich. Gelbes und namentlich rotes Licht durchdringen die trübe Erdatmosphäre leichter als blaues Licht. Deshalb erscheint die Sonne, wenn sie tiefer steht und ihre Strahlen einen längeren Weg durch die Luft zurücklegen, röter als zu Mittag. Deshalb auch verwenden Fahrzeuge häufig gelbe Scheinwerfer.

Ultrarotes Licht — das dem Auge nicht sichtbar ist, aber mit Hilfe bestimmter Geräte leicht gemessen werden kann — dringt nur innerhalb eines gewissen Wellenlängenbereiches zur Erdoberfläche durch, während die Ultrarotstrahlen der angrenzenden Bereiche vom Wasserdampf und von der Kohlensäure der Luft verschluckt werden. Ebenso gelangt kein kurzwelliges Ultraviolett von der Sonne zur Erde, da das Ozon der höheren Luftschichten Ultraviolett „frißt“. Wir sind also bei der Beobachtung der Sterne mit dem Lichtfernrohr auf einen engen Spektralbereich — ein „Fenster“ — beschränkt, der das sichtbare Licht sowie Teile des Ultrarot- und des Ultraviolettbereiches umfaßt. Das ist also nur ein winziger Bruchteil aller Arten von Schwingungen, die im Weltraum auftreten können.

Der neue Forschungszweig, die Radioastronomie, gründet sich nun darauf, daß die Erdatmosphäre auch für gewisse *Radiowellen* durchlässig ist, deren Wellenlängen im Vergleich mit jenen der öffentlichen Sendestationen gering sind. Sie liegen zwischen etwa

1 Zentimeter und 30 Meter. Sie sind damit freilich noch immer unvergleichlich größer als die Wellenlängen des sichtbaren Lichtes. Derartige von fernen Gestirnen kommende Radiowellen können also bei genügender Intensität auf der Erde aufgefangen werden. Damit haben die Astronomen ein „zweites Fenster“ nach dem Weltraum aufgestoßen.

Schon unsere *Sonne* ist ein Radiosender. Im Normalzustand der Sonne stammen die meisten Radiowellen aus der äußersten, sehr dünnen und vollkommen durchsichtigen Sonnenschicht, der sogenannten Corona. Viel stärkere Sender sind die dunklen Sonnenflecken. Nun ist die Sonne aber gar kein besonderes Gebilde, sondern bloß ein Durchschnittssterne in unserem Sternsystem, der Milchstraße. Daher muß man annehmen, daß die Kollegen der Sonne, die übrigen hunderttausend Millionen Sterne der Milchstraße, ebenfalls Radiosignale aussenden. Auch die außerhalb der Milchstraße liegenden Spiralnebel sind aktiv. So sind Signale vom Andromedanebel empfangen worden, die 750000 Jahre* unterwegs gewesen sein müssen. Die von den Sternen stammenden Radiosignale durchdringen selbst die „dunklen Wolken“ des Weltraums, die sonst jedes Licht verschlucken.

Wäre das menschliche Auge statt für Licht für Radiowellen empfänglich, so würde uns das Weltall ein ganz andersartiges Bild bieten. Vor allem würde uns die Sonne fleckig, aber auch größer erscheinen, da wir Sonnenflecken und Corona sehen würden.

Wahrhaft sensationell ist aber die Feststellung, daß es an einigen Stellen unseres Sternsystems, der Milchstraße, „*Radiosterne*“ gibt, die Radiowellen von millionenfach größerer Intensität aussenden als die Sonne. Freilich sind wir noch nicht sicher, ob es sich dabei wirklich um *einzelne* Sterne handelt oder nicht vielmehr um ganze *Regionen* des Weltalls. Vorläufig reicht nämlich das Auflösungsvermögen unserer Meßgeräte noch nicht aus, die Quelle der Radiowellen derart scharf zu lokalisieren.

Eine solche Quelle von Radiowellen liegt in jenem Teil der Milchstraße, in dem im Jahre 1054 eine kosmische Katastrophe ersten

* Siehe Fußnote Seite 13.

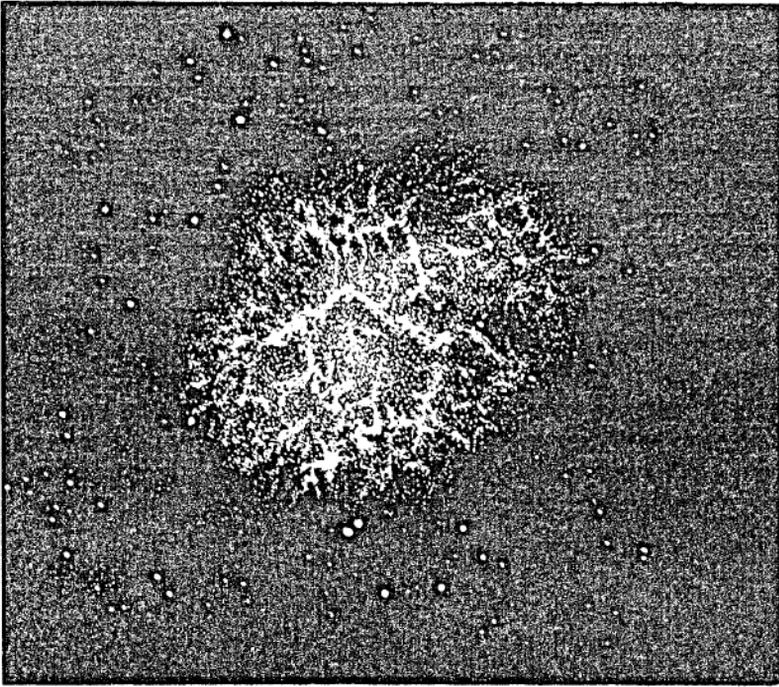


Abbildung 7
Der Krabbennebel.

Ranges beobachtet und von den zeitgenössischen chinesischen Schriftstellern beschrieben wurde. An dieser Stelle, im sogenannten Krabbennebel (*Abbildung 7*), ist nämlich vor 900 Jahren eine *Supernova* aufgetreten (vgl. Seite 21). In Wirklichkeit fand die Katastrophe vor etwa 5000 Jahren statt, da der Krabbennebel etwa 4000 Lichtjahre von uns entfernt ist, das Licht also für seine Reise 4000 Jahre benötigt. Es ist jedenfalls sehr interessant, daß die Produkte jener kosmischen Katastrophe sich durch besondere Aussendung von Radiowellen bemerkbar machen.

Noch hat die Wissenschaft keine vollständige Kenntnis, weshalb

Gestirne Radiowellen aussenden und wovon die Sendestärke abhängt, obwohl man schon manche Deutungsversuche gemacht hat. Ein Teil der Radiostrahlung stammt sicher von besonders heißen Orten. So schreibt man der Sonnencorona eine Temperatur von einer Million Grad Celsius zu. Die Corona ist also unvergleichlich heißer als die darunter liegende sichtbare Sonnenoberfläche, die „Photosphäre“, die „nur“ 6000 Grad heiß ist. Andere Quellen der kosmischen Radiostrahlung, zum Beispiel die Sonnenflecken, sind aber sicher nicht annähernd so heiß wie die Corona, ja nicht einmal so heiß wie die normale Photosphäre. Hier bleiben also noch Rätsel zu lösen!

Mit der als *kosmische Höhenstrahlung* bezeichneten Erscheinung haben die Radiowellen natürlich nichts zu tun. Im Gegensatz zu den Radiowellen besteht die kosmische Höhenstrahlung aus schnell bewegten Teilchen, vor allem aus Kernen von Wasserstoffatomen, aber nicht aus elektromagnetischen Wellen.

Das Geheimnis des leeren Raumes

Vor rund 350 Jahren wurde *Otto von Guericke* geboren. Guericke war Ratsherr der damals sehr wichtigen Reichsstadt Magdeburg, die zu seinen Lebzeiten durch die Armeen des kaiserlichen Generals Tilly niedergebrannt wurde. Guericke machte sich um den Wiederaufbau seiner Heimatstadt verdient und wurde deshalb auch zum Bürgermeister gewählt. Fortleben aber wird der Name Guericke als der eines der größten Naturforscher seiner Zeit. Guericke gelang es, einem luftgefüllten Gefäß mit Hilfe einer Pumpe Luft zu entziehen und das Gefäß auf diese Weise mehr oder weniger luftleer zu pumpen.

Guericke war ein echtes Kind des fortschrittlichen Bürgertums. Der neue Geist der Renaissance und des Humanismus, der in den Forschungen von *Kopernikus*, *Kepler*, *Giordano Bruno* und *Galilei* seinen Ausdruck gefunden hatte, übte auf Guericke starken Einfluß aus. Auch er verfocht im Gegensatz zur Lehre der Kirche die Auffassung, daß unsere Erde nicht den Mittelpunkt der Welt darstelle, sondern bloß ein Weltkörper unter vielen sei, ein Stern, der sich ebensowenig wie andere Sterne in Ruhe befindet, sondern sich durch den leeren Raum bewegt. So kam Guericke auf die Frage, was denn wohl dieser „leere Raum“ sei. Schon als Student wandte er sich dagegen, diese Frage — so wie das im Mittelalter üblich gewesen war — bloß gedanklich im Sinne vorgefaßter Meinungen, die sich auf die Bibel oder auf Schriften von Philosophen stützten, zu lösen; die Antwort sollte ihm das Experiment geben.

Bis zur Zeit Guericke war der Begriff des leeren Raumes von einem Schleier des Geheimnisses umwoben gewesen. Wohl hatte schon der geniale griechische Materialist *Demokrit*, der Schöpfer des Atombegriffes, angenommen, daß die Atome sich im leeren Raum bewegten — daß also zwischen den Atomen leerer Raum liege.

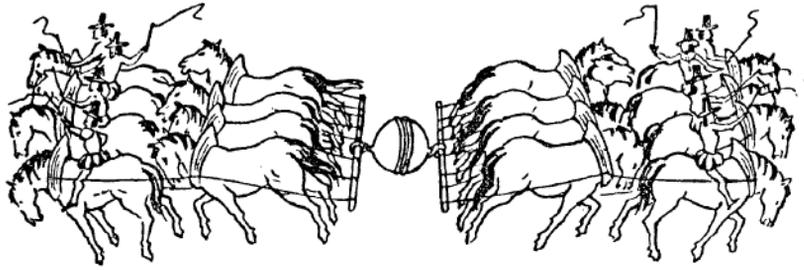


Abbildung 8

Öffentliche Vorführung der „Magdeburger Halbkugeln“ auf dem Regensburger Reichstag im Jahre 1654.

Aber ein Experiment, durch das man tatsächlich auf Erden leeren Raum von größerem Umfang schaffen könnte, hielt man lange für aussichtslos. Man vermeinte, daß die Natur einen „Abscheu vor dem leeren Raum“, einen „horror vacui“, hege, der vom Menschen nicht überwunden werden könne.

Die Durchführung von Versuchen über den leeren Raum — das *Vakuum* — war zur Zeit Guericques freilich nicht leicht. Über die Eigenschaften des leeren Raumes lagen keinerlei Erfahrungen vor. Die Schwierigkeiten, denen Guericques Versuche begegneten, waren daher außerordentlich groß. Mehrfach wurden Gefäße, die mit Mühe von „vierschrötigen Männern“ leergespumpt worden waren, durch den äußeren Luftdruck mit schrecklichem Knall zerquetscht. Schließlich aber wies Guericque vor dem Reichstag in Regensburg nach, daß zwei leergespumpte hohle Metallhalbkugeln, die durch den äußeren Luftdruck fest aneinandergepreßt wurden, nicht einmal von sechzehn Pferden auseinandergerissen werden konnten (*Abbildung 8*).

Nachdem Guericque bewiesen hatte, daß experimentell ein Vakuum erzeugt werden kann, daß also der „Abscheu vor dem leeren Raum“ nicht unüberwindlich ist, wurden immer bessere Luftpumpen gebaut. Aber nicht nur in der Naturwissenschaft, sondern auch in wichtigen Zweigen der Technik, ja sogar im Haushalt, hat das Vakuum — wenn man so sagen kann — seinen Platz gefunden.

Die Beschreibung aller Typen von Vakuumpumpen würde ein

Buch in Lexikonformat füllen. Die meisten Menschen kennen wohl die einfachste der Vakuumpumpen: die bescheidene Wasserstrahlpumpe. Sie wird auch zum Abpumpen überschüssiger Muttermilch verwendet. Diese billige Pumpe kann mit Hilfe eines Wasserleitungshahnes betrieben werden. Sie wirkt dadurch, daß der Wasserstrahl die Luftmoleküle, die sich in ihm „verfangen“, mit sich reißt und so aus dem leerpumpenden Gefäß fortschafft. Der größte Nachteil dieses Gerätes liegt darin, daß man bestenfalls 98 Prozent des Luftdruckes loswerden kann, da ja aus dem Wasserstrahl Wasser verdampft und dieser Wasserdampf in den zugänglichen Raum gelangt. Der Druck des Wasserdampfes macht bei normaler Temperatur etwa zwei Prozent des atmosphärischen Druckes aus.

Für etwas höhere Ansprüche verwendet man daher die verschiedenen Ausführungsformen von Ölpumpen, mit deren Hilfe man den Druck in dem zu evakuierenden Raum leicht bis auf den hunderttausendsten Teil des Atmosphärendruckes senken kann. Mit besonderen Mineralölen („Apiezonölen“), die bei gewöhnlicher Temperatur einen ganz besonders niedrigen Dampfdruck aufweisen, kann man ein noch millionenmal besseres Vakuum herstellen. Auch mit Quecksilberluftpumpen erzielt man sehr gute Hochvakua, wenn man Mittel zur Beseitigung des Quecksilberdampfes gebraucht. Ein geeignetes Mittel ist eine „Falle“. Das ist ein außen von flüssiger Luft umgebenes Glasgefäß, das in die Vakuumleitung eingebaut ist. Bei der Temperatur der flüssigen Luft (ungefähr minus 185° C) schlägt sich der Quecksilberdampf wie Reif nieder.

Freilich ist es mit dem einmaligen Wegschaffen der Luft aus einem Gefäß selbst dann nicht getan, wenn dessen Wände dicht halten. Viele Gefäßwände — auch solche aus Glas und aus Metall — haben nämlich die tückische Eigenschaft, Gasreste zu absorbieren, festzuhalten, aber im Laufe der Zeit an den evakuierten Raum freizugeben, so daß das Vakuum sich allmählich verschlechtert. Die Abgabe der Gasreste läßt sich durch Erhitzen der Gefäßwände während des Auspumpens — das sogenannte Ausheizen — beschleunigen. Übrigens läßt der Physiker seine Vakuumgefäße am liebsten mit der Pumpe in Verbindung. Wo das nicht möglich ist, zum Beispiel bei Verstärkerröhren, schützt man sich gegen die Ver-

schlechterung des Vakuums nach der Entfernung der Pumpe durch die Verwendung von sogenannten *Gettern*. Das sind reaktionsfähige Stoffe, beispielsweise Alkalimetalle, die die neu zum Vorschein kommenden Luftreste chemisch binden.

Auch die Messung der extrem kleinen Drucke wirft eine Fülle von Problemen auf. Anspruchslose Vakua lassen sich noch mit dem gewöhnlichen (Quecksilber-) Barometer kontrollieren. Für die Messung sehr kleiner Drucke braucht man jedoch Sondergeräte, zum Beispiel einen von *Pirani* erfundenen Druckmesser. Das Prinzip dieses Manometers besteht darin, daß ein elektrisch geheizter Draht um so mehr Wärme an die Umgebung verliert, je höher der Druck ist, je mehr Gasmoleküle also in der Zeiteinheit auf den Draht auftreffen und ihm Wärme entziehen können. Da der elektrische Widerstand des Drahtes von seiner Temperatur abhängt, kann durch eine Widerstandsmessung auf die Wärmeabgabe und damit auf den herrschenden Druck geschlossen werden.

Bei gewöhnlichem Druck befinden sich im Kubikzentimeter eines Gases (beispielsweise der Luft) etwa 25 Trillionen Moleküle. Diese können sich daher nur Bruchteile eines Millimeters weit fortbewegen, ohne mit anderen Molekülen zusammenzustoßen. Man sagt dann, daß die „mittlere freie Weglänge“ dieser Moleküle sehr klein ist. Bei den niedersten Drucken, die man experimentell erzeugen kann, wird die freie Weglänge jedoch sehr groß und kann dann viele Zentimeter betragen. Darauf beruhen einige der technischen Anwendungen der niederen Drucke.

So kommt es in einer *Verstärkerröhre (Radioröhre)* darauf an, daß die Elektronen, die dem Heizdraht entweichen, möglichst weit fliegen können, ohne mit Luftmolekülen zusammenzustoßen und von ihnen eingefangen oder aus der Richtung geworfen zu werden (*Abbildung 9*). Ebenso müssen die Elektronen auch die *Röntgenröhre* der Länge nach ungehindert durchfliegen können; nur dann treffen sie auf der sogenannten Antikathode mit voller Wucht auf und verwandeln dort ihre Energie in die Energie der durchdringenden Röntgenstrahlen. Desgleichen müssen sich die Elektronen in *Elektronenmikroskopen* zwischen Entstehungsort, Präparat und Bildschirm ungehindert bewegen können.

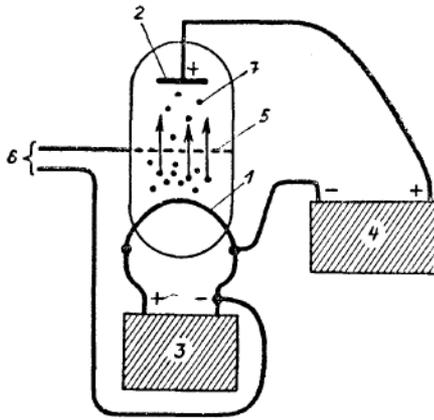


Abbildung 9

Schema einer einfachsten Elektronenröhre (Radio- oder Verstärkerröhre).

- | | |
|--|--|
| 1 ... Heizdraht (Kathode) | 5 ... Gitter |
| 2 ... Anode | 6 ... zu verstärkende Primärspannung |
| 3 ... Heizbatterie | 7 ... vom glühenden Heizdraht (1) aus- |
| 4 ... Anodenbatterie (Spannungsquelle) | geschleunigte Elektronen |

Aus einem anderen Grunde benötigt man ein gutes Vakuum in *Glühlampen*. Der Wolframdraht der Lampe muß bekanntlich auf sehr hoher Temperatur gehalten werden, da nur so eine ordentliche Lichtausbeute zu erzielen ist. Bei solcher Temperatur aber würde der Draht bei Berührung mit Luft alsbald verbrennen. Daher muß in der Birne entweder ein Vakuum herrschen oder es muß zunächst die Luft ausgepumpt und dann durch ein chemisch träges (reaktionsunfähiges) Gas, wie etwa das Edelgas Argon, ersetzt werden, das die Verbrennung nicht unterhält.

Daß die Luftfüllung von Geräten zunächst durch Pumpen entfernt wird, damit das Gerät anschließend mit einem besonderen Gas oder Gasmisch gefüllt werden kann, ist überhaupt in der Technik eine häufige Vorgangsweise. Zu den zahllosen Geräten, die diesem Verfahren unterworfen werden, gehört zum Beispiel auch das heute so berühmte *Geiger-Zählrohr*, mit dessen Hilfe radioaktive Strahlen nachgewiesen werden.

Dabei weiß jeder Physiker, daß die Vakuumtechnik keineswegs eitel Honig ist. Der Laie kann sich das grimmige Gesicht des Physikers schwer vorstellen, wenn dieser tage-, ja wochenlang ein winziges Loch in einer komplizierten Vakuumapparatur gesucht hat, durch das Luft einströmt. Die kleinen Löcher sind oft ebenso schädlich wie die großen, aber sie sind viel schwerer zu finden. Mit viel Scharfsinn sind auch Geräte erfunden worden, die die Suche nach Löchern erleichtern, aber glücklich ist der Physiker, der nicht buchstäblich tausende Arbeitsstunden bei der Lochsuche verbracht hat!

Nicht minder als in der Physik ist das Vakuum auch in der *Chemie* unentbehrlich. Zunächst einmal sind viele Stoffe bei gewöhnlicher und besonders bei erhöhter Temperatur luftempfindlich. Daher soll das Umschmelzen von solchen Stoffen, beispielsweise von reinsten Metallen, oder ihre Destillation am besten im Vakuum ausgeführt werden. Auch die Spiegel der Teleskope werden durch Bedampfen im Vakuum mit dem silbrig glänzenden Aluminium belegt.

Bei den *Destillationen* hat die Verwendung eines Vakuums besondere Bedeutung, da alle Stoffe bei vermindertem Druck leichter — nämlich schon bei geringerer Temperatur — in den Dampfzustand übergehen. Die Moleküle können eben besser durch die Flüssigkeitsoberfläche hindurchtreten und sich in den Dampfraum begeben, wenn in diesem nur relativ wenige Gas- oder Dampf-moleküle vorliegen, die sie wieder in die Flüssigkeit zurückstoßen können. Zum Beispiel kann man Glyzerin und Vitamin A überhaupt nur im Vakuum destillieren, da sie sich bei ihren für Normaldruck gültigen Siedepunkten zersetzen.

Auch Lösungen biologischer Wirkstoffe, denen man das Wasser entziehen muß, um sie trocken aufbewahren zu können, sind gegen Erwärmung oft sehr empfindlich. So könnte man durch Auskochen des Wassers kein brauchbares Trockenblut oder Trockenpenicillin herstellen. Die „Wirkstoffe“ würden jede Wirksamkeit verlieren. Hier wendet man das Verfahren der *Gefriertrocknung* an: Man kühlt die Lösung bis unter den Gefrierpunkt ab, wobei das Wasser in Eis übergeht, und läßt dieses verdampfen. Damit die Verdampfung in der Kälte aber nicht gar zu langsam vonstatten geht, erzeugt man oberhalb der Eis-Wirkstoff-Mischung ein ausgezeichnetes Vakuum

und gleicht so die ungünstige Wirkung der tiefen Temperatur auf die Verdampfungsgeschwindigkeit aus.

In den Zuckerfabriken konzentriert man den Zuckersaft bei Unterdruck. Hier dient der Unterdruck weniger dem Schutz gegen Zersetzung als — wegen der Herabsetzung der Arbeitstemperatur — der Ersparnis von Brennstoff.

Das beste Vakuum ist aber trotz allen Fortschritten der Vakuumtechnik nach wie vor jenes, das Guericke ursprünglich vor Augen hatte: das *Vakuum des Weltalls*. Die Astronomen haben festgestellt, daß das Gas im Raum zwischen den Sternen so verdünnt ist, daß im Durchschnitt auf jeden Kubikzentimeter (ganz annähernd) nur mehr ein einziges Atom kommt. Damit ist das Vakuum des Weltraumes ungefähr einmillionmal besser als das beste von Menschenhand erzeugte Vakuum. Allerdings sind die „interstellaren Räume“ (Räume zwischen den Sternen) so riesenhaft, daß der „leere“ Raum im ganzen noch immer ungefähr ebensoviel Materie enthält wie alle Sterne zusammengenommen!

Der Kampf um das Vakuum, den Guericke begonnen hat, ist also trotz vielen Siegen noch keineswegs beendet. Wir müssen immer bessere Vakua schaffen, um neue Erkenntnisse über das Verhalten der Materie in äußerster Verdünnung zu gewinnen. Vielleicht wird man aber, noch ehe man in irdischen Laboratorien ein ebenso gutes Vakuum, wie es im Weltraum besteht, herstellen kann, manche Experimente in den Raum zwischen den Sternen verlegen. Als Versuchsstationen müßten Weltraumraketen oder Weltraumstationen (künstliche Monde) dienen. Die technischen Voraussetzungen zu ihrem unbemannten oder bemannten Aufstieg aus der Lufthülle der Erde sind heute bereits gegeben.

Steine und Eisen aus dem Weltraum

Seit Ende des Zweiten Weltkrieges haben die Physiker eine ganz neue Methode zur Untersuchung von fallenden *Meteoriten* entwickelt. Diese Methode hat ursprünglich die *Radar- (Radioortungs-) Geräte* benutzt, die aus dem Krieg übriggeblieben und billig zu haben waren.

Erst zu Anfang des 19. Jahrhunderts begann die Wissenschaft die Berichte über Fälle von Meteoriten ernst zu nehmen. Zwar gab es in den Überlieferungen der Völker mehr oder weniger phantastische Berichte über Steine, die unter Donner und Blitz vom Himmel gefallen seien. Solche Ereignisse wurden als Zeichen des Wohlwollens oder auch des Zornes der Götter gedeutet. Zum Beispiel soll der heilige „Schwarze Stein“ der berühmten Kaaba, die in Mekka den Mittelpunkt der heiligen Stätten des Islam bildet, vom Himmel gefallen sein.

Im 17. und 18. Jahrhundert jedoch, als Physik und Astronomie stürmische Fortschritte machten, waren die Gelehrten gegenüber derartigen Berichten skeptisch eingestellt. Diese Einstellung war eine gesunde Reaktion auf den weitverbreiteten mittelalterlich-feudalen Wunder- und Fabelglauben. Eine derartige skeptische Einstellung war es ja auch, die der Wissenschaft den Glauben daran nahm, daß in Mehlsäcken durch „Urzeugung“ spontan Mäuse und Ratten entstehen können oder daß Hexen in der Walpurgisnacht auf Besenstielen reiten. Es waren oft gerade die besten Wissenschaftler jener Zeit, die auch die Berichte über Steine vom Himmel ablehnten oder zumindest versuchten, einen irdischen Ursprung der herniederfallenden Steine nachzuweisen. So hatte man festgestellt, daß Wirbelstürme in fernen Gegenden Erd- und Sandmassen samt den in ihnen sitzenden Fröschen in die Lüfte heben und anderswo niedergehen lassen können.

Die skeptische Einstellung erleichterte jedenfalls auch die Unterscheidung der glaubwürdigeren von den weniger glaubwürdigen Berichten. Zu Ende des 18. Jahrhunderts wurde dann die Existenz von Meteoriten endgültig nachgewiesen. Das war zum großen Teil das Verdienst eines juristisch vorgebildeten Wissenschaftlers. Wie der aus Wien stammende und von den Faschisten aus Deutschland vertriebene hervorragende Meteoritenforscher Professor *Fritz Paneth* hervorhebt, ermöglichte dem Physiker *Chladni* wohl gerade seine juristische Denkweise die Trennung von Wahrheit und Phantasie in den Beschreibungen der Augenzeugen. Chladni sammelte ein umfangreiches Beweismaterial, so daß im Jahre 1803 endlich auch die früher ablehnende Pariser Akademie der Wissenschaften umgestimmt wurde.

Seit damals sind tausende Meteoriten gesammelt und den Museen einverleibt worden. Die größte und berühmteste Sammlung der Welt befindet sich im Naturhistorischen Museum in Wien. Freilich gelangt nur ein ziemlich kleiner Teil der zehn Milliarden Meteoriten, die täglich auf die Erde niederstürzen, tatsächlich bis an die Erdoberfläche. Sobald sie nämlich mit ihren enormen Geschwindigkeiten (oft fünfzig Kilometer in der Sekunde) in die Erdatmosphäre eintreten, erhitzen sie sich durch die Reibung an der Luft so sehr, daß die kleineren unter ihnen vollkommen verdampfen. Die größeren erleiden Schaden, indem sie oberflächlich schmelzen oder infolge der ungleichmäßigen Erhitzung in Stücke zerspringen.

Es gibt zwei Hauptarten von Meteoriten. Die einen sind wirkliche Steine. Der Laie kann solche Steine natürlich nur unter günstigen Bedingungen von dem Gestein der Erdoberfläche unterscheiden; zum Beispiel, wenn sie auf Schnee liegenbleiben. Die Steine zerspringen in der Hitze besonders leicht. Deshalb sind große Steine ziemlich selten. Der größte bekannte Meteorstein (294 kg schwer) ist der von Knyahinya in Ungarn, der sich im Wiener Museum befindet. Dann gibt es erbsengroße Steinchen und sogar Meteorstaub.

Außer den Steinmeteoriten fallen auch Eisenmeteoriten, die wesentlich solider sind, zur Erde. In ihnen ist mit dem metallischen Eisen metallisches Nickel legiert. So enthielt die Masse des ursprünglich tausende Tonnen wiegenden Meteoriten von Sichote-Alin in Ost-

sibirien (12. Februar 1947), der beim Aufschlag hunderte Krater bildete, in allen Teilen gleichmäßig 94% Eisen, 5,4% Nickel und 0,16% Kobalt. Wenn die Oberfläche der Eisenmeteoriten angeschliffen und mit Säure angeätzt wird, so erhält man die wunderschönen eisblumenartigen, nach ihrem Entdecker benannten *Widmannstätten* Figuren. Durch diese Figuren läßt sich Meteor-eisen von irdischem Eisen unterscheiden, das eine andere Struktur hat. Den Trümmern des Meteoriten von Sichote-Alin wurde mit Minensuchgeräten nachgespürt.

Die allergrößten Meteoriten allerdings sind nicht „greifbar“. Zum Beispiel ist — offenbar in vorgeschichtlicher Zeit — in Arizona ein Meteorit niedergegangen, der einen Krater von 1300 Meter Durchmesser und 175 Meter Tiefe in den Boden geschlagen hat (*Abbildung 10*). Auch die Mondkrater können ihre Entstehung dem Einfall von Meteoriten verdanken. Die Mondkrater bleiben auch durch Jahr-millionen unverändert, da Wasser, Wind und Vegetation fehlen.

Der größte Meteorfall in historischer Zeit hat am 30. Juni 1908 in Ostsibirien stattgefunden. Dieser „tungusische“ Meteorit mag eine Million Tonnen gewogen haben. Er ging unter gewaltiger Feuererscheinung — zum Glück — in einem fast unbewohnten Waldgebiet nieder. Wie viele einsame Jäger damals dort den Tod gefunden haben, wissen wir freilich nicht. Auf einer Fläche von tausend Quadratkilometer wurden die Waldbäume geknickt und verbrannt. In den letzten Jahrzehnten wurden mehrere Expeditionen nach der Einschlagstelle entsandt. Man hat auch Fliegeraufnahmen der Gegend gemacht. Das ist allerdings gar nicht so einfach, weil man die Konturen der Katastrophenstelle nur dann klar erkennt, wenn zwar einerseits der Schnee schon geschmolzen, aber andererseits die Vegetation noch nicht entwickelt ist. Gerade im Klima Ostsibiriens ist nun der Frühling sehr kurz, so daß nur ungefähr eine Woche zur Verfügung steht.

Ob sämtliche Meteoriten aus unserem Sonnensystem stammen oder ob es unter ihnen auch Besucher aus größeren Entfernungen gibt, ist noch nicht endgültig geklärt. Man schließt allerdings mit Sicherheit aus der Form der Bahn, die die Meteore helleuchtend in der Atmosphäre vor dem Auftreffen beschreiben, daß mindestens

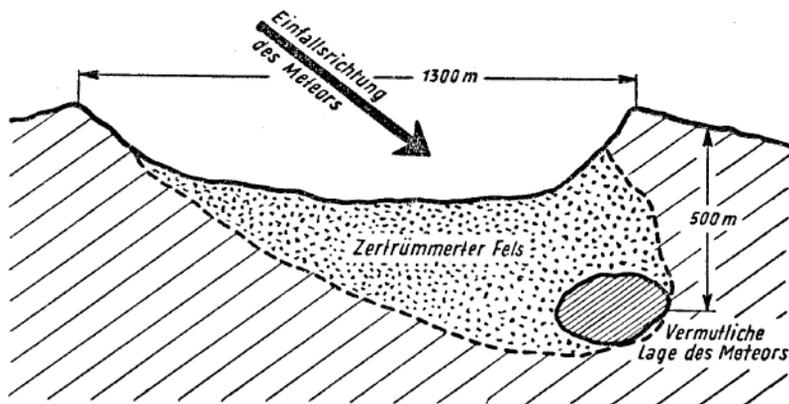


Abbildung 10

Vertikalschnitt durch den Meteorkrater von Arizona.

die große Mehrheit aus unserem Sonnensystem stammt. In diesem Fall handelt es sich wohl um die Trümmer eines ehemaligen Planeten, der unter geheimnisvollen Umständen explodiert ist. Man hätte sich dann vorzustellen, daß die Meteorsteine aus der Kruste, die Eisenmeteore aber aus dem Kern jenes einstigen Planeten stammen — ebenso wie unsere Erde unter ihrer steinernen Kruste einen Eisen-Nickel-Kern aufweisen dürfte. Vom Alter der Meteoriten ist an anderer Stelle die Rede (Seite 105).

Die Bestimmung der Meteoritenbahnen ist sehr schwierig, solange man nur auf Aussagen von Beobachtern angewiesen ist, die zufällig im richtigen Augenblick in die richtige Richtung geschaut haben. Hier erweist sich der besondere Wert der neuen Radar-Untersuchungsmethode. Die Radarechos geben uns nämlich ein objektives Maß für die Entfernung des Meteoriten von der Beobachtungsstelle. Das Prinzip der Radargeräte besteht bekanntlich darin, daß elektromagnetische Wellen, die ein Sender erzeugt und in eine bestimmte Richtung lenkt, wie ein Echo von Gegenständen reflektiert werden. Der zwischen der Erzeugung und dem Wiedereintreffen der Welle verstreichende Zeitraum ist um so größer, je entfernter der Gegenstand ist. Da die Geschwindigkeit der Welle be-

kannt ist — sie beträgt wie die Lichtgeschwindigkeit 300 000 km in der Sekunde —, kann man aus der verstrichenen Zeit die Entfernung berechnen. Wenn man denselben Meteoriten mit Radargeräten von verschiedenen Stellen aus gleichzeitig während seiner ganzen Flugzeit anvisiert, was automatisch geschehen kann, kann man das Bild seiner Bahn völlig eindeutig entwerfen. Die Wellen werden dabei weniger durch den — relativ kleinen — Meteoriten selbst als durch die glühheiße Luftzone zurückgeworfen, die ihn auf seinem Flug umgibt.

Es sollte sich also jetzt bald herausstellen, ob es neben den Meteoriten aus unserem Sonnensystem noch Meteoriten gibt, die eine weitere Reise hinter sich haben. Übrigens können die Meteoriten mit den Radargeräten natürlich auch bei Tage und durch Wolken hindurch beobachtet werden — wenn man also ihr Licht gar nicht sieht. Es ist auch schon gelungen, ein Radioecho vom Mond zu erhalten. Die Welle braucht für den Hin- und den Rückweg zusammen etwa 2·4 Sekunden. Diese Versuche stellen in dem Sinne das erste astronomische Experiment der Weltgeschichte dar, daß der Mensch nicht bloß passiver Beobachter ist, sondern aktiv auf einen Himmelskörper einwirkt.

Eine weitere wichtige Methode zur Untersuchung der Meteoriten besteht in deren chemischer Analyse. Die Arbeiten von *Paneth, Viktor Moritz Goldschmidt* und anderen haben zunächst einmal gezeigt, daß die Meteoriten die gleichen chemischen Elemente enthalten wie unsere Erde. Nach den geltenden wissenschaftlichen Theorien wäre auch gar nichts anderes denkbar, da man ja alle chemischen Elemente, die überhaupt existieren können, auf der Erde gefunden hat.

Aber darüber hinaus hat man festgestellt, daß die Zusammensetzung der einzelnen Meteelemente aus Isotopen der Zusammensetzung der entsprechenden irdischen Elemente gleich ist. (Die chemischen Elemente können nämlich schwerere oder leichtere Atome haben. Atome, die sich bloß durch ihr Gewicht, aber nicht durch ihre chemischen Eigenschaften unterscheiden, heißen *Isotope*.) Beispielsweise besteht meteoritisches ebenso wie irdisches Chlor zu 76% aus leichteren und zu 24% aus schwereren Atomen.

Daß auch die Zusammensetzung der Meteelemente aus Isotopen

die gleiche ist wie die der irdischen Elemente, ist gar nicht selbstverständlich. Vielmehr liegt darin ein weiteres starkes Argument dafür, daß die Erde und die Meteoriten ihre Materie aus der gleichen Quelle bezogen haben, daß also die Meteoriten unserem eigenen Sonnensystem entstammen.

So erscheint es uns also heute als ein Hauptzweck der Meteorforschung, daß wir durch sie unmittelbar Kenntnis über den Bau der Materie außerhalb unserer Erde erlangen. Die Meteorforschung ergänzt damit in wertvoller Weise die Spektroskopie, die uns ebenfalls über die Chemie anderer Weltkörper unterrichtet.

Atome und Strahlen

Die Atomlehre heute

Durch die Entfesselung der Atomenergie ist die Atomlehre (Atomistik) gewaltsam in das Blickfeld der Menschheit gerückt worden. In der Atomistik gehen wie in allen Zweigen der Wissenschaft theoretische und praktische Fortschritte Hand in Hand. So sind gerade in den letzten zwanzig Jahren, also in dem Zeitraum vor und nach der Ausarbeitung der Methoden zur Ausnützung der Atomenergie, auch in der theoretischen Atomlehre ganz gewaltige Fortschritte gemacht worden.

Sprechen wir zunächst von der geschichtlichen Entwicklung der Atomistik! Der Begriff „Atom“ wurde vor zweieinhalb Jahrtausenden von dem Griechen *Demokrit* geprägt. Nach Demokrit besteht die Welt aus den Atomen und dem leeren Raum. Die Atome unterscheiden sich voneinander durch Größe, Gestalt, Lage und Ordnung. Sie sind in sich selbst unveränderlich, aber bei ihrer ständigen Bewegung im Raum haben sie durch mannigfache Verbindungen und Trennungen die so wechselvolle, prächtige Welt gebildet.

Der kühne Gedanke des Demokrit wurde in der antiken Welt noch von dem griechischen Philosophen *Epikur* und dem römischen Dichter *Lukrez* vertreten. Da aber die antike Gesellschaft keine entwickelte experimentelle Naturwissenschaft kannte und daher die Existenz der Atome zwar vermuten, aber nicht beweisen konnte, setzte sich die Atomistik nicht durch. Zu einem wirklichen Durchbruch verhalf der Atomistik auch die Unterstützung durch *Newton* und *Lomonossow* im 17. und im 18. Jahrhundert noch nicht.

Die Atomistik wurde erst vor wenig mehr als einem Jahrhundert auf eine solide experimentelle Grundlage gestellt. Jetzt waren es nicht Philosophen und zunächst auch nicht Physiker, sondern die Chemiker der industriellen Revolution, die von Atomen sprachen. Die Annahme

der Lehre von den Atomen wurde nämlich für das fortschrittliche, aufbauende Bürgertum jener Zeit eine Notwendigkeit. Man wollte und mußte ja die Vorgänge in den Hochöfen, in den Schwefelsäure- und in den Zuckerfabriken verstehen, um sie gewinnbringend zu gestalten. Ohne die Atomlehre konnte es keine rationelle Zusammensetzung der Hochofenfüllung aus Eisenerz, Koks und Flußmitteln geben und ohne rationelle Zusammensetzung der Füllung keinen Profit.

Zwar gab es noch im 19. Jahrhundert vereinzelt wissenschaftliche Gegner der Atomistik. Zu ihnen gehörte — bis in unser Jahrhundert — der bekannte österreichische Physiker und idealistische Philosoph *Ernst Mach*, der deshalb von seinem Wiener Kollegen, dem materialistisch eingestellten Physiker *Ludwig Boltzmann*, einem der größten Wissenschaftler aller Zeiten, lebhaft angegriffen wurde. Der Siegeslauf der Atomistik war aber nicht mehr aufzuhalten; zu gut bewährte sie sich bei der Erklärung der Natur und als Grundlage für die industrielle Praxis!

Ein neuer großartiger Aufschwung der Atomistik begann mit der Entdeckung des Elektrons und der Radioaktivität in den Neunzigerjahren des vorigen Jahrhunderts. Nun wurde es möglich, sich nicht nur mit den Atomen als Ganzen zu befassen, wie dies Chemie und Physik bis dahin getan hatten, sondern auch der Frage des inneren Aufbaus der Atome näherzutreten. Auch hier gingen Theorie und Praxis wieder Hand in Hand. Sehr bald wurde das aus dem Atom freigemachte Elektron technisch verwendet, zum Beispiel in Röntgen- und in Radioröhren; schließlich — Ende der Dreißigerjahre des 20. Jahrhunderts — gewann mit der Verwendung der Atomenergie auch die Erforschung der Atomkerne selbst unmittelbar praktisches Interesse. Die finanziellen Mittel, die für diesen Zweig der Atomistik heute zur Verfügung stehen, sind bekanntlich außerordentlich groß. So darf es uns nicht wundernehmen, daß auch die „rein theoretischen“ Entdeckungen einander in raschem Tempo folgen.

Wie stellen wir uns heute die Atome vor? Nach dem allgemein angenommenen Atommodell, das vor etwa 45 Jahren von den beiden Physikern *Bohr* und *Rutherford* entworfen wurde, ist das Atom mit einem Planetensystem zu vergleichen. So wie die Sonne im Mittelpunkt unseres Planetensystems steht, befindet sich der sogenannte

Atomkern im Mittelpunkt des Atoms. Der Kern besteht aus einer Anzahl (je nach der Art des Atoms in der Natur zwischen 1 und 238) Einzelteilchen, die alle etwa gleich schwer sind. Die Einzelteilchen können elektrisch — und zwar positiv — geladen oder sie können ungeladen (neutral) sein; die positiv geladenen Kernteilchen heißen *Protonen*, die ungeladenen *Neutronen*. Alle Protonen tragen genau die gleiche Ladung („Einheitsladung“), und da nur *sie* zur gesamten elektrischen Ladung des Atomkerns beitragen, beträgt diese genau so viele Einheitsladungen, wie der Kern Protonen enthält.

Um den Kern kreisen in großen Entfernungen die *Elektronen*. Jedes ist 1836mal leichter als ein Proton. Die Entfernung der äußersten Elektronen vom Atomkern (also der Halbmesser des Atoms) beträgt je nach der Natur des Atoms zwischen 0,000000005 ($=5 \cdot 10^{-9}$) cm und einem Vielfachen davon. Dagegen macht der Halbmesser des Atomkerns selbst nur etwa 0,00000000000015 bis 0,000000000001 ($=1,5 \cdot 10^{-13}$ bis 10^{-12}) cm aus — also einen verschwindend kleinen Teil des Halbmessers des Gesamtatoms; ebenso wie im Sonnensystem ist also auch im Atom der größte Teil des Raumes leer.

Allerdings besteht doch ein wesentlicher Unterschied: Im Sonnensystem nämlich werden die Planeten durch die Schwerkraft festgehalten, im Atom die Elektronen aber durch elektrische Anziehungskräfte. Die kreisenden Elektronen sind negativ geladen, so daß der positiv geladene Kern sie anzieht. Die negative Ladung eines einzelnen Elektrons ist genau ebenso groß wie die positive Ladung eines einzelnen Protons. Da die Elektronen also auch Einheitsladungen tragen, kann der Atomkern gerade ebenso viele Elektronen als „Planeten“ im Atom festhalten, wie er selbst Protonen enthält. Das Atom besteht also aus dem Kern und aus der Gesamtheit der um ihn kreisenden Elektronen, die auch als Elektronenhülle bezeichnet wird.

Der Kern des Wasserstoffatoms ist der einfachste und leichteste Kern. Er besteht nämlich nur aus einem einzigen Proton, das infolgedessen auch nur von einem einzigen Elektron umkreist werden kann — und zwar mit der Sekundengeschwindigkeit von 2200 Kilometer 6,6 Milliarden Male in jeder Sekunde. Wenn das Proton in fünf-billionenfacher Vergrößerung durch eine Kirsche von $1\frac{1}{2}$ cm Durch-

messer dargestellt wird, befindet sich das Elektron, dessen Größe der des Protons ähnlich ist, in einer Entfernung von 250 Meter.

Die schwersten Atome unter allen in der Natur vorkommenden Stoffen hat das Uran. In jedem Urankern sind 92 Protonen und außerdem noch (in der Regel) 146 Neutronen vereinigt. Da die Neutronen aber mangels einer elektrischen Ladung keine Elektronen festhalten können, besteht die Elektronenhülle doch nur aus 92 Elektronen.

Die Atome sind, wie von Demokrit vermutet und von Boltzmann genau berechnet wurde, stets in lebhafter Bewegung begriffen. Die Geschwindigkeit dieser Bewegung steigt mit der Temperatur. Zum Beispiel bewegen sich bei gewöhnlicher Temperatur die (Sauerstoff- und Stickstoff-) Atome der Luft mit einer Sekundengeschwindigkeit von mehreren hundert Meter. Freilich stoßen sie dabei oft mit ihresgleichen zusammen, wodurch sie immer wieder aus ihrer Richtung abgelenkt werden; daher verspürt man auch keinen „Orkan“ — weil der Orkan in alle Richtungen gleichzeitig bläst. Diese unregelmäßige Bewegung der Atome in einem Gas, zum Beispiel in der Luft, gleicht einigermaßen der ruhelosen Bewegung von Mücken in einem Schwarm. In festen Körpern bewegen sich die Atome zwar auch sehr schnell, doch ist diese Bewegung nicht frei und ungeordnet, sondern sie besteht aus überaus raschen Schwingungen um eine Ruhelage.

Wenn die Atome sich einander nähern, treten natürlich zunächst ihre äußersten Teile, also die Elektronenhüllen, miteinander in Berührung. Manchmal ziehen sich die Hüllen gegenseitig an und halten einander fest, obwohl die Elektronen alle negativ geladen sind. Man spricht dann davon, daß die Atome miteinander eine Verbindung eingegangen sind; das Produkt ist ein *Molekül*. Zum Beispiel besteht die Luft aus Molekülen des Sauerstoffs und aus solchen des Stickstoffs, wobei jedes Molekül aus zwei Atomen Sauerstoff bzw. zwei Atomen Stickstoff besteht. Ein Atom Kohlenstoff (C) bildet mit einem Atom Sauerstoff (O) ein Molekül des Gases Kohlenoxyd (CO), das der giftige Bestandteil des Leuchtgases ist; mit zwei Atomen Sauerstoff verbindet sich ein Atom Kohlenstoff zu einem Molekül des verhältnismäßig harmlosen Gases Kohlensäure (richtiger Kohlendioxyd, CO₂).

Bei der Molekülbildung bleiben die Kerne, da sie tief im Inneren

der Atome ruhen, völlig unberührt und unbeteiligt; die Bildung der chemischen Verbindung betrifft nur die äußeren Elektronen! Daher ist für die Verbindungsfähigkeit von Atomen die Zahl der Elektronen maßgebend. Eine Ordnung der Atomarten, die im wesentlichen auf dieser Grundlage beruht, wurde zuerst von *Mendelejew* im Jahre 1869 aufgestellt; das ist das berühmte *Periodische System der Elemente*.

Atomarten, die sich wohl durch die Anzahl der Neutronen im Kern, nicht aber durch die Anzahl der Kern-Protonen und daher auch nicht durch die Anzahl der kreisenden Elektronen unterscheiden, heißen *Isotope*. Da die chemischen Eigenschaften der Atomarten nur durch die Elektronenhülle bestimmt sind, verhalten sich Isotope trotz des verschiedenen Baus ihrer Kerne in bezug auf ihre chemischen Reaktionen gleich. Daher bildet jede „Familie“ von Isotopen ein einziges chemisches Element. Beispielsweise enthält das Wasser der Natur außer dem gewöhnlichen Wasserstoff oder dem *Protium* in geringer Menge den schweren Wasserstoff oder das *Deuterium*. Im Atomkern des Deuteriums findet sich neben dem Proton noch ein Neutron.

Während *chemische Umwandlungen*, also Reaktionen, die an den *Elektronenhüllen* der Atome Veränderungen bewirken, seit Jahrtausenden wohlbekannt sind, fand man erst 1896 Erscheinungen, die später dadurch erklärt werden mußten, daß auch die *Atomkerne* selbst Veränderungen unterliegen können. Damals entdeckten *Becquerel* und das Ehepaar *Curie* in Paris die *Radioaktivität*. Wie man heute weiß, besteht die Radioaktivität in dem spontanen Zerfall (also in einer Umwandlung) von Atomkernen. Manchmal entsteht beim Zerfall ein Elektron, das den Kern mit großer Geschwindigkeit verläßt (Beta-Teilchen). In anderen Fällen wieder werden schwerere Kernbruchstücke herausgeschleudert, zum Beispiel Trümmer, die aus zwei Protonen und zwei Neutronen bestehen (Alpha-Teilchen). Es gibt auch radioaktive Vorgänge, bei denen überhaupt keine Teilchen, sondern bloß eine Art (unsichtbarer) Lichtstrahlung ausgesendet wird (Gamma-Strahlung).

1919 gelang Rutherford zum erstenmal die künstliche Herbeiführung einer Atomkernreaktion, das heißt einer Umwandlung von Kernen. 1934 erzeugten *Frédéric Joliot* und *Irène Curie* zum ersten-

mal künstlich radioaktive Atomkerne. In den Uranreaktoren (Atomenergieanlagen), die seit 1942 betrieben werden, erfolgen solche künstliche Umwandlungen in größtem Maßstab. Sie liefern Energie, die man einfach „Atomenergie“ nennt, aber genauer als Atomkernenergie bezeichnen sollte. Die Energieausbeute bei den Atomkernreaktionen ist unvergleichlich größer als bei den gewöhnlichen chemischen (Atomhüllen-) Reaktionen. So ist ein Kilogramm reines Uran ungefähr 2500 Tonnen Steinkohle gleichwertig.

Proton, Neutron und Elektron sind nun gewiß nicht die einzigen existierenden Elementarteilchen, Urbausteine der Materie. Zum Beispiel bestehen gute Gründe für die theoretisch fundierte Annahme des Wieners *Wolfgang Pauli* — eines der ungezählten hervorragenden Forscher aus Österreich, die man seelenruhig ins Ausland ziehen ließ —, daß bei den radioaktiven Umwandlungen, bei denen Elektronen ausgeschleudert werden, gleichzeitig noch ein zweites Teilchen entsteht. Dieses wird als *Neutrino* bezeichnet. Es trägt keine elektrische Ladung und wiegt noch viel weniger als ein Elektron. Aus diesen Gründen wirkt das Neutrino nur sehr wenig auf Materie ein und ist auch nur schwer nachzuweisen. Trotzdem liegen Experimente vor, die die Existenz dieser Neutrinos zu beweisen scheinen. Weitere Elementarteilchen sind die sogenannten *Mesonen*, die man als Bestandteile der auf die Erdoberfläche niedergehenden, durch die kosmische Strahlung verursachten Strahlenschauer kennt.

Im Gegensatz zu Demokrit glauben wir also nicht mehr, daß die Atome unveränderlich sind. Die Vielfalt und Veränderlichkeit der Elementarteilchen zeigt, daß die Natur reicher ist, als man sich noch vor kurzer Zeit vorgestellt hat. Man darf hoffen, daß die Physik uns eines Tages auch die Erklärung liefern wird, warum es in der Natur gerade die existierenden (schon oder noch nicht aufgefundenen) und keine anderen Arten von Elementarteilchen gibt, warum also zum Beispiel Protonen immer gerade 1836mal schwerer sein müssen als Elektronen.

Kosmische Strahlen

In einem Teil der Presse werden Nachrichten über Fortschritte auf dem Gebiet der Erforschung der kosmischen oder Höhenstrahlung gewöhnlich in einer Form gebracht, als ob es sich dabei um die Entwicklung neuer Waffen handle.

Tatsache ist, daß irgendeine praktische Anwendung der Ergebnisse der Höhenstrahlenforschung bisher nirgends ins Auge gefaßt worden ist. Noch sind keinerlei Vorschläge gemacht worden, solche Ergebnisse für praktische militärische oder auch friedliche Zwecke zu verwenden. Dafür sind technische Gründe maßgebend, von denen gleich die Rede sein soll.

Freilich bedeutet dies nicht, daß nicht neue Entdeckungen auf diesem — wie auf jedem anderen — Gebiet plötzlich auch praktische Perspektiven eröffnen könnten. Ähnlich schien ja seinerzeit auch die Erforschung der Radioaktivität wenig praktischen Nutzen zu versprechen. Erst die Entdeckung der Kernspaltung des Urans im Jahre 1938 hat dann mit einem Male in unvorhergesehener Weise das Tor zur Praxis (Nutzbarmachung der Atomenergie) aufgestoßen.

Die kosmischen Strahlen oder Höhenstrahlen kommen aus dem Weltraum. Doch ist ihr genauer Ursprung unbekannt. Unbekannt ist auch, durch welche physikalischen Vorgänge diese Strahlen entstehen. Bekannt ist aber, daß die Strahlen nicht einheitlich sind, sondern aus einer Mischung äußerst schnell bewegter Teilchen verschiedener Art bestehen. Die Strahlen enthalten bei ihrer Reise durch den Weltraum hauptsächlich Atomkerne von Wasserstoff, also Protonen, daneben aber auch schwerere Atomkerne, zum Beispiel die des Sauerstoffs und des Eisens.

Beim Durchgang durch die Atmosphäre stoßen die kosmischen Teilchen mit den Atomen der Luft zusammen. Dabei verlieren sie

ihre Energie, indem sie diese auf die von ihnen geramnten Teilchen übertragen. An der Erdoberfläche beobachtet man daher statt der einzelnen Höhenstrahlen, die auf die Erdatmosphäre auf treffen, ganze „Schauer“, die sich über hunderte Quadratmeter erstrecken und Millionen Einzelstrahlen umfassen können. Das erkennt man daran, daß alle Meßgeräte, die über eine solche Fläche verteilt sind, innerhalb eines winzigen Bruchteils einer Sekunde sämtlich gleichzeitig betätigt werden. Diese Strahlenschauer stellen also nicht die ursprüngliche, die *primäre* Strahlung dar, sondern sie bestehen aus *Sekundärteilchen*. In ihnen spielen die *Elektronen* und die *Mesonen* die Hauptrolle. Auch kurzwellige *Licht- (Gamma-) Strahlung* tritt in den Schauern auf (*Abbildung II*).

Die physikalischen Fachzeitschriften sind heute zu einem erheblichen Teil mit Forschungsarbeiten über kosmische Strahlen gefüllt. Es werden also offenbar für diese Forschungen anscheinliche Mittel ausgeworfen. Worin liegt nun das Interesse an den Strahlen?

Das Motiv liegt in dem außerordentlichen *Energiereichtum* der Strahlen. Die Erforschung der Höhenstrahlen gestattet nämlich Untersuchungen über das Verhalten der Materie unter ganz besonderen Bedingungen, die sonst in unseren irdischen Laboratorien nicht zu verwirklichen sind. Dies sei in folgender Weise veranschaulicht: Man kann gewöhnliche *chemische Reaktionen* zur Erzeugung von Elektrizität verwenden (zum Beispiel in Taschenlampenbatterien oder in Akkumulatoren) oder umgekehrt chemische Reaktionen durch Einwirkung von Elektrizität herbeiführen (zum Beispiel bei der fabrikmäßigen elektrolytischen Herstellung von Aluminiummetall). Die Spannungen, die bei solchen „elektrochemischen“ Reaktionen gewonnen werden oder umgekehrt für deren Herbeiführung erforderlich sind, liegen bei einigen Volt. So liefert eine Akkumulatorzelle etwa zwei Volt. Das kann man so ausdrücken, daß die treibende Kraft chemischer Reaktionen ganz allgemein einige Volt beträgt.

Die *Atomkernreaktionen*, darunter auch die spontan erfolgenden radioaktiven Reaktionen, liefern bzw. erfordern treibende Kräfte, die meistens millionenmal größer sind. Zum Beispiel entspricht der Zerfall des radioaktiven Phosphors einer Spannung von 1,7 Millionen Volt. Das ist so zu verstehen, daß die beim radioaktiven Zerfall aus

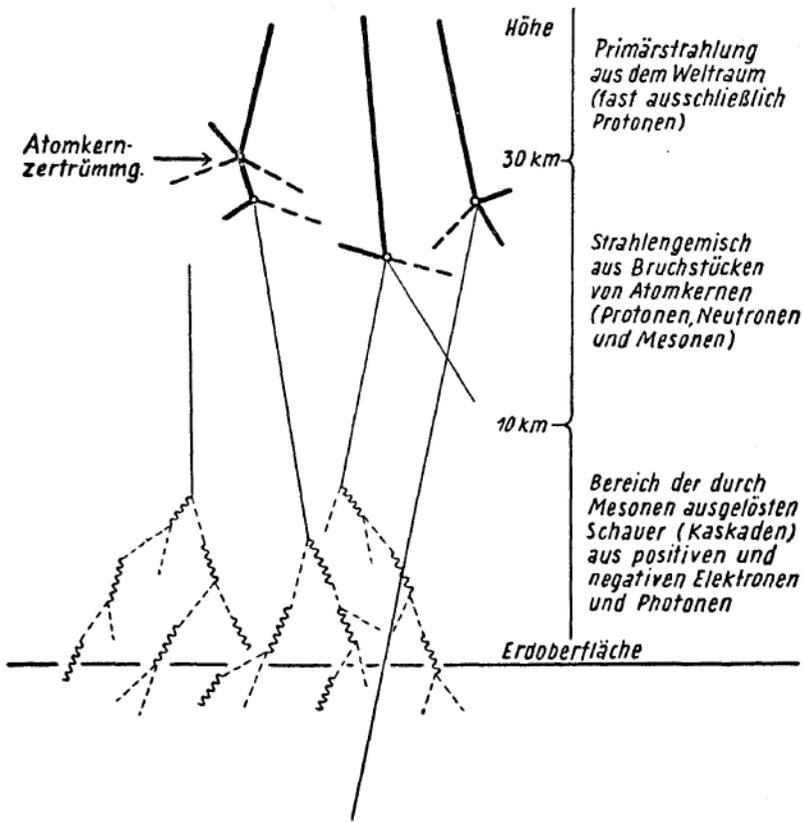


Abbildung 11

Schema der kosmischen Strahlung.

- o Atomkern der Atmosphäre
- Proton
- - - Neutron
- Meson (einige Mesonen durchdringen sogar Kilometer von Erde und Gestein)
- - - - Elektron
- ~~~~~ Photon

dem Atomkern ausgestoßenen Teilchen (Elektronen) dabei eine Geschwindigkeit erlangen, als ob sie der genannten Spannung ausgesetzt worden wären. Die Höhe dieser Spannungen ist der Grund dafür, daß die künstliche Herbeiführung von Atomkernreaktionen gewaltige Maschinen erfordert. Solche Maschinen müssen elektrisch geladene Teilchen durch Spannungsgefälle von einigen Millionen Volt treiben und ihnen dadurch die entsprechende Energie verleihen; zu ihnen gehören die berühmten Zyklotrone, Betatrone usw. Das Riesenmaß der treibenden Kräfte ist natürlich auch der Grund für die enorme Leistung von Atombomben und von Atomkraftwerken. Die Chemiker kennen seit langem das Verhalten der Materie bei einigen Volt. Durch die Radioaktivitäts- und Atomenergieforschung hat man nun auch das Verhalten der Materie bei einigen Millionen Volt ziemlich gut kennengelernt.

Die *kosmischen Strahlen* jedoch liefern Teilchen, deren Energie noch millionenfach größer ist. Um die primären kosmischen Strahlen künstlich zu erzeugen, müßte man Atome einer treibenden Kraft von *Billionen* (in gewissen Fällen sogar von *Billiarden*) Volt aussetzen. Bewegungsenergien, wie sie die aus dem Weltraum auf die Erde aufprasselnden Höhenstrahlenteilchen besitzen, können wir daher in absehbarer Zeit im Laboratorium auf keine Weise erzeugen. Begreiflich, daß beim Aufprallen solcher Teilchen den armen Atomen der Luft furchtbare Dinge widerfahren!

Beim Übergang von niederen zu höheren Energien tritt an gewissen Punkten ein „Umschlagen von Quantität in Qualität“ ein: Erst wenn die Energie des Teilchens einen gewissen „Schwellenwert“ erreicht, treten neue Erscheinungen auf. Unterhalb solcher Schwellen werden die neuen Erscheinungen nicht einmal andeutungsweise beobachtet. Beispielsweise können erst Teilchen, die mit einer Bewegungsenergie von mindestens 100 Millionen Volt begabt sind, beim Auftreffen auf ruhende Atomkerne in diesen Kernen Teilchen zur Entstehung bringen und herausboxen, die sonst in der Natur nicht aufgefunden werden: die sogenannten *Mesonen*. Diese Mesonen, die elektrisch geladen sein können, sind kurzlebig. Sie „sterben“ innerhalb von Millionstelsekunden, wobei aus ihnen Teilchen anderer Art — unter anderen *Elektronen*, *Neutrinos* und *Lichtteilchen* („*Pho-*

tonen“) — entstehen. Es sind mehrere Arten von Mesonen bekannt, die sich vor allem durch ihre Masse voneinander unterscheiden.

Wie kommt es nun, daß die Gegenstände unserer Umwelt durch den Teilchenhagel aus dem Weltraum nicht beeinflußt werden? Wieso erleidet auch die belebte Substanz bei der ständigen „Durchlöcherung“ durch die Strahlen keinen Schaden? Dabei werden die Strahlen mit ihrer gewaltigen Energie im Gegensatz zu Lichtstrahlen keineswegs von Kopfhaut und Schädeldecke absorbiert! Sie durchdringen uns oft vom Scheitel bis zur Sohle.

Die Antwort liegt darin, daß die *Zahl* der Höhenstrahlen recht gering ist. Nahe der Höhe des Meeresspiegels wird jeder Quadratzentimeter Bodenoberfläche im Durchschnitt nur von ganz wenigen Teilchen pro Minute getroffen. Nun ist aber der Querschnitt der Bahn, sozusagen der Schußkanal, jedes Teilchens (Elektron, Meson usw.) — also jedes Strahls — außerordentlich klein. Wenn das Geschosß auch innerhalb des Schußkanals Verheerungen anrichten mag, so sind doch die durch die Strahlen geschossenen „Löcher“ unmerklich klein. Daher ist auch die Wahrscheinlichkeit sehr gering, daß lebenswichtige Organe von Tieren und Pflanzen (bestimmte Zellkerne usw.) getroffen und geschädigt werden, so groß die Energie der Einzelstrahlen auch sein mag. Infolgedessen ist die biologische Wirkung der kosmischen Strahlen praktisch gleich null.

Die wirkliche und wahrhaftige Existenz der Höhenstrahlung wurde erstmalig durch den damaligen Assistenten des Radiuminstituts der Wiener Akademie der Wissenschaften *Viktor Hess* einwandfrei nachgewiesen. Hess beobachtete im Jahre 1912 bei Ballonaufstiegen, daß die Wirkung energiereicher Strahlung in der Atmosphäre mit zunehmender Höhe zunimmt. Die Strahlung konnte also im wesentlichen nicht durch die radioaktiven Stoffe des Erdbodens ausgesendet worden sein, da eine solche Strahlung natürlich nahe dem Erdboden am stärksten wirkt.

Diese wichtige Entdeckung fußte auf der starken Tradition der österreichischen Atomistik des 19. Jahrhunderts, die ihren Ausdruck in *Joseph Loschmidt*, *Joseph Stefan* und besonders in der Titanengestalt *Ludwig Boltzmanns* fand. Auch die Fähigkeit der Höhenstrahlen, Atome zu zerschmettern, wurde in Österreich durch *Marietta*

Blau und *Hertha Wambacher* entdeckt (1935). Daß diese Tradition später leider verloren ging, zeigt sich unter anderem auch darin, daß heute in Österreich überhaupt keine Höhenstrahlenforschung mehr betrieben wird. Dieser Forschungszweig liegt darnieder, obwohl er „billig“ ist und nicht unbedingt kostspielige Geräte erfordert und obwohl auf dem Hafelekar oberhalb Innsbrucks ein eigenes Laboratorium zur Verfügung steht.

Die Technik der Ballonflüge wird inzwischen von Jahr zu Jahr verbessert. Künstler dieser Ballontechnik sind der Russe *S. N. Wernow* und der Engländer *C. F. Powell*. Die unbemannten, aus Kunststoff bestehenden und mit Wasserstoff gefüllten Ballone erreichen immer größere Höhen (vierzig Kilometer und mehr), um die ungestörte primäre Höhenstrahlung einzufangen, die noch keine Gelegenheit zu Zusammenstößen mit Luftmolekülen hatte. Die Ballone führen entweder elektrische Meßgeräte (Geiger-Zählrohre) oder Spezial-Photoplatten mit sich, die die Strahlen aufzeichnen. Die Geräte geben automatisch Funkmeldungen zur Erde durch, damit man die Ballone nicht mit den schweren Registriergeräten belasten muß. Die Ballone verbleiben einige Stunden in großer Höhe, um möglichst viele Strahlen zu verwerten. Schließlich werden die Geräte oder die Platten mittels Fallschirmes automatisch zur Erde geschickt. Das Entwickeln der Platten dauert viele Tage, ihre Durchmusterung nach Bahnspuren von Strahlenteilchen mit Hilfe des Mikroskops aber Jahre. Das Blickfeld des Mikroskops bei 1000facher Vergrößerung umfaßt nämlich nur den hundertsten Teil eines Quadratmillimeters.

Powell hat vorgeschlagen, das äußerst ermüdende, wenn auch lohnende Absuchen der photographischen Schichten mit dem Mikroskop Klubs von Liebhabern zu übertragen. Eine Vielzahl von Forschern, auch Liebhabern, wird eben seltene Vorgänge auffinden können — ähnlich wie auch schon Liebhaberastronomen wertvolle Beiträge zur Wissenschaft geliefert haben. Für die ins einzelne gehende Beurteilung eines durch die Photoplatte festgehaltenen Vorganges wird man dann den hochqualifizierten Fachmann heranziehen. Jedenfalls handelt es sich um einen interessanten Gedanken, breitere Volkskreise aktiv für die Wissenschaft zu gewinnen, ähnlich

wie in der Sowjetunion Massen von Genossenschaftsbauern an Problemen der wissenschaftlichen Agronomie mitarbeiten.

Erst in langer Zeit werden wir ein einigermaßen vollständiges Bild von der Natur der Höhenstrahlen haben. Es ist aber schon heute klar, daß die Atomistik aus dem Studium der äußerst energiereichen Teilchen größten Nutzen ziehen wird. Die Frage einer schließlichen praktischen Verwendung bleibt vorläufig offen.

Erstaunliches Elektron

Elektron ist ursprünglich die griechische Bezeichnung für den Bernstein*, das fossile Harz vorweltlicher Nadelbäume, das an der Ostseeküste gefunden wird und schon im Altertum einen Rohstoff zur Anfertigung von Schmuckstücken darstellte. Wer hätte damals gedacht, daß das gleiche Wort nach zwei Jahrtausenden einen Schlüsselbegriff des menschlichen Lebens bezeichnen wird?

Unser modernes Wort *Elektron* ist tatsächlich mit dem griechischen Wort verknüpft. Der Bernstein läßt sich nämlich, wie man seit Jahrhunderten weiß, durch Reiben elektrisch machen. Daher stammt das Wort „Elektrizität“ (sozusagen die „Bernsteinkraft“), aus dem man dann zu Ende des 19. Jahrhunderts das Wort Elektron zurückgebildet hat.

In jener Zeit tauchte nämlich, nachdem die atomistische Lehre von der Materie gegen tausend Widerstände ihren Durchbruch erzielt hatte, der Gedanke auf, auch die Elektrizität könne atomistischen Bau besitzen, also aus kleinsten Teilchen bestehen. Die Richtigkeit dieses Gedankens hat sich in großartiger Weise bestätigt. *J. J. Thomson* stellte als erster im Jahre 1897 eindeutig fest, daß die kleinsten Teilchen der Elektrizität eben die negativ geladenen Elektronen sind.

Heute wissen wir, daß jeder elektrische Strom darin besteht, daß die Elektronen einen Leiter entlangfließen. In manchen Stromleitern fließen die Elektronen für sich allein als „freie“ Elektronen; so spalten alle Metalle spontan aus den Elektronenhüllen ihrer Atome Elektronen ab, die sich dann frei zwischen den verbleibenden Atom-

* *Elektron* = das *Ausgeklaubte* (nämlich die aus dem Meeressand ausgeklauten Bernsteinbrocken).

rümpfen bewegen können. In anderen Leitern, besonders in Salzlösungen und in Salzschmelzen, sind die fließenden Elektronen an frei bewegliche Atome fest gebunden. Ein Atom, das ein überschüssiges Elektron oder deren mehrere festhält, ist ein negatives *Ion*.

Das Gewicht des Elektrons ist recht genau bekannt. Jedes Elektron wiegt den 1837ten Teil eines Wasserstoffatoms, daher also den 1836ten Teil eines Protons; das sind 0,0000000000000000000000009 ($=9 \cdot 10^{-28}$), also nicht ganz ein quadrilliardstel Gramm. Die negative Ladung des Elektrons, die der positiven Ladung des Protons genau gleich ist, beträgt, wie der Physiker sagt, 0,0000000048 ($=4,8 \cdot 10^{-10}$) elektrostatische Einheiten; ein Strom von 1 Ampère müßte etwa eineinhalb Zehntillionstel ($1,6 \cdot 10^{-19}$) einer Sekunde fließen, um diese unvorstellbar winzige Elektrizitätsmenge zu transportieren; sie ist die kleinste Elektrizitätsmenge, die überhaupt existiert.

Es zeigte sich bald, daß die Elektronen in der Natur nicht nur eine außerordentlich wichtige Rolle spielen, sondern daß auch die Zahl der Elektronen ungeheuer groß sein muß. Es gibt in der Welt viel mehr Elektronen als Atome, was leicht einzusehen ist, wenn man sich den Bau der Atome vor Augen hält; in den meisten Atomen kreisen viele Elektronen.

Die Zahl der Elektronen in der Welt ist allerdings veränderlich. Elektronen können nämlich unter Umständen entstehen oder vergehen. So entstehen neue Elektronen bei den radioaktiven Zerfallsvorgängen. Die sogenannten Beta-Strahlen, die von vielen radioaktiven Stoffen ausgesendet werden, bestehen aus schnellen Elektronen, die im Augenblick des Zerfalls eines Atomkerns dort „geboren“ werden.

Andererseits können die gewöhnlichen (negativen) Elektronen auch wieder „sterben“. Das geschieht dann, wenn sie mit den sogenannten Positronen zusammenstoßen. Positronen sind positiv geladene Elektronen. Die gibt es nämlich auch; allerdings kennt man sie erst seit 1932. Gewisse radioaktive Atomkerne bilden bei ihrem Zerfall nicht die gewöhnlichen, negativ geladenen Elektronen, sondern deren positiv geladenes Gegenstück, die Positronen. Im Gegensatz zu den negativen Elektronen ist den Positronen freilich

kein langes Leben beschieden. Positron und Elektron fressen sich nämlich gegenseitig auf, wenn sie aneinandergelassen. Die beiden Teilchen verschwinden dann völlig, ihre elektrischen Ladungen neutralisieren sich, und nur Lichtblitze geben von der Katastrophe Kunde. Die Masse der beiden Elektronen, die natürlich wie jede Masse erhalten bleiben muß, findet sich als „Masse“ der entstandenen Strahlung wieder.

Übrigens hat man in neuester Zeit gefunden, daß diese gegenseitige „Vernichtung“ der Elektronen nicht momentan erfolgt, sondern in vielen Fällen erst nach einem Zeitraum, den der Physiker erstaunlicherweise bereits als recht lang empfindet — nämlich nach einer Millionstelsekunde. Diese lange Zeit verbringen die feindlichen Brüder damit, einander zu umkreisen. Erst wenn sie viele Male umeinandergewirbelt sind, stürzen sie sich wie Hund und Wolf aufeinander, um sich gegenseitig zu „verschlingen“.

Ungeheuer mannigfaltig ist die Verwendung der Elektronen in der modernen Technik. Dazu muß man die Elektronen oft zunächst aus dem Materiegefängnis befreien, in dem sie sich sonst befinden. Wie kann man das machen? Eine Methode, die zwar technisch nicht angewendet wird, deren Prinzip aber den Vorgang besonders anschaulich macht, könnte man als die „Methode des Zuckerstreuers“ bezeichnen: Ein schnell bewegtes Metallstück wird plötzlich gebremst; die in ihm enthaltenen freien Elektronen fliegen infolge ihres Beharrungsvermögens weiter und verlassen das Metall, so wie der Zucker aus der plötzlich gebremsten Streudose herausfliegt.

Technisch werden die Elektronen oft durch eine Art Verdampfungsvorgang freigesetzt. Man erhitzt ein Metallstück, zum Beispiel einen Wolframdraht, bis es den Elektronen darin ungemütlich wird. Sie geraten in immer heftigere Bewegung, und schließlich finden sie durch die Metalloberfläche den Weg ins Freie.

So werden zum Beispiel aus dem Heizdraht der *Radioröhren* (*Abbildung 9*, Seite 35) die freien Elektronen gewonnen, die den Stromtransport durch den luftleeren Raum der Röhren besorgen. Sobald sie aus dem heimatlichen Draht ausgetreten sind, werden sie von dem Spannungsgefälle von einigen hundert Volt erfaßt und rasch zum positiven Pol, zur sogenannten Anode, gezogen.

Statt durch Wärmeenergie können die Elektronen auch durch Lichtenergie aus Metalloberflächen freigesetzt werden. Auf diesem Prinzip beruht ein Teil der photoelektrischen Zellen oder kurz *Photozellen* (*Abbildung 4*, Seite 24). Auch in diesem Falle ist das Metall in einem luftleeren Glasballon eingeschlossen. Die bei Einwirkung von Licht aus dem Metall austretenden Elektronen werden ähnlich wie in einer Radoröhre einem angelegten Spannungsgefälle unterworfen und zur Anode gezogen. Je größer die Lichtintensität, desto mehr Elektronen treten aus dem Metall aus und treffen dann auf der Anode auf. Durch die Messung der Zahl der auftreffenden ladungstragenden Elektronen, also der elektrischen Stromstärke quer durch den Ballon, läßt sich daher die Lichtintensität auf einfache und direkte Weise laufend bestimmen.

Schnell bewegte Elektronen besorgen bekanntlich auch den Stromtransport im Vakuum der *Röntgenröhre*. Die angelegte Spannung ist aber im Falle der Röntgenröhre sehr groß — meistens zehnbis hunderttausend Volt. Sobald die Elektronen dann — in diesem Falle mit großer Wucht — auf die Anode auftreffen, werden sie plötzlich gebremst. Ihre Bewegungsenergie, die ja nach dem Gesetz der Erhaltung der Energie nicht verlorengehen kann, wandelt sich einerseits in Wärmeenergie um, weshalb man die Anode sehr gut kühlen muß; zum anderen Teil entsteht besonders energiereiche (für unser Auge unsichtbare) Lichtstrahlung — eben die Röntgenstrahlung.

Man hat die Spannungen an den Röntgenröhren höher und höher gesteigert, um immer energiereichere Röntgenstrahlung zu erhalten. Es existieren Röhren, die mit zwei Millionen Volt betrieben werden! Damit ist aber so ziemlich die Grenze der praktisch erreichbaren Hochspannung erreicht, da bei weiterer Steigerung der Spannung die Schwierigkeiten der elektrischen Isolierung zu groß werden. Im sogenannten *Betatron* allerdings, das nach einem anderen Prinzip als die Röntgenröhre arbeitet, kann man den Elektronen Energien verleihen, die mehreren hundert Millionen Volt entsprechen.

Ein sehr merkwürdiges Ergebnis der Untersuchung der schnellen Elektronen ist die Erkenntnis, daß die Masse dieser Elektronen sich um so mehr vergrößert, je schneller sie fliegen. Dieser Befund ist nach der Relativitätstheorie auch zu erwarten. Nach *Einsteins*

Theorie bildet die Geschwindigkeit des Lichtes (300 000 km in der Sekunde) die obere Grenze jeder in der Natur möglichen Geschwindigkeit. Wenn man nun einem ohnehin schon sehr schnellen Elektron zusätzlich Energie zuführt, so kann es diese Energie bei Annäherung an die Lichtgeschwindigkeit immer weniger zur weiteren Steigerung seiner Geschwindigkeit verwenden. Vielmehr dient die zusätzliche Energie zur Vergrößerung der Masse des Elektrons.

Diese Massenvergrößerung ist tatsächlich immer wieder experimentell beobachtet worden und steht auch zahlenmäßig mit den Forderungen der Theorie im Einklang. Natürlich nimmt die Masse wieder bis auf den normalen Wert der „Ruhemasse“ ab, wenn man das Elektron seiner Energie beraubt, es also verlangsamt.

Man hat die Röntgenröhre außer für die Heilkunde auch für die Materialprüfung nutzbar gemacht. Man durchleuchtet Werkstücke mit Röntgenstrahlen, um Fehlstellen aufzufinden („Radiographie“). Dabei wird die Energie immer weiter gesteigert. Je energiereicher die Elektronen in den Röntgenröhren, desto energiereicher und durchdringender sind auch die Röntgenstrahlen, die bei ihrem Aufprall auf die Anode entstehen, und desto dickere Metallstücke kann man mit diesen Röntgenstrahlen untersuchen. Für ganz dicke Stücke verwendet man aber die Strahlungen radioaktiver Stoffe, deren Durchdringungsvermögen dem der Röntgenstrahlen überlegen ist.

Atomenergie für Elektrizität

Es gibt heute schon eine reiche volkstümliche Literatur über die Atomenergie (genauer: Atomkernenergie)*. Man kann jedenfalls als bekannt annehmen, daß die Verwendung der Atomenergie für friedliche oder militärische Zwecke auf dem Uran beruht.

Im Juni 1954 wurde in der Sowjetunion das *erste Atomkraftwerk der Welt* in Betrieb genommen. Das Werk, das der Belieferung der Industrie und der Landwirtschaft mit elektrischem Strom dient, leistet 5000 Kilowatt und ist der Vorläufer von Werken, die das Zehn- bis Zwanzigfache dieser Leistung aufweisen werden. Damit ist eine neue Epoche der Energiewirtschaft der Welt eingeleitet worden.

An dieser Stelle soll nun berichtet werden, wie ein Atomkraftwerk aussehen muß und wofür man es verwenden kann.

Der für die Ausnützung des Urans grundlegende physikalische Vorgang ist bekanntlich der folgende: Wenn ein Neutron — also ein elektrisch neutrales (ungeladenes) Elementarteilchen — unter geeigneten Bedingungen auf einen Uranatomkern auftrifft, bringt es ihn zum Zerplatzen: es „spaltet“ den Kern. Beim Zerplatzen des Atomkerns entstehen zwei relativ große Bruchstücke, die den Hauptteil der Masse des ursprünglichen Uranatoms enthalten. Diese Bruchstücke sind in der Regel radioaktiv.

Außerdem werden aber einige Neutronen frei. Das ist dadurch möglich, daß der Uranatomkern — so wie nahezu alle Atomkerne — Neutronen in gebundener Form enthält; ein kleiner Teil dieser Neutronen macht sich bei der Kernspaltung frei. Wenn ein solches entwichenes Neutron dann auf einen weiteren Urankern

* Siehe das Büchlein des Verfassers: *Die Atomenergie — Ihre Verwendung im Krieg und im Frieden*. Taschen-Bibliothek im Globus-Verlag, Wien.

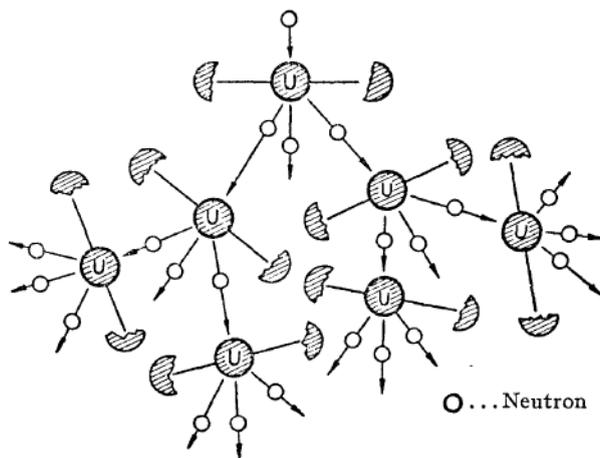


Abbildung 12

Schema der Kettenreakion bei der Kernspaltung von Uran 235.

Angenommen, ein freies Neutron treffe auf einen Uran-235-Kern und spalte ihn in zwei annähernd gleich große Bruchstücke, wobei eine erste Tochtergeneration von drei Neutronen freigesetzt werde. Während in dieser Darstellung durchschnittlich eines von diesen drei Neutronen für den Fortgang der Kettenreakion verlorenght, spalten zwei von ihnen wieder je einen Uran-235-Kern, deren jeder beim Zerfall in zwei Bruchstücke seinerseits abermals durchschnittlich drei Neutronen zweiter Tochtergeneration freisetzt. Das Spiel wiederholt sich in dritter, vierter, fünfter usw. Tochtergeneration von freigesetzten Neutronen – der Vorgang setzt sich, lawinenartig anschwellend, fort. Die Kettenreakion nimmt im Bruchteil eines Augenblicks das Ausmaß einer furchtbaren Explosion an.

trifft, bringt es ihn ebenfalls zur Spaltung, wieder werden Neutronen frei, die Urankerne spalten können, usw. (*Abbildung 12*). Es findet also eine *Kettenreakion* statt, die sich von selbst über die ganze vorhandene Masse des Urans fortpflanzt, so wie eine Feuersbrunst allmählich einen ganzen Stapel Holz ergreifen kann.

Allerdings handelt es sich bei der Spaltung des Urans nicht wie bei der Verbrennung des Holzes um eine *chemische* Reaktion. Chemische Reaktionen ergreifen nämlich nur die Peripherie des Atoms, also die um den Atomkern kreisenden Elektronen. Die Atomkernreaktionen, zu denen die Uranspaltung gehört, ergreifen dagegen, wie ihr Name sagt, den innersten Kern des Atoms selbst! Die durch die Kernreaktionen von Atomen gelieferte Energie übertrifft daher

auch die durch chemische Reaktionen — beispielsweise Verbrennungsreaktionen — der gleichen Zahl von Atomen verfügbar gemachte Energie in außerordentlichem Maße.

Seinem Energiegehalt nach ist ein Kilogramm Uran so viel wert wie zweieinhalb Millionen Kilo — also wie 2500 Tonnen oder 250 Waggon — Steinkohle. In diesem riesigen Energiewert ist auch die verheerende Kraft der Atomexplosion begründet. Um diese Kraft bei der militärischen Verwendung zur vollen Entfaltung zu bringen, bemüht man sich, die Atombombe innerhalb eines *äußerst kurzen* Zeitraumes zur Explosion zu bringen — innerhalb einiger Mikrosekunden (Millionstelsekunden). Man stelle sich bloß vor, was geschehen würde, wenn man 250 Waggon Kohle in einer Millionstelsekunde verbrennen könnte!

Die Aufgabe bei der Energiegewinnung aus Uran ist es dagegen, die Entbindung der Energie langsam erfolgen zu lassen und zu regeln. Statt also die riesige Energie in Mikrosekunden freizusetzen, soll sie innerhalb einiger Jahre oder sogar Jahrzehnte *allmählich* entbunden werden. Damit erreicht man, daß die Energieabgabe nicht, wie bei der Explosion der Atombombe, bei einer Temperatur von einer Million Grad Celsius erfolgt, sondern bei einigen hundert Grad. Bei dieser Temperatur kann man die Wärme ableiten und nutzbar machen.

Tatsächlich wird bisher nur daran gedacht, die Atomenergie auf dem Umweg über Wärmeerzeugung nutzbar zu machen. Die viel schwierigere direkte Gewinnung von Energie aus den zerplatzenden Uran-Atomkernen, durch die freilich theoretisch ein verbesserter Wirkungsgrad erreicht werden könnte, ist bisher nicht vorgesehen worden. Man muß sich also vorläufig damit begnügen, die große Leistung der einzelnen Atome sozusagen herunterzutransformieren, damit man bei Temperaturen arbeiten kann, denen die Technik gewachsen ist — eben bei Temperaturen von einigen hundert Grad.

In einem Atomkraftwerk wird also das sorgfältig in großer Reinheit hergestellte Uranmetall in Form einer Art Gerüsts paralleler Stangen vorliegen (*Abbildung 13*). Die Stangen können in eine Masse aus ebenfalls sehr reinem Kohlenstoff (Graphit) eingebettet sein. Nun werden die Neutronen gewissermaßen von Stange zu Stange

springen: Ein Neutron entsteht bei der Spaltung eines Kerns eines Uranatoms und entweicht aus der heimatlichen Stange. In einer anderen Uranstange (gelegentlich auch in der „Heimatstange“) trifft es den Kern eines weiteren Uranatoms und spaltet ihn. Dabei werden weitere Neutronen freigesetzt, die wieder auf Uran einwirken können, usw. Das ist also die Kettenreaktion.

Eine Explosion verhindert man, indem man durch geeignete Maßnahmen die Reaktion so regelt, daß in jeder Zeiteinheit nicht mehr Neutronen „geboren werden“ als „sterben“ (verschluckt werden). Die Maßnahmen bestehen darin, daß man Stäbe aus neutronenschluckenden Fremdstoffen, zum Beispiel dem Metall Kadmium, je nach Bedarf höher oder tiefer in die Uran-Kohlenstoff-Masse (in den *Reaktor*) stößt.

Der Graphit dient dabei nicht nur dazu, die Uranstangen in der richtigen Lage zu halten, sondern er übt auch eine günstige Wirkung auf die Neutronen aus. Er macht die Neutronen sozusagen dem Uran mundgerecht, indem er sie verlangsamt. Wenn sie geboren werden, haben die Neutronen nämlich eine sehr große Geschwindigkeit — vielleicht 10 000 Kilometer in der Sekunde. So schnelle Neutronen wirken aber auf das Uran gar nicht besonders gut ein. Daher ist es ganz gut, wenn die Neutronen zunächst einmal gebremst werden*. Das geschieht, indem man sie vorerst ein bißchen in dem Kohlenstoff herumlaufen läßt, wobei sie sich die „Hörner abstoßen“. Ihre schließliche Geschwindigkeit beträgt nur noch zwei Kilometer in der Sekunde.

* Exakter läßt sich der Sachverhalt in folgender Weise ausdrücken: Das natürlich vorkommende Uran besteht aus den beiden Isotopen (vgl. Seite 51) mit den Massen 235 und 238. Die Kettenreaktion beruht zunächst auf der Spaltung des leichteren Isotops. Langsame Neutronen werden aber durch das Uran 235 (im Vergleich mit dem Einfang im Uran 238) leichter verschluckt als schnelle Neutronen. Daher ist eine sich selbst fortpflanzende Reaktionskette bei Verwendung natürlichen Urans nur unter der Bedingung möglich, daß die Neutronen verlangsamt werden. Allerdings wird letzten Endes auch das Uran 238 für die Energiegewinnung verwertet. Es wandelt sich nämlich beim Einfang von Neutronen in Plutonium um, das sich ähnlich wie Uran 235 verhält. Diese Umwandlung, die als „Züchtung“ oder „Brütung“ von spaltbarem Stoff bezeichnet wird, gibt uns das Recht, das gesamte natürlich vorkommende Uran — und nicht bloß das Isotop 235 — als Energiequelle anzusehen.

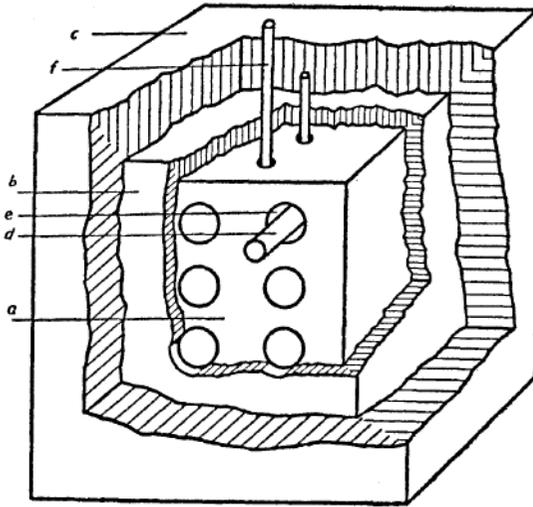


Abbildung 13

Schema der wichtigsten Teile eines Uran- (Plutonium-) Reaktors (Meilers).

- a ... würfelförmiger Block aus reinstem Graphit;
- b ... Mantel aus Graphit (Reflektor);
- c ... Strahlenschutzmantel aus Beton;
- d ... Stäbe aus reinstem Uran oder Plutonium (werden in die Bohrungen e des Graphitblocks a eingeführt);
- e ... Bohrkanäle, in denen ein Kühlmittel die eingeschobenen Uranstäbe d umspült;
- f ... Regulierstäbe aus Kadmium oder Bor.

Zur Bremsung kann statt Graphit auch *schweres Wasser* dienen.

Auf diese Weise kommen also in dem Uran ständig Atome zur Reaktion. Sie zerplatzen und geben dabei Wärme ab. Das ganze Urangerüst erwärmt sich; wenn man es nicht kühlen würde, würde es sogar schmelzen. Das wäre aber das Ende des Kraftwerkes! So muß man die Uranstangen mit einem Kanal umgeben, durch den ein Kühlmittel gepumpt wird. Das Kühlmittel dient zweierlei Zwecken: erstens hält es das Uran auf einer erträglichen Temperatur und zweitens führt es die Wärme ab, die dann in einer gesonderten Maschine nutzbar gemacht wird.

Vielerlei Kühlmittel sind schon in Betracht gezogen worden. Für bescheidene Bedürfnisse genügt schon Luft. Besser ist Wasser,

das dann den Reaktor in Form von hochgespanntem Wasserdampf verläßt. Auch Kohlensäure, Helium, Wasserstoff sind vorgeschlagen worden. Die Kühlmittel müssen ebenso wie die Arbeitsstoffe in den herkömmlichen Wärmekraftmaschinen verschiedenen Anforderungen genügen. Aber hier wird an sie noch eine zusätzliche Anforderung gestellt: sie dürfen Neutronen nicht allzu gierig verschlucken, sonst unterbrechen sie ja die Kettenreaktion, indem dem Uran nicht mehr genug Neutronen übrigbleiben. Versuchsreaktoren, die im Gegensatz zu Atomkraftwerken schon lange bestehen, haben viele Erfahrungen über die Kühlung geliefert.

Die Energie des hochgespannten Gases oder Wasserdampfes wird man im Atomkraftwerk zum Antrieb einer Gas- oder einer Dampfturbine verwenden (*Abbildung 14*). Nur muß man da noch eine Klippe umschieben. Es ist nämlich ganz unvermeidlich, daß der Wasserdampf bzw. das Gas während des Verweilens im Reaktor stark radioaktiv wird — und zwar einesteils unmittelbar durch Kernreaktionen, andernteils dadurch, daß radioaktive Stoffe, von denen es im Reaktor wimmelt, spurenweise mitgeschleppt werden. Nun darf man keineswegs den radioaktiven Dampf (das Gas) direkt auf die Schaufeln der Turbine lenken. Jede Turbine muß nämlich von Zeit zu Zeit durch die Bedienungsmannschaft nachgesehen werden. Die radioaktive Strahlung ist aber bekanntlich sehr gesundheitsschädlich. Es wäre daher gar nicht daran zu denken, eine solche Turbine nach Gebrauch aus der Nähe zu betrachten!

Man kann sich da aber ziemlich leicht helfen, indem man — etwa bei Verwendung von Wasser als Kühlmittel — gar nicht den Primärdampf, der unmittelbar aus dem Uranreaktor austritt, sondern einen nicht radioaktiven Sekundärdampf zum Antrieb der Turbine verwendet. Der Primärdampf überträgt seine Wärme in einem Wärmeaustauscher auf das in diesen eingepumpte Wasser, das sich in den Sekundärdampf verwandelt. Da ein Wärmeaustauscher nur aus einem stillstehenden Röhrensystem besteht und keine beweglichen Teile besitzt, erfordert er auch innerhalb sehr langer Zeiträume keinerlei Wartung, darf also ruhig radioaktiv werden.

In neuester Zeit steht allerdings statt des Wassers ein ganz besonderes Kühlmittel im Vordergrund des Interesses, mit dem die

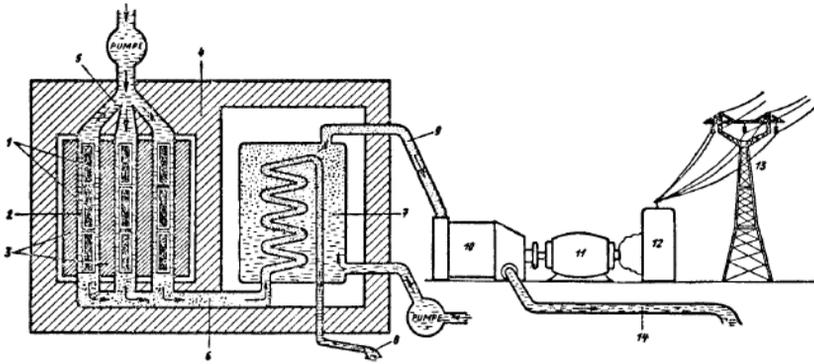


Abbildung 14

Schema eines Atomkraftwerkes.

- 1... Uran- oder Plutoniumstäbe in Leichtmetallbüchsen;
- 2... vom Kühlwasser durchspülte zylindrische Bohrkanäle in der Graphithülle (3) zur Aufnahme der Uranstäbe (1);
- 3... Graphithülle als Neutronen-Bremsmasse;
- 4... Betonschutzmantel;
- 5... das Kühlwasser wird in die Bohrkanäle mit den Uranstäben gepumpt;
- 6... Weiterleitung des aus dem Kühlwasser hervorgegangenen Wasserdampfes (Primärdampfes) in das Röhrensystem des Wärmeaustauschers;
- 7... das in den Wärmeaustauscher laufend eingepumpte Wasser wird in Hochdruck-Wasserdampf (Sekundärdampf) verwandelt;
- 8... Ableitung des radioaktiven Kondenswassers;
- 9... Zuleitung des im Wärmeaustauscher erzeugten Hochdruckdampfes in das stromerzeugende Aggregat;
- 10... Dampfturbine;
- 11... Stromerzeuger (Dynamo);
- 12... Transformator;
- 13... Hochspannungs-Fernleitung;
- 14... Ableitung des Kondenswassers aus der Turbine.

Technik bisher überhaupt nicht gearbeitet hat: das ist flüssiges Metall. Das Metall muß natürlich schon bei normaler Temperatur flüssig sein, sonst könnte es bei gelegentlicher Abkühlung die Rohrleitungen verstopfen. Quecksilber ist unbrauchbar, weil es Neutronen stark verschluckt. So verwendet man eine flüssige Legierung von Natrium und Kalium.

Der Vorteil bei Verwendung von Metall besteht darin, daß man aus einem Reaktor gegebenen Volumens besonders große Wärmemengen pro Zeiteinheit ableiten kann. Daher kann man den Reaktor mit höherer Leistung betreiben und besser ausnützen. Die technische

Schwierigkeit bei der Natrium-Kalium-Mischung liegt darin, daß sie chemisch sehr reaktionsfähig ist, mit Luftsauerstoff heftig reagiert und durch Wasser sogar in Brand gesetzt wird. Man muß also den Zutritt von Luft oder Wasser zu dem zirkulierenden flüssigen Metall auf das sorgfältigste verhindern. Die Legierung gibt im Austauscher ihre Wärme an Wasser ab.

Mit Hilfe der Turbine und einer angeschlossenen Dynamomaschine erzeugt man dann den elektrischen Strom. Mit Elektrizität kann man technisch bekanntlich fast alles in der Welt erreichen; ob man den Strom tatsächlich für einen bestimmten Zweck einsetzt, ist jedoch eine Frage des Strompreises. Beispielsweise könnte man natürlich — rein technisch gesehen — alle Wüsten bewässern, indem man über weite Entfernungen Süßwasser in sie pumpt. Ob dies aber unter gegebenen gesellschaftlichen Voraussetzungen tatsächlich möglich ist, hängt in entscheidender Weise von der Höhe des Strompreises ab.

Was kostet nun der aus Uran erzeugte Strom? Die Berechnungen zeigen, daß er gar nicht teuer wäre. Vor allem ist zu berücksichtigen, daß — auf gleichen Energiegehalt gerechnet — der „Brennstoff“ Uran viel billiger ist als der Brennstoff Kohle oder der Brennstoff Öl. Ein Kilogramm Uran im Erz kostet heute 200 Schilling (etwa 8 Dollar oder 30 D-Mark), was schon ein Preis ist, der wegen der starken militärischen Nachfrage überhöht ist. Aber versuchen Sie einmal, die 250 Waggon Steinkohle, die den gleichen Energiewert wie ein Kilo Uran haben, um 200 Schilling zu kaufen!

Andererseits sind die Investitionskosten eines Urankraftwerkes wesentlich größer als die eines Kohlenkraftwerkes, da der Reaktor kostspieliger ist als der Dampfkessel samt der Feuerung. Der infolgedessen vermehrte Zinsendienst kann aber doch den Unterschied im Brennstoffpreis bei weitem nicht wettmachen. So ergeben die Berechnungen ernster Wissenschaftler, daß Atomkraft an den meisten Orten schon heute billiger wäre als Kohlenkraft — und zwar natürlich insbesondere in solchen Ländern, in denen der Kohlenpreis durch hohe Transportkosten belastet ist. Sehr hohe Kohlenpreise gibt es beispielsweise in Südamerika, aber auch in weiten Teilen der übrigen Welt. Transportkosten spielen beim Uran gar keine Rolle, da die notwendige Menge so klein ist.

Nach derartigen Berechnungen ist die Atomkraft im allgemeinen sogar billiger als die Wasserkraft. Nur in Ländern mit besonders reichlicher und billiger Wasserkraft, wie Norwegen, Sibirien oder Kanada, dürfte die Wasserkraft besser abschneiden.

Eine besonders erfreuliche Auswirkung der Atomkraft wird die größere Gleichmäßigkeit der Verteilung der Energiequellen über die Erde sein, so daß dann auch eine gleichmäßigere Besiedlung der heute sehr ungleich bevölkerten Gebiete möglich sein wird.

Nehmen wir also einmal an, daß der Menschheit durch die Atomkraft reichlicher und wesentlich billigerer Strom zur Verfügung stehen wird als bisher. Was kann man nun mit diesem Strom beginnen?

Der Anteil der Stromkosten an dem Preis industrieller Produkte ist sehr verschieden. Ein krasser Fall ist der des Aluminiums, zu dessen Erzeugung außerordentlich viel Elektrizität verbraucht wird. Man darf also erwarten, daß der Einsatz von Atomkraft den Aluminiumpreis zum Absturz bringen wird. Damit werden sich dem Aluminium neue Anwendungsgebiete eröffnen. Es ist natürlich technisch sehr verlockend, Eisenbahn- und Kraftwagen ebenso wie Flugzeuge aus Aluminium zu bauen. Bisher ist das nur zum geringsten Teil möglich gewesen, weil der Stahl eben doch viel billiger ist als das Leichtmetall.

Aber auch die Stahlpreise selbst können durch Verwendung von Atomkraft gesenkt werden. Vor allem würde der beste Stahl, der Elektro Stahl, billiger werden müssen. Doch können alle Stähle aus der Atomkraft Nutzen ziehen, wenn sie das Roheisen verbilligen könnte. Bisher wird die Wärme im Hochofen durch teuren Koks erzeugt. Es wäre nun sehr wünschenswert, den Hochofen elektrisch zu heizen und Kohle nur soweit zuzusetzen, wie dies für die chemische Reaktion, also die Reduktion des Erzes (Bindung des Sauerstoffs), nötig ist. Dann würden auch schon billigere Reduktionsmittel als der hochwertige Hüttenkoks ausreichen, beispielsweise Braunkohle. Das Elektro-Roheisen-Verfahren wird heute in kleinem Maßstab in Italien und Schweden betrieben, doch kann es sich bei den herrschenden Strompreisen noch nicht richtig durchsetzen.

Auch auf dem Gebiet des Transportes würde die Atomkraft

Umwälzungen hervorrufen. Die Eisenbahnen würden schneller elektrifiziert werden. Beim Antrieb von Schiffen könnte sich die Atomkraft bewähren. Nur für Autos und vermutlich für Flugzeuge wird das Öl seine Herrschaft beibehalten. Von einem funktionierenden Atomkraftwerk oder einem Atommotor gehen nämlich tödliche radioaktive Strahlen aus. Diese Strahlen kann man durch dicke Wände aus Beton abfangen und unschädlich machen. Solche Wände lassen sich rings um die ortsfesten Atomkraftwerke errichten und sie lassen sich auch noch auf Schiffen unterbringen. Aber für ein Auto oder wohl auch für ein Flugzeug wären diese Betonwände zu schwer.

Schließlich werden auch die verschiedensten Zweige der Fertigungsindustrie, die Haushalte und die Landwirtschaft vom billigen Strom Nutzen ziehen. Mit billigem Strom wird man durch Bewässerungsanlagen die Nahrungsmittelgrundlage der Menschheit erweitern. Man wird zum Beispiel das Nilwasser in die Libysche Wüste pumpen können.

Als Nebenprodukt der Stromerzeugung fällt Wärme ab: In den sogenannten Gegendruckturbinen entspannt man den Wasserdampf nicht wie bei sonstigen Dampfturbinen bis auf seinen normalen, der Außentemperatur entsprechenden Druck, sondern man entnimmt ihn der Turbine auf der Niederdruckseite noch immer bei hoher Temperatur und unter einem Druck von mehreren Atmosphären. Die Stromausbeute fällt dadurch nur zu einem geringen Teil aus, aber andererseits wird reichlich wertvoller Heißdampf gewonnen, der dann zur Fernheizung Verwendung findet. Solche Gegendruckturbinen sind zum Beispiel in der Sowjetunion, wo durch die Planwirtschaft große Möglichkeiten für die Fernheizung bestehen, schon sehr verbreitet.

Die Gegendruckturbinen werden sich nun auch im Zusammenhang mit den Atomkraftwerken bewähren. Die billige Wärme wird zur Heizung der Wohnhäuser, zur Versorgung der Fabriken und zum Betrieb von Glashäusern verwendet werden. Diese Möglichkeiten sind natürlich besonders für die Bewohner der kalten Zone erfreulich.

Das ist also alles Zukunftsmusik. Warum gibt es (außer dem erwähnten Werk in der Sowjetunion) noch keine Atomkraftwerke? Warum stehen alle diese schönen Dinge bisher nur auf dem Papier?

Dafür gibt es keine technischen Gründe, wie irreführenderweise oft behauptet wird. Die wesentlichen technischen Probleme der Atomkraft sind gelöst. Es handelt sich vielmehr darum, daß die Forderungen des Militärs die Mittel — Rohstoffe, Geräte, qualifizierte Arbeitskraft — verschlingen, mit denen man die Atomkraftwerke bauen könnte. Überdies sind es die großen Kohlenmonopole, die die Konkurrenz der Atomkraftwerke fürchten und darum den Bau solcher Anlagen verhindern. Das Uran wird also zu konstruktiven Zwecken erst dann reichlich verfügbar werden, wenn die Atomwaffe wirksam geächtet ist und die wirtschaftliche Macht der kapitalistischen Monopole gebrochen sein wird.

Kosmische und irdische Atombomben

Die *Sonne* strahlt in jeder Sekunde Energie von 10000 Quintillionen ($=10^{24}$) Kilowattstunden aus. Manche andere Fixsterne strahlen sogar noch unvergleichlich stärker als unsere Sonne. Da das Gesetz von der Erhaltung der Energie heute so fest begründet ist wie nur je, dürfen wir nicht annehmen, daß die Sterne die Energie aus nichts hervorbringen. Vielmehr müssen irgendwelche Vorgänge ablaufen, die diese Energie liefern und dauernde Veränderungen in den Sternen bewirken.

Diese Vorgänge können keine gewöhnlichen chemischen Reaktionen sein. Man kann zum Beispiel berechnen, daß eine zur Gänze aus Steinkohle bestehende Sonne von der Größe der unsrigen innerhalb weniger Jahrtausende mit Stumpf und Stiel verbrannt wäre, wenn sie die Strahlungsleistung unserer Sonne hätte vollbringen sollen. Wir wissen aber aus den Tatsachen der Erdgeschichte, daß die Sonne schon mehrere Milliarden Jahre hindurch annähernd ebenso stark wie heute gestrahlt haben muß; denn wäre die Sonne früher viel heißer gewesen, so hätte sich kein Leben auf der Erde entwickeln können.

Die einzige uns bekannte Quelle derartiger gewaltiger Energien sind die *Kerne der Atome*. Offenbar spielen sich auf allen Fixsternen in größtem Maßstab energieliefernde Reaktionen der Atomkerne ab. Allerdings kann es sich auf den Fixsternen schon deshalb nicht um Reaktionen des Urans handeln, weil es auf ihnen nur wenig Uran gibt, wie die Untersuchung ihres Lichtes zeigt.

Man braucht aber auch gar nicht mit Uran oder ähnlichen instabilen Stoffen zu rechnen. Die auf der Erde beobachteten spontanen Atomkernreaktionen, beispielsweise der radioaktive Zerfall von Uran oder Radium, bestehen immer in einer Zersetzung eines unbe-

ständigen Atomkerns, niemals in einer Reaktion mehrerer Kerne miteinander. Das Fixsterninnere aber ist so heiß, daß dort auch Atomkernreaktionen auftreten können, die wir auf Erden in der Natur nicht beobachten. Auf den Fixsternen können nämlich an sich stabile Atomkerne *miteinander* in Reaktion treten, was sich unter irdischen Verhältnissen ausschließlich in bestimmten, vom Menschen geschaffenen Anlagen und in der Wasserstoffbombe ereignet.

Die Temperatur der sichtbaren Sonnenoberfläche (der sogenannten Photosphäre) beträgt zwar „nur“ ungefähr 6000 Grad. Doch herrscht im Inneren der Sonne eine Temperatur von 15 bis 20 Millionen Grad! Bei dieser Temperatur bewegen sich die Atome — Moleküle als Atomverbände gibt es bei derartig hohen Temperaturen schon längst nicht mehr — mit unheimlicher Geschwindigkeit. Während beispielsweise die Durchschnittsgeschwindigkeit eines Wasserstoffatoms bei Zimmertemperatur bloß 2·2 Kilometer pro Sekunde beträgt, erreicht sie im Sonneninneren 500 Kilometer pro Sekunde.

Wenn Kerne leichter Atome miteinander verschmelzen, wird oft Energie freigesetzt, weil zwischen ihnen kolossale Anziehungskräfte bestehen, die allerdings nur auf äußerst kleine Entfernung wirksam sind. Beispielsweise kann man *schweren Wasserstoff (Deuterium)* im Gedankenexperiment in Helium verwandeln, indem man je zwei Kerne des Deuteriums (bestehend aus je einem Proton und einem Neutron) zu einem Kern des Heliumatoms (bestehend aus zwei Protonen und zwei Neutronen) zusammentreten läßt. Bei dieser Reaktion wird die Kleinigkeit von fast 200000 Kilowattstunden pro Gramm frei.

Daß eine solche Reaktion auf unserer kalten Erde nicht auftritt und daß man daher Deuterium ohne Sorge in einer Flasche aufbewahren kann, kommt daher, daß die Atomkerne des Deuteriums — so wie alle Atomkerne — elektrisch positiv geladen sind, weil sie Protonen enthalten. Ehe also zwei Kerne sich einander richtig nähern können, damit die gewaltigen Anziehungskräfte in Wirkung treten, müssen sie die auf viel größere Entfernung wirkende elektrische Abstoßung zwischen den gleichnamigen positiven Ladungen überwinden. Das können sie aber unter den auf der Erde herrschenden

Bedingungen nicht. Daher treten hier die Deuteriumatome nicht miteinander in Reaktion.

Anders steht es im *Inneren der Sonne*. Hier ist die Wärmebewegung der Atome so heftig, daß zwei Deuterium-Atomkerne, die aufeinander losschießen, die elektrischen Abstoßungskräfte überwinden und in die enge Zone der Anziehung kommen können. Die bei der Verschmelzung freigesetzte Wärmemenge führt eine Erwärmung der Umgebung herbei, die umgebenden Deuteriumkerne bewegen sich noch schneller, sie reagieren miteinander, liefern dabei wieder Energie usw. Mit einem Wort — unter den Bedingungen auf der Sonne können die Deuteriumkerne eine sich immer weiter fort-pflanzende Kettenreaktion unterhalten. Derartige durch hohe Temperatur ermöglichte Kernreaktionen werden als *thermonukleare* Reaktionen* bezeichnet.

Freilich gibt es auf der Sonne nicht viel Deuterium. Vermutlich ist das ursprünglich gewiß reichlich vorhanden gewesene Deuterium schon längst in der geschilderten oder in ähnlicher Weise zu Helium „verbrannt“. Aber die Sonne besteht zur Hauptsache aus gewöhnlichem (leichtem) Wasserstoff, dessen Atomkern nur aus einem Proton besteht. Auch dieser leichte Wasserstoff kann eine Reaktionskette unterhalten — wenn auch nicht ganz so leicht wie sein schwererer Bruder, das Deuterium. Die Physiker haben berechnet, daß die wichtigste heute in der Sonne vor sich gehende Reaktion tatsächlich gerade darin besteht, daß sich Wasserstoff-Atomkerne (Protonen) mit anderen Atomkernen verbinden. Die Physiker haben auch festgestellt, daß die Sonne genug „Brennstoff“ (Wasserstoff) besitzt, um ihr gegenwärtiges verschwenderisches Leben noch dutzende Milliarden Jahre fortsetzen zu können. Das Endprodukt der Reaktion ist Helium.

Die *Atombomben* von *Hiroshima* und *Nagasaki* waren aus Uran oder Plutonium gefertigt. Bei ihrer Explosion zerbrachen die großen Atomkerne dieser Elemente in je zwei große Stücke. Auf den Sternen dagegen handelt es sich, wie geschildert, nicht um eine *Abbau*-, sondern um eine *Aufbau*reaktion der Atomkerne. In dieser Hinsicht weisen die Reaktionen in den Sternen mit der Explosion einer Wasserstoff-

* Von griech. *thermos* = *heiß* und lat. *nucleus* = *Kern*.

bombe mehr Ähnlichkeit auf als mit der Explosion einer Uran- oder einer Plutoniumbombe. In diesem Sinne könnte man davon sprechen, daß bei der Explosion einer Wasserstoffbombe ein Stück Sonnenmaterie mit den in ihr ablaufenden Kernprozessen auf die Erde verpflanzt wird.

Die *Wasserstoffbombe* soll nach den spärlichen, ihre Konstruktion betreffenden Veröffentlichungen in ihrer Mitte eine Uran- oder eine Plutoniumbombe enthalten, die als Zünder dient. Bei ihrer Explosion erzeugt eine solche Bombe eine Temperatur von ungefähr einer Million Grad. Bei dieser Temperatur beginnt die thermonukleare Reaktion des schweren Wasserstoffs, der den Mantel der Wasserstoffbombe bildet. Innerhalb eines Bruchteils einer Sekunde kommt die Reaktion unter enormer Energieentwicklung zum Abschluß — das Deuterium explodiert. Es soll vorteilhaft oder sogar notwendig sein, zwischen die Uranbombe und den Deuteriummantel noch eine Zwischenschicht aus „überschwerem“ Wasserstoff (Tritium) zu fügen, der leichter als der schwere Wasserstoff (Deuterium) gezündet werden kann; sein Atomkern enthält außer einem Proton zwei Neutronen. Vergleicht man die Wasserstoffbombe mit einem Ofen, so entspricht das Uran in seiner Rolle als Zünder dem Streichholz, das Tritium dem Brennholz und das Deuterium der Kohle.

Der *schwere Wasserstoff* (das *Deuterium*) kommt auf der Erde in nicht unbedeutender Menge vor. Er begleitet den gewöhnlichen leichten Wasserstoff überall — zum Beispiel im Ozean — zu einem fünfzigstel Prozent. Beim Verbrennen, also durch seine Verbindung mit Sauerstoff, entsteht das *schwere Wasser*. Die Abtrennung des schweren Wasserstoffs vom gewöhnlichen leichten Wasserstoff erfordert große Mengen Energie und ist daher teuer, aber ohne sonstige Schwierigkeit möglich. Die derzeitige industrielle Jahresproduktion an schwerem Wasser beläuft sich gewiß auf dutzende Tonnen. Eine Tonne dieses Stoffes kostet 5 Millionen Schilling.

Der *überschwere Wasserstoff*, das *Tritium*, kommt in der Natur praktisch überhaupt nicht vor, da er radioaktiv ist und innerhalb weniger Jahre von selbst zerfällt. Tritium kann aber in den Atomenergieanlagen immer von neuem hergestellt werden. Es ist noch viel teurer als Deuterium.

Die militärische Bedeutung der Wasserstoffbombe (H-Bombe) liegt in folgendem: Für Größe und Stärke der Uran- und der Plutoniumbomben gibt es eine obere Grenze. Solche Bomben können nicht viel größer sein als die Bombe von Hiroshima, deren Sprengkraft der von 20000 Tonnen Trinitrotoluol (TNT, Trotyl; das ist der bisher am meisten gebräuchliche Bomben- und Granatensprengstoff) gleichkam.

Nun kann man zwar, soviel man weiß, Uran- und Plutoniumbomben erzeugen, die noch zehn- oder zwanzigmal stärker sind als jene von Hiroshima. Aber noch *wesentlich größere* Bomben würden unvermeidlich *von selbst* losgehen. Der Grund dafür ist der folgende: Eine Explosion kann nur erfolgen, wenn in jeder Zeiteinheit mehr Neutronen geboren werden als sterben, wenn also die Zahl der Neutronen ständig zunimmt. Diese Neutronenbilanz wird nun in entscheidender Weise dadurch beeinflußt, ob viele Neutronen durch die Oberfläche des Urans (Plutoniums) hindurch ins Freie treten und so für die Fortpflanzung verlorengehen. Die Uranbombe ist im einfachsten Falle so konstruiert, daß sie aus zwei Teilen besteht, die voneinander getrennt gelagert werden. In jedem der beiden Teile für sich genommen kann keine Explosion stattfinden, weil der Neutronenverlust durch die Oberfläche zu groß ist. Um nun die Explosion zu erreichen, werden die beiden Hälften der Bombe plötzlich für einen Augenblick zu einem einzigen Stück vereinigt, indem sie zum Beispiel mit zwei in das Bombengehäuse eingebauten, gegeneinander gerichteten Kanonenrohren aufeinander losgeschossen werden. Nun fällt an beiden Hälften derjenige Teil der Oberfläche fort, durch den sich die beiden Hälften berühren. Der Verlust an Neutronen ist daher momentan stark herabgesetzt, die Kettenreaktion kann sich entwickeln und die Explosion findet innerhalb einiger Millionstelsekunden statt (*Abbildung 15*).

Eine besondere Quelle für Neutronen, die die Kettenreaktion zum Anlaufen bringen sollen, ist nicht nötig. Es sind nämlich immer und überall in der Natur durch die Wirkung der kosmischen Höhenstrahlung und auch auf Grund anderer physikalischer Effekte einige Neutronen anwesend. Sie sind bereit, den Ausgangspunkt der Explosion zu bilden.

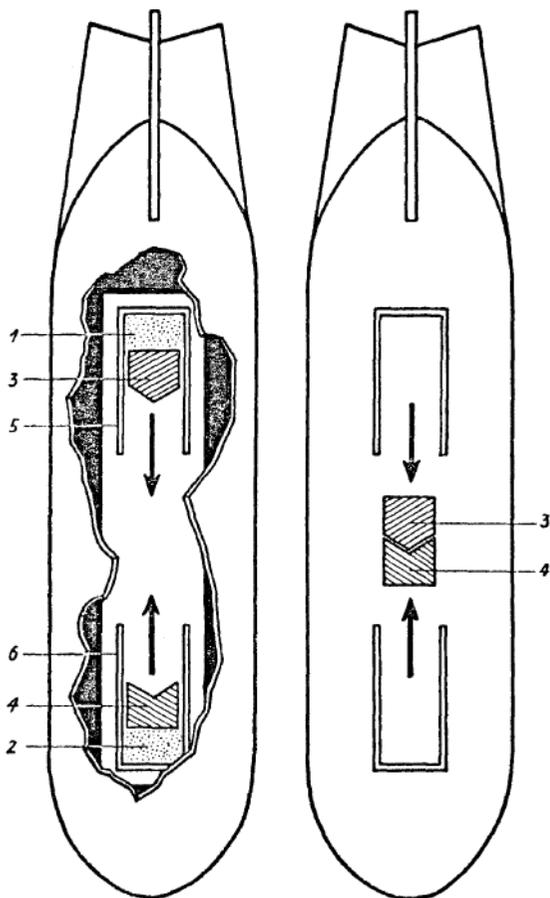


Abbildung 15

Prinzip der Uran-Atombombe.

Links: Einrichtung der Bombe (schematisch)

- | | |
|------------------------|-----------------------|
| 1 ... Pulverladung I; | 4 ... Uranmasse II; |
| 2 ... Pulverladung II; | 5 ... Abschüßrohr I; |
| 3 ... Uranmasse I; | 6 ... Abschüßrohr II. |

Rechts: Unmittelbar vor der Atomexplosion

- 3, 4 ... Vereinigung der beiden gegeneinander abgeschossenen Uranmassen I und II zur „kritischen Masse“, wodurch die augenblicklich ablaufende Kettenreaktion ausgelöst wird.

Wenn nun aber die Masse an Uran (oder Plutonium) von vornherein zu groß ist, ist der Neutronenverlust in jeder der beiden Bombenhälften für sich so klein, daß diese sich nicht mehr davon abhalten lassen, spontan selbständig zu explodieren. In jeder der beiden Hälften ist dann die Chance des durchschnittlichen, im explosiven Material geborenen Neutrons, ein anderes explosives Atom zu treffen, bevor es die Oberfläche erreicht, zu groß. Dann ist eben, wie man auch sagt, die *kritische Größe*, bei der Explosion unvermeidlich von selbst eintritt, nicht erst in der vollständigen, aus beiden Hälften bestehenden Bombe erfüllt, sondern schon in jeder der beiden Hälften für sich allein. Mit anderen Worten, es lassen sich keine Uran- oder Plutoniumbomben bauen, die eine bestimmte Höchstgröße überschreiten, weil ihre Bestandteile sonst schon von selbst losgehen würden.

Für die *Wasserstoffbombe* gibt es keine derartige Beschränkung. Das kommt natürlich daher, daß in diesem Fall die Kettenreaktion nicht durch Neutronen fortgepflanzt wird, sondern durch die extrem heißen Wasserstoffatome selbst. So viel schweren Wasserstoff man auch zusammenträgt — er wird nie von selbst losgehen, ehe er durch die Uranbombe gezündet wird. Es gibt bei Wasserstoffbomben keine kritische Größe, weil es im Wasserstoff ohne Zündung keine Quelle überheißer Atome gibt. Der Wasserstoff ist vorher überall zu kalt.

Man kann also Wasserstoffbomben beliebiger Größe herstellen. Es ist üblich geworden, für Zwecke von Berechnungen einer normalen H-Bombe die *tausendfache* Sprengkraft der Bombe von Hiroshima zuzuschreiben, die nach den ursprünglichen offiziellen Angaben 86 000 Menschen das Leben gekostet hat. (Später hat sich herausgestellt, daß die wirkliche Zahl der Opfer noch weitaus größer war; außerdem sterben noch heute — viele Jahre nach der Atombombenexplosion — Menschen an den Folgen der erlittenen gesundheitlichen Schädigungen.)

Was also diese Wasserstoffbombe betrifft, so entspricht ihre Sprengkraft, die, wie gesagt, tausendmal größer ist als jene der Atombombe von Hiroshima, 20 Millionen Tonnen Trinitrotoluol. Die Fachleute haben berechnet, daß der Sprengwirkungs-Radius einer solchen Bombe zehnmal so groß und ihr Glutstrahlungs-Radius gar dreißigmal so groß ist wie die entsprechenden Wirkungsradien der Bombe



Abbildung 16

Wirkungsbereich der Atombombe von Hiroshima vom 6. August 1945.

von Hiroshima. Die zum Zweck der Einschüchterung der Welt von den Amerikanern am 1. März 1954 im Stillen Ozean zur Explosion gebrachte H-Bombe soll bereits die 700fache Sprengkraft der Bombe von Hiroshima erreicht haben.

Während in Hiroshima noch in 1 Kilometer Entfernung vom Explosionsherd fast sämtliche Gebäude zerstört wurden (*Abbildung 16*), würden durch die „Normal-H-Bombe“ alle Gebäude auf 10 Kilometer Entfernung vernichtet werden. Während in Hiroshima die Glutstrahlung auf 1,5 Kilometer jeden zu Tode sengte, der der Strahlung direkt ausgesetzt war, würde bei Verwendung der H-Bombe diese Katastrophenzonen einen Radius von 45 Kilometer aufweisen.

Auch in bezug auf die *radioaktive Strahlenwirkung* ist die Wasser-

stoffbombe der Uranbombe „überlegen“. Zwar wird die radioaktive Strahlung, die zum Zeitpunkt der Explosion von der Glutwolke ausgeht, von der Luft so rasch verschluckt, daß die Bombe von Hiroshima „nur“ auf etwa einen bis eineinhalb Kilometer durch ihre Strahlenwirkung alles Leben tötete und auch eine Wasserstoffbombe durch ihre Strahlung nicht wesentlich weiter wirken könnte. Doch kann die radioaktive Asche durch die Winde über große Entfernungen getragen werden und weit vom Explosionsort ihre verheerende Wirkung entfalten, wie dies nach der Explosion im Stillen Ozean auch tatsächlich der Fall war. Übrigens gibt es bereits Vorschläge, wie man die Strahlenwirkung weiter steigern könnte: durch Verwendung der sogenannten *Kobaltbombe*.

Bei der Explosion einer H-Bombe entstehen nämlich als Nebenprodukte sehr viele Neutronen. Man kann nun die Neutronen, statt sie „nutzlos“ von der Luft verschlucken zu lassen, durch ein geeignetes Material abfangen. Ein solches Material ist *Kobalt*, ein eisenähnliches Metall. Man würde die Bombe also in einen Mantel aus Kobaltmetall einschließen. Das Kobalt verwandelt sich beim Einfang der Neutronen in radioaktives Kobalt. Radiokobalt ist ein *nützlicher Stoff*, wenn es an Stelle von Radium als Strahlenquelle zum Beispiel zur Krebsbekämpfung verwendet wird. Aber in der Kobaltbombe wird es durch die gewaltige Hitze verdampft. Bei der Abkühlung nach der Explosion bildet das Radiokobalt einen feinen Schwebstoff, der durch den Wind weitergetragen und über weite Länder verteilt werden würde. Die Strahlung des Kobalts, die viele Jahre währt, würde Mensch und Tier vernichten. Man hat berechnet, daß die Strahlung von der „Asche“ einer einzigen Kobaltbombe unter Umständen alles höhere Leben auf der Erde auslöschen könnte.

Werden thermonukleare Reaktionen *nur* Zerstörungszwecken dienen können, oder wird man sie nutzbar machen? Die Schwierigkeiten einer Nutzbarmachung sind enorm, da die Reaktionen nur bei Temperaturen ablaufen, denen kein Werkstoff widerstehen kann. Dennoch wird die Menschheit früher oder später das Problem lösen. Eine solche optimistische Einstellung spricht zum Beispiel aus dem Bericht des sowjetischen Fachmanns *Michailow* (1954), daß seine Kollegen bereits an diesem Problem arbeiten.

Wie stellt man eine ferne Atomexplosion fest?

Im Zeitalter des drohenden Atomkrieges ist es von großer Bedeutung, eine in einem fremden Land, ja sogar in einem fernen Kontinent vor sich gegangene Atomexplosion feststellen zu können. Man hat viel darüber nachgedacht, nach welchen Verfahren man die Explosion — noch tausende Kilometer vom Herd entfernt — registrieren könnte. Man hat zum Beispiel daran gedacht, den Stoß seismographisch (durch Erdbebenpendel) festzustellen und durch seinen eigenartigen zeitlichen Verlauf von Erdbeben zu unterscheiden.

In neuester Zeit wurden nun Verfahren veröffentlicht, die auf der Messung der *atmosphärischen Radioaktivität* beruhen. Die Methoden sind außerordentlich einfach und gleichzeitig sehr empfindlich.

Diese Verfahren beruhen darauf, daß bei der Explosion einer Atom-bombe unvorstellbare Riesenmengen von radioaktiven Stoffen entstehen. Das sind die Spaltprodukte des Urans oder des Plutoniums. Ihre Strahlung unmittelbar nach der Explosion entspricht der Strahlung von mehreren Millionen Tonnen Radium. Die Temperatur der Spaltprodukte ist zunächst der der explodierenden Bombe gleich, beträgt also rund eine Million Grad Celsius. (Die Temperatur der Sonnenoberfläche beträgt nur 6000 Grad!) Bei dieser Temperatur ist jeder Stoff längst zu Gas verdampft. Das Gas wird durch den gewaltigen Orkan, der durch die plötzliche Erhitzung am Explosionsherd entsteht, rasch über einen sehr großen Luftraum verteilt.

Bei der Abkühlung gehen die meisten dieser Radioelemente aus dem Gaszustand in den festen Zustand über. Da sie aber auch im festen Zustand noch fein verteilt bleiben, fallen sie nicht zu Boden, sondern bleiben als *Schwebstoffe* im Luftraum „hängen“. Bekanntlich setzt sich auch die sehr feine Asche, die bei manchen Vulkanausbrüchen entsteht, nur überaus langsam ab. Nach einer gewissen Zeit

erscheint dann der radioaktive Staub über anderen Kontinenten. Mit empfindlichen Meßgeräten, besonders mit dem Geiger-Zählrohr, läßt sich der Grad seiner Radioaktivität ohne weiteres messen.

Ein Problem bildet allerdings die Unterscheidung der Spaltprodukte des Urans oder Plutoniums von den normalen radioaktiven Bestandteilen der Atmosphäre. Wir sind nämlich unvermeidlich stets von radioaktiven Stoffen umgeben, die in der Luft enthalten sind.

Diese Stoffe entstammen den radioaktiven Gasen, die von der Erdrinde „ausgehaucht“ werden. Alle Gesteine der Erdoberfläche enthalten ganz erhebliche Mengen von Uran und Thorium sowie von deren Zerfallsprodukten, darunter auch Radium. Beim Zerfall des Urans entsteht nun stets auf dem Weg über das Radium eine sogenannte Emanation („Ausdünstung“), ein radioaktives Gas; die Radium-Emanation (auch Radon genannt) entweicht dann zum Teil in die Luft. Eine ähnliche Emanation wird auch vom Thorium gebildet. (Übrigens verwendet man die Radium-Emanation in der Krebstherapie.) Die Emanationen zerfallen im Laufe der Zeit spontan und bilden feste Tochterstoffe, die ebenfalls radioaktiv sind.

Bei Ballonaufstiegen hat man schon längst festgestellt, daß der Grad der Radioaktivität der Luft mit zunehmendem Abstand vom Erdboden abnimmt, was ja auch begreiflich ist. Später hat man gefunden, daß die Radioaktivität der Luft nicht nur von der Höhe, sondern auch vom geographischen Ort abhängig ist. Über Böden, die an Radioelementen besonders reich sind, ist auch die Radioaktivität der Luft bedeutend. Man kann also durch Untersuchung von Luftproben — eventuell sogar „laufend“ beim Überfliegen eines Gebietes — Uranerzlager ausfindig machen. So kann man die eifrige Pflege der Erforschung der Luftaktivität verstehen, die vor dem Zweiten Weltkrieg nur akademisches Interesse zu bieten schien.

Wie unterscheidet man also zwischen den normal in der Luft vorkommenden radioaktiven Stoffen und den Produkten einer Atomexplosion? Das „Geheimnis“ liegt in der Verschiedenheit ihrer Eigenschaften. So sind die Eigenschaften der Emanation und ihrer Zerfallsprodukte immer und überall die gleichen, ob nun die Luftprobe nahe dem Erdboden oder in großer Höhe, über den kongolesischen Uranerzlagern oder über dem Weltmeer genommen wurde. Der

Gehalt der Luft an Emanation mag jeweils sehr verschieden sein, aber deren Eigenschaften sind stets die gleichen. Insbesondere klingt ihre Aktivität im Laufe der Zeit in einem ganz bestimmten Tempo ab.

Auch die Spaltprodukte des Urans, also die Produkte der Explosion, haben ihre arteigentümlich ganz bestimmten Eigenschaften. Diese Stoffe stellen allerdings eine wilde Mischung zahlreicher verschiedener Elemente dar, wie zum Beispiel Radiojod, Radiozinn, Radiobarium u. a. Doch sinkt die Aktivität dieser Mischung auch nach einem charakteristischen Gesetz mit der Zeit ab. Im Gegensatz zu den normalen radioaktiven Bestandteilen der Atmosphäre, wie sie sich von der Emanation ableiten, zeigen die Spaltprodukte nach vielen Monaten, ja sogar nach Jahren noch immer erhebliche Aktivität. Man kann also durch die chemische Analyse der Schwebstoffe oder durch die Untersuchung des zeitlichen Verlaufes des Abklingens ihrer Radioaktivität einwandfrei feststellen, ob es sich um Spaltprodukte des Urans handelt.

Wie macht man das nun technisch? Höchst einfach! Man kann zum Beispiel einige Kubikmeter Luft durch einen Wattebausch saugen, der als Filter wirkt und die radioaktiven Schwebstoffe zurückhält. Die Aktivität des Bausches wird dann etwa mit dem Geiger-Zähler gemessen. Oder man fängt Regenwasser auf, in dem diese Stoffe gelöst oder aufgeschwemmt sind, verdampft das Wasser und mißt die Aktivität des — unsichtbaren — Rückstandes.

So kann man also ermitteln, *daß* eine Atomexplosion überhaupt stattgefunden hat. Schwerer ist es freilich, den *Ort* der Explosion ausfindig zu machen. Die radioaktive Wolke wird durch die Winde um die Erde getrieben. Aber wir kennen unmittelbar weder die Richtungen noch die Geschwindigkeiten der Winde. Wir wissen also nicht ohne weiteres, woher die Wolke stammt.

Etwas besser steht es mit der Berechnung der *Zeit*, die seit der Explosion vergangen ist. Man kann nämlich untersuchen, ob die kurzlebigen Uranspaltprodukte in der Wolke noch vorhanden sind oder ob sie schon „gestorben“ sind, das heißt, ob ihre Radioaktivität abgeklungen ist. Aus der An- oder der Abwesenheit dieser kurzlebigen Stoffe kann man dann einen Schluß darauf ziehen, wie alt die Wolke ist.

In unserer Zeit ist die Radioaktivität der Luft, selbst soweit sie auf dem Vorhandensein von Spaltprodukten beruhen mag, die von Atombomben-Versuchsexplosionen stammen, so schwach, daß besondere Geräte zu deren Nachweis erforderlich sind. Der Mann auf der Straße merkt von einer fernen Atomexplosion im allgemeinen zunächst nichts. Wenn aber in einem gräßlichen Atomkrieg immer stärkere Uran-, Wasserstoff- oder gar Wasserstoff-Kobalt-Bomben zum Einsatz gelangen sollten, so wäre eine allgemeine „Verseuchung“ der Luft mit radioaktiven Giften zu gewärtigen. Diese Verseuchung würde dann biologische Wirkungen entfalten und die Menschheit gesundheitlich auf das schwerste bedrohen.

Verwertung radioaktiver Abfallstoffe

In den Uranreaktoren (Atomenergieanlagen) fallen als unvermeidliche Nebenprodukte gigantische Mengen radioaktiver Stoffe an. Es sind die gleichen Stoffe, die auch bei der Explosion einer Atombombe entstehen. Sie bestehen aus den zwei „Hälften“, die aus der Spaltung eines jeden Uranatoms durch ein Neutron gebildet werden. Die Spaltstücke bleiben zunächst zum allergrößten Teil in das Uranmetall eingebettet.

Die Spaltstücke, die aus radioaktiven Atomen von Jod, Silber, Zinn, Barium oder anderen Elementen bestehen, senden in der Regel entweder schnelle Elektronen (sogenannte Betastrahlen) oder äußerst kurzwelliges Licht (sogenannte Gammastrahlen) oder beide aus. Man kann berechnen, daß zum Beispiel eine Atomenergieanlage von 10000 Kilowatt bezüglich Strahlungsintensität vielen Tonnen Radium entspricht. Freilich dringt während des Betriebes der Anlage nur ein kleiner Teil der Strahlung in die Außenwelt.

Bisher finden diese enormen Mengen radioaktiver Produkte keine Verwendung. Im Gegenteil, sie müssen mit großer Mühe und hohen Kosten beseitigt werden, wenn das Uran aus irgendwelchen Gründen einem Reaktor entnommen und aufgearbeitet werden muß. Das tritt vor allem dann ein, wenn das im Schoß des Urans im Verlaufe von Kernreaktionen neugebildete Plutonium von der Muttersubstanz abgetrennt werden soll.

Auf jeden Fall muß das Uran von Zeit zu Zeit von den Spaltprodukten gereinigt werden, weil diese den Reaktor „verschweinen“; sie fangen nämlich ebenso wie das Uran selbst auch Neutronen ein, die doch die Kettenreaktion fortpflanzen sollten! Indem sie dem Uran die Neutronen „wegfressen“, machen sie die Aufrechterhaltung des Betriebes des Reaktors mit der Zeit immer schwieriger und

schließlich sogar unmöglich. Man sagt dann, daß sich der Reaktor selbst „vergiftet“. Um nun den Reaktor an der Ausführung seiner selbstmörderischen Gedanken zu hindern, um ihn sich also nicht vergiften zu lassen, müssen von Zeit zu Zeit die Uranstäbe aus dem Reaktor herausgezogen und gewissermaßen chemisch geputzt werden. Die Reinigung erfolgt durch Auflösen des Urans in Säure und nachherige Abtrennung. Die hiebei anfallenden Abwässer, die die radioaktiven Stoffe außer Uran und Plutonium enthalten, werden zunächst mit Hilfe ferngelenkter Mechanismen in eine Art Klärteich geleitet, wo ihre Radioaktivität einigermaßen „abklingen“ soll. Sobald sie auf das zulässige Maß abgesunken ist, können die Abwässer in schnellfließende wasserreiche Flüsse abgeleitet und schließlich dem Meer zugeführt werden. Man kann sie auch in geschlossenen Gefäßen auf Schiffe verladen und in den Ozean versenken. Jedenfalls muß man dafür sorgen, daß die Giftstoffe nicht etwa auf dem Wege über die Fische den Menschen gesundheitlich Schaden bringen. Das sind aber phantasielose und kostspielige Wege zur Lösung des Problems!

Es darf freilich nicht verschwiegen werden, daß die Verwendung dieser radioaktiven Stoffe zu Kriegszwecken wiederholt vorgeschlagen worden ist. So wissen wir aus den Tagebüchern des früheren amerikanischen Kriegsministers *Forrestal*, der später im Verfolgungswahnsinn durch Selbstmord geendet hat, daß der sehr berühmte Physiker und Erfinder der Atomzertrümmerungsmaschine Zyklotron, *Lawrence*, auf die Möglichkeit der Verwendung dieser Gifte als Waffe hingewiesen hat. Man könnte die Radioelemente zum Beispiel in Form feinen Staubes von ferngelenkten Flugzeugen aus versprühen. Derartiger Todesstaub ist so aktiv, daß bereits unsichtbare Mengen tödliche Wirkung entfalten können. Diese Wirkung wäre um so schlimmer, als sie — so wie jede Wirkung radioaktiver Strahlung — erst nach einer gewissen Zeit fühlbar wird.

Demgegenüber wirkt es erfrischend, daß andere Forscher nach Möglichkeiten suchen, diese Abfallstoffe einer friedlichen Verwertung zuzuführen. Tatsächlich werden wir uns in Zukunft mit dieser Frage befassen müssen. Denn die radioaktiven Stoffe fallen nicht nur bei der militärischen Verwendung der Atomenergie an, deren Unterdrückung für die Menschheit eine Lebensnotwendigkeit ist, sondern

sie entstehen auch bei der Erzeugung elektrischer Energie im Atomkraftwerk.

Die Frage der wirtschaftlichen Verwendung wurde in den Studiengruppen unter Annahme verschiedener Einstandspreise für die radioaktiven Spaltprodukte diskutiert. Voraussetzung der Berechnungen war, daß die verschiedenartigen Spaltprodukte nicht voneinander getrennt, also nicht chemisch rein dargestellt werden müssen. Da es nur auf die Strahlenwirkung ankommt, aber nicht auf die chemische Natur des Strahlers, hätte eine solche Trennung auch wenig Wert.

So können die Radioelemente zur Aktivierung von Leuchtfarben — beispielsweise für die Zifferblätter von Uhren — verwendet werden. Das Zünden von Leuchtstoffröhren beim Einschalten kann ebenfalls durch die radioaktiven Strahlen erleichtert werden. Schließlich könnten auch mit Hilfe der Strahlen gewisse industriell entstehende Staube niedergeschlagen, abgeschieden und wiedergewonnen werden, zum Beispiel Kohlen- und Zementstaub.

Viel größer ist die Absatzmöglichkeit für Zwecke der *Radio-graphie*. Man kann metallische oder andere Werkstücke mit Röntgenstrahlen durchleuchten, um Fehlstellen „zerstörungsfrei“ aufzufinden. Statt der Röntgenstrahlen kann man nun mit Vorteil die Strahlung radioaktiver Stoffe verwenden. Erstens ist die Durchdringungsfähigkeit der radioaktiven Strahlen der der Röntgenstrahlen überlegen, so daß zum Beispiel noch Stahlstücke von einigen Dezimeter Dicke durchleuchtet werden können. Zweitens kann man die radioaktiven Quellen praktisch in Punktform anwenden, so daß man scharfe Bilder erhält. Drittens kann man die Untersuchung stets an Ort und Stelle ausführen, weil die radioaktiven Stoffe im Gegensatz zu den Röntgeneräten leicht transportabel sind.

Noch weit größer ist das Anwendungsgebiet für *Sterilisationszwecke*. Man kann Medikamente, zum Beispiel Penicillin, durch Strahlen sterilisieren. Schließlich könnten billige Strahlenquellen der Konservierung von Fleisch, Gemüse und Obst dienen. Die Sterilisierung der Heilmittel und der Konserven erfolgt natürlich an den fertigen Packungen oder Büchsen durch die Metall- oder Glaswand hindurch. Man wird die Güter auf einer Art Fließband an der Strah-

lungsquelle vorbeiführen. Freilich wären noch ausgedehnte praktische Versuche erforderlich, bevor das Verfahren wirklich als unbedenklich freigegeben werden dürfte.

Auch größeres Ungeziefer — Würmer und Insekten — läßt sich durch Strahlen vertilgen. Durch eine kleine Strahlendosis werden sie an der Fortpflanzung gehindert, durch eine große Dosis gänzlich abgetötet. Vielleicht werden die Strahlen in Zukunft verhindern, daß so wie bisher alljährlich riesige Werte an Lebensmitteln, Textilstoffen usw. verlorengehen. So wird man die Motten, die Getreidekäfer, die Taufliegen und die anderen Schädlinge bekämpfen, für die die Entwicklung der Zivilisation bisher paradiesische Lebensbedingungen geschaffen hat. Auch diese Vernichtung des Ungeziefers erfolgt ohne Verwendung von Hitze und Gift.

Vorstellbar sind noch weitere Anwendungsgebiete, die aber bis heute noch gar nicht ernsthaft studiert worden sind. So ist es denkbar, daß gewisse Reaktionen der chemischen Technik durch Strahleneinwirkung ermöglicht oder erleichtert werden. Beispielsweise könnten gewisse Verbrennungsprozesse oder synthetische Verfahren günstig beeinflußt werden.

Bei der Anwendung der Strahlen werden stets strenge Vorsichtsmaßnahmen gegen eine Schädigung der Arbeiter getroffen werden müssen. Noch strengere Vorsichtsmaßnahmen wird die Menschheit als Ganze treffen müssen, daß sie nicht von böswillig als Waffe entfesselter Strahlung getroffen wird.

Atome „mit Schildchen“

Seit langem verwenden die Ornithologen (Vogelforscher) eine einfache Methode, um die Geheimnisse des Vogelzuges zu entsleiern. Sie bringen an den Füßen der Zugvögel Ringe an, die eine Art Legitimation des betreffenden Vogels enthalten, und lassen die so gekennzeichneten Vögel dann wieder entfliegen. Wenn später einmal an einer ganz anderen Stelle der Welt ein so beringter Vogel gefangen wird, kann man aus den im Fußring enthaltenen Daten Schlüsse auf die Wandersitten der Vögel ziehen. So hat man zum Beispiel auf diese Weise erfahren, welche Flugrouten Störche aus verschiedenen europäischen Nistgebieten nach ihren Winterquartieren in Afrika wählen.

Auch die Geologen bedienen sich verhältnismäßig einfacher Verfahren, um zum Beispiel herauszubekommen, ob zwischen einem Fluß, der irgendwo im Karstgebiet im Erdboden verschwindet, und einem ebenso unversehens an anderer Stelle zutage tretenden Fluß eine unterirdische Verbindung bestehe. Zu diesem Zweck brachte man einen starken wasserlöslichen Farbstoff (Fluoreszein) in den Fluß ein und beobachtete, ob jener andere Fluß nun gefärbtes Wasser lieferte.

Wie oft mögen Chemiker und Physiker die Biologen und die Geologen um deren einfache Methoden zur Feststellung von Wanderwegen beneidet haben! Wenn man nur auch *Atome* und *Moleküle* beringen oder blau anstreichen oder sonstwie kennzeichnen könnte! Dann wäre es leicht, deren Weg zum Beispiel im lebenden Organismus festzustellen.

Eine geradezu ideale, der Größenklasse der Atome entsprechende Methode zu deren Kennzeichnung lieferte schließlich in ganz unvorhergesehener Weise die *Radioaktivität*. Daß die Lösung des Pro-

blems von einer Seite kam, wo sie niemand vermutet hätte, zeigt übrigens wieder, daß man Forschung auch dort fördern muß, wo sie keinen unmittelbaren Nutzen verspricht. Man kann nämlich nie wissen! Wer hätte im Jahre 1896 voraussagen können, daß es ein entscheidender Schritt zur Erforschung von Stoffwechselproblemen (oder auch zur Entwicklung einer neuen Energiequelle) sei, daß jemand ein Stück Uranpechblende auf eine Photoplatte legt? Und doch hat gerade dieser höchst einfache Versuch zur Entdeckung der Radioaktivität und damit zu einer ganzen Revolution mehrerer Wissenschaften geführt.

Nach der Entdeckung der Radioaktivität wurde in Wien, also der Hauptstadt jenes Landes, zu dem damals die berühmten Uranvorkommen von Joachimsthal gehörten, ein Radiuminstitut gestiftet. Es steht noch heute in der Boltzmann-gasse und ist Eigentum der Österreichischen Akademie der Wissenschaften. Viele Jahre wurde es von dem weltbekannten Physiker *Stefan Meyer* geleitet.

Große Entdeckungen nahmen aus der Boltzmann-gasse ihren Weg in die Welt und viele berühmte Forscher verbrachten dort ihre Lehr- oder Gesellenjahre. Zu ihnen gehören auch der Wiener *Fritz Paneth* und der Ungar *Georg Hevesy*. Beide waren als junge Männer knapp vor dem Ersten Weltkrieg Assistenten am Radiuminstitut. Dort ersannen sie die Methode, deren Beschreibung den Gegenstand dieses Kapitels bildet und die heute von tausenden und abertausenden Forschern in der ganzen Welt angewendet wird.

Hevesy hatte in Manchester bei dem Altmeister der Atomforschung, *Ernest Rutherford*, gearbeitet. Dieser hatte ihm die Aufgabe gestellt, radioaktive Bleiarten, wie sie beim spontanen Zerfall von Uran oder Thorium entstehen, nach chemischen Verfahren von gewöhnlichem (nicht radioaktivem) Blei zu trennen. Hevesy probierte alle üblichen chemischen Verfahren, wie Filtration, Verdampfung, Elektrolyse. Keines brachte die Lösung, denn jedes der so gewonnenen Bleipräparate enthielt stets gewöhnliches und radioaktives Blei genau im ursprünglichen Verhältnis. Eine chemische Trennung erwies sich also als unmöglich. Nicht nur Hevesy war der Erfolg versagt, auch anderen Forschern gelang die Lösung der gestellten Aufgabe nicht.

Heute wissen wir, warum die Versuche erfolglos bleiben *mußten*. Das Radioblei unterscheidet sich von gewöhnlichem Blei nämlich überhaupt nicht durch die Zahl (82) der Elektronen, die den Atomkern umkreisen. Die chemischen Eigenschaften eines Elementes werden aber ausschließlich eben durch diese den Atomkern außen umkreisenden Elektronen bestimmt. Der ganze Unterschied liegt bloß darin, daß das Radioblei im Atomkern mehr Neutronen enthält als das Alltagsblei; die Neutronen beeinflussen aber die chemischen Eigenschaften des Atoms überhaupt nicht. Wohl aber sind die Neutronen für die Radioaktivität bedeutsam, die eine Eigenschaft allein des Atomkerns ist und mit den ihn umkreisenden Elektronen nichts zu tun hat. Solange ein Atom radioaktiven Stoffes nicht zerfällt — und das kann es nur einmal im „Leben“ — benimmt es sich daher in bezug auf seine chemischen Reaktionen genau wie ein Atom inaktiver Substanz mit gleicher Elektronenzahl.

Während andere Forscher ihren Mißerfolg bei der Abtrennung des Radiobleis bloß widerstrebend zur Kenntnis nahmen, hatten Hevesy, der inzwischen nach Wien übersiedelt war, und Paneth eine ausgezeichnete Idee. Sie machten aus der Not eine Tugend. Sie drehten den Spieß um. Wenn Radioblei und gewöhnliches Blei sich chemisch wirklich überhaupt nicht unterscheiden, dann konnte man ja das Radioblei zu Versuchen über den *Bleistoffwechsel* verwenden! Denn durch seine Radioaktivität läßt es sich noch in außerordentlicher Verdünnung einwandfrei nachweisen. Unter Umständen kann noch jedes einzelne radioaktive Atom nachgewiesen werden — so empfindlich sind die experimentellen Methoden der Radiochemie. Diese Nachweisbarkeit bleibt auch erhalten, wenn ein großer Überschuß an inaktivem Blei vorhanden ist. Andererseits mußte man aber keineswegs befürchten, daß das Radioblei sich chemisch irgendwie unnatürlich benehmen könnte, da man ja eindeutig festgestellt hatte, daß es sich wirklich chemisch ganz genau so verhält wie gewöhnliches Blei.

Die ersten Experimente dieser Art wurden in Wien noch vor Ausbruch des Ersten Weltkrieges ausgeführt. So wurde die Methode der *radioaktiven Indikatoren* geboren. Das heißt, die Radioaktivität „indiziert“ (zeigt an), wo sich das Blei gerade befindet. Die radio-

aktiven Atome benehmen sich genau so wie ihre normalen Brüder — nur sind sie durch ihre Radioaktivität stets auffindbar. Nach diesem Verfahren wurde die Löslichkeit bestimmter Bleisalze in Wasser bestimmt. Der Grad ihrer Löslichkeit ist so gering, daß er nach anderen Verfahren überhaupt nicht bestimmt werden konnte. Obgleich also die in Lösung befindlichen Bleimengen gänzlich unwägbar sind, kann — bei Verwendung von radioaktiv „indiziertem“ Blei — die Radioaktivität der Lösung doch gemessen werden.

Später maß Hevesy die sogenannte *Austauschgeschwindigkeit* zwischen Bleiionen in Lösung und gediegenem Bleimetall. Das ist offenbar ein Vorgang, der für die Erforschung des elektrolytischen Geschehens grundlegende Bedeutung besitzt. Hevesy hängte einen Streifen Bleimetall in die Lösung eines Bleisalzes, zum Beispiel von Bleinitrat. Der Bleilösung war etwas Radioblei zugesetzt worden. Nach einer gewissen Zeit wies der Bleimetallstreifen Radioaktivität auf, obwohl die Bleikonzentration der Lösung gleich blieb. Das mußte so gedeutet werden, daß inaktive Bleiatome aus dem Blech mit aktiven Bleiatomen aus der Lösung den Platz gewechselt (ausgetauscht) hatten. Die Austauschgeschwindigkeit konnte unter verschiedenen Bedingungen (bezüglich Versuchsdauer, Säuregrad der Lösung, Temperatur usw.) bestimmt werden. Es zeigte sich, daß fast augenblicklich Platzwechsel in einer Oberflächenschicht eintritt, die viele Atomlagen dick ist — also überraschend schnell. In derlei Versuchen kann also die Ortsveränderung der (Blei-)Atome verfolgt werden, die sich ursprünglich in der Lösung befanden, als hätten sie Schildchen aufgeklebt. Man kann sie von den Atomen unterscheiden, aus denen das Bleiblech ursprünglich bestand. Daher spricht man auch von der *Methode der „markierten Atome“*.

Einen enormen Aufschwung nahm diese Methode, als 1934 dem Ehepaar *Frédéric* und *Irène Joliot-Curie* in Paris die Entdeckung gelang, daß man fast jedes chemische Element künstlich radioaktiv machen kann. Damit sind wir also nicht mehr auf die natürlich vorkommenden Radioelemente (hauptsächlich Radioblei und Radio-wismut) angewiesen, sondern verfügen über Radionatrium, -schwefel, -chlor, -eisen, -phosphor, -kohlenstoff, -wasserstoff und viele andere künstlich hergestellte Radioelemente. Nun war alles zum Frontal-

angriff auf *Stoffwechselprobleme* aller Art bereit. Wir wollen den Begriff des Stoffwechsels hier so breit wie nur möglich fassen.

Die *Biochemie*, die Chemie der lebenden Substanz, ist so recht der eigentliche Bereich der Indikatorenmethode. Hier sind wichtigste Erkenntnisse gewonnen worden. Die Bedeutung der Indikatorenmethode für die Biologie ist mit der Bedeutung des Mikroskops verglichen worden. Wir wollen nun eine Anzahl von Beispielen herausgreifen. In jedem Fall ist die Zahl der radioaktiven Atome zu klein, die Strahlung also zu wenig intensiv, als daß das lebende Gewebe geschädigt werden könnte; es bleibt gesund und verhält sich völlig normal.

Man weiß zum Beispiel seit langem, daß die *Schilddrüse* — das Organ, das die Verbrennung der Nahrung im Körper reguliert — das Element *Jod* enthält. So verwendet man ja auch mit Jod versetztes Kochsalz zur Verhütung und Behandlung des Kropfes, der Symptom einer Schilddrüsenerkrankung ist. Es ist nun wichtig zu erfahren, wie rasch das mit der Nahrung aufgenommene Jod den Weg in die Schilddrüse findet und wieviel davon verwertet wird. So wurden dem Körper kleine Mengen Radiojodsalze zugeführt. Man fand dann durch Radioaktivitätsmessung von außen, daß das Jod sich bereits nach wenigen Minuten in der Schilddrüse zu zeigen beginnt. Auch erwies sich, daß die Aufnahmegeschwindigkeit durch Erkrankungen, zum Beispiel Kropf oder Schilddrüsenkrebs, äußerst stark beeinflußt wird. Man kann also die Aufnahmegeschwindigkeit zur Beurteilung von Erkrankungen heranziehen.

Wenn ein Mensch mit der Nahrung Verbindungen von radioaktivem Phosphor erhält, so erscheint dieser alsbald in gelöster Form im Blut, wo seine Konzentration nach zwei Stunden ein Maximum erreicht. Während die Radioaktivität des Blutes sodann wieder abnimmt, nimmt die Aktivität anderer Gewebe allmählich zu. Insbesondere wird der Radiophosphor langsam als Kalziumphosphat in den *Knochen* abgelagert. Daraus folgt, daß die Mineralsubstanz der Knochen am Stoffwechsel teilnimmt und keineswegs ruhende Materie darstellt. Es findet also ständig eine Ausscheidung von alter und die Ablagerung neuer Knochensubstanz statt. Die Geschwindigkeit der Erneuerung ist je nach der Stellung im Skelett verschieden. Zum

Beispiel ist der Stoffwechsel der Zahnkronen sehr lebhaft, was angesichts ihrer starken Abnützung auch zu erwarten ist, während der der Rippen ziemlich schwach ist. Bei jungen, wachsenden Tieren ist der Stoffwechsel der Knochen besonders lebhaft. Eine Ablagerung von Radiophosphor in den Knochen von Jungtieren findet aber nur dann statt, wenn Vitamin D vorhanden ist, also das knochenbildende antirachitische Vitamin, das in Milch, Eiern und Lebertran vorkommt. Studien mit Radiophosphor haben auch den Mechanismus der Aufnahme von Phosphatdünger aus dem Boden aufgeklärt.

Die *roten Blutkörperchen* enthalten das *Hämoglobin*, das dem Blut seine Farbe verleiht. Dieser Farbstoff enthält *Eisen*. Eisenarme Nahrung bewirkt Farbstoffmangel. Deshalb empfahlen früher die Ärzte mit Recht blutarmen Mädchen Äpfel, in denen ein rostiger Nagel gesteckt hatte. Die Radiochemie belehrt uns nun, daß mehrere Monate vergehen, bis das Eisen der Nahrung sich im Blut voll auswirkt. Die Atome des Eisens können nämlich nur in die neugebildeten Blutkörperchen eingelagert werden, und diese erneuern sich eben im Laufe einiger Monate. Es zeigte sich auch, daß zugeführtes Überschuß-Eisen nicht, wie man früher geglaubt hatte, vom Körper absorbiert und dann wieder abgegeben wird, sondern daß es den Magen-Darm-Kanal gar nicht verläßt.

Ihre Krönung findet die Methode der markierten Atome aber bei der Verwendung von *Radiokohlenstoff*. Der Kohlenstoff ist ja der Hauptbestandteil aller organischen Substanz. Beispielsweise hat man durch Injektion radioaktiver Essigsäure festgestellt, daß der Tierkörper aus dieser einfachen Verbindung, die nur zwei Kohlenstoffatome im Molekül enthält, hochkomplizierte lebenswichtige Stoffe von der Art der Gallensäuren, der Geschlechtshormone und des Vitamins D zu erzeugen vermag. Man hat auch der tierischen Nahrung radioaktive Vitamine zugefügt und ausfindig gemacht, an welchen Stellen des Körpers sie gelagert werden. In bezug auf das Pflanzenleben hat man nicht nur die Photosynthese erforscht, sondern auch den Weg zu bestimmen begonnen, auf dem die Pflanze Gerüststoffe (wie das Lignin, aus dem ein Drittel der Trockensubstanz des Holzes besteht) und Wirkstoffe (wie Alkaloide — beispielsweise

Chinin, Koffein, Morphin, Strychnin) erzeugt. Diese Forschungen werden zweifellos noch große praktische Auswirkungen haben.

Freilich tritt bei der Arbeit mit Radiokohlenstoff eine interessante Schwierigkeit ein. Der Radiokohlenstoff muß ja für die Zwecke der wissenschaftlichen Experimente oft in komplizierte Moleküle eingebaut werden, die nur schwer oder gar nicht synthetisiert werden können. Zum Beispiel ist bisher im Laboratorium noch keine Eiweißsynthese vollbracht worden. Wie kann man sich da helfen? Man überläßt der Natur selbst die *Biosynthese* (also Synthese unter Mithilfe des Lebens) dieser Verbindungen: Man züchtet radiokohlenstoffhaltige Organismen, indem man Pflanzen in radiokohlensäurehaltiger Luft wachsen läßt oder indem man Tieren radioaktive Stoffe injiziert. Auf diese Weise bilden sich die radioaktiven Eiweißstoffe usw. ganz von selbst. Sie brauchen dann nur nach bekannten chemischen Verfahren aus dem lebenden Gewebe abgetrennt zu werden. So hat man radioaktive Obst- und Gemüsegärten angelegt, die bloß der Erzeugung von radioaktiven Verbindungen für die Laboratorien dienen. Auch radioaktives Penicillin und Streptomycin hat man durch die entsprechenden Schimmelpilze auf radioaktiven Nährböden sich bilden lassen, um das Verhalten dieser Heilmittel in unserem Körper prüfen zu können. Man könnte auch daran denken, aus in radioaktiver Luft gewachsenen Pflanzen unfälschbares Banknotenpapier zu machen!

Vielleicht die wesentlichste Lehre aus der Anwendung der Methode der markierten Atome auf die Biochemie ist die Erkenntnis, daß auch in den Geweben des lebenden Organismus „alles fließt“, wie der griechische Philosoph *Heraklit* vor 2500 Jahren ganz allgemein behauptet hat. Alle belebte Materie ist in ständigem Stoffwechsel begriffen. Selbst die stabilsten Teile wie Knochen oder Fettreserven zeigen immerwährend gleichzeitigen Auf- und Abbau ihrer Substanz. Wenn ein Organismus seine Form behält, so heißt das nur, daß Aufbau und Abbau sich gerade die Waage halten. Die einzelnen Atome in unserem Körper aber wechseln ständig ihre Plätze, solange wir leben.

Aus der Geschichte unseres Planeten

Wie alt ist unsere Erde?

Wir wissen noch nicht, auf welche Weise unsere Erde geboren wurde, aber wir wissen, daß es schon sehr lange her ist. Trotz den Verboten der Kirche, die an der Bibel festhielt, hat sich das Wissen Bahn gebrochen, daß unsere Erde schon mehrere Milliarden Jahre alt ist. Diese Kenntnis verdanken wir einer Reihe grundverschiedener wissenschaftlicher Untersuchungsmethoden. Die verlässlichsten Daten werden durch ein Verfahren geliefert, das sich auf die *Radioaktivität* des Urans stützt.

Am einfachsten ist es, das *relative Alter* der verschiedenen Gesteinsschichten auf der Erdoberfläche zu erfahren. Welche Schicht ist älter, welche jünger? Es gibt da eine schöne Bestimmungsmethode (noch ohne Benützung der Radioaktivität), die auf dem Gehalt der Schichten an *Fossilien* (versteinerten urweltlichen Lebewesen) beruht. Offenbar sind *im allgemeinen* Schichten als besonders alt zu betrachten, wenn sie überhaupt noch keine Fossilien enthalten. Sie wurden nämlich vor der Entstehung des Lebens auf der Erde abgelagert oder wenigstens in einer Epoche, deren Lebewesen noch keine Festbestandteile wie Skelette oder Panzer besaßen, die erhalten bleiben oder in Lehmabdrücken dauernde Spuren hinterlassen konnten; Pilze zum Beispiel vermodern meist spurlos. Andererseits wieder müssen Schichten, in denen Knochen hochentwickelter Säugetiere, von Rindern, Hunden, Affen oder gar von Menschen, gefunden werden, besonders jung sein.

Zwischen diesen Extremfällen existieren Schichten, in denen sich Spuren mehr oder minder hochentwickelter Lebewesen finden lassen. Man wird also je nach der Entwicklungshöhe der Fossilien, die nach der *Darwinschen* Entwicklungslehre beurteilt wird, eine Altersklassifizierung der Schichten aufstellen dürfen. Auf diese

Weise kann man ein Urteil darüber fällen, ob eine Schicht älter oder jünger ist als eine andere. Was die Fossilienmethode allerdings nicht verrät, ist das *absolute Alter* der Schichten. Sie sagt zum Beispiel nichts darüber aus, *wie viele Jahre alt* eine Schicht ist, die zwar schon die (weniger entwickelten) Fische, aber noch nicht die (höher entwickelten) Frösche enthält. Um so weniger kann man nach dieser Fossilienmethode allein festlegen, wie alt die feste Erdoberfläche als Ganze ist. Dazu brauchen wir die Radioaktivität.

Infolge ihrer *Radioaktivität* wandeln sich gewisse Stoffe in der Natur stetig und von selbst in andere Stoffe um. Die Geschwindigkeit dieser Umwandlung hängt nicht im mindesten von äußeren Umständen ab, wie zum Beispiel von Temperatur, Druck, Anwesenheit anderer Stoffe. Infolgedessen kann man aus der Menge Umwandlungsprodukt (Tochtersubstanz), das in einer Gesteinsschicht neben einer bekannten Menge der radioaktiven Muttersubstanz vorhanden ist, die *Zeitdauer* erschließen, während der die Umwandlung ungestört vor sich gegangen ist. Mit anderen Worten, man kann das tatsächliche Alter des Gesteins *in Jahren* berechnen.

Aus dem *Uran* bildet sich durch spontanen radioaktiven Zerfall im Laufe der Zeit letzten Endes *Blei*. Die Umwandlung verläuft recht langsam: Innerhalb von etwa fünf Milliarden Jahren wandelt sich die Hälfte des ursprünglich vorhandenen Urans in Blei um. Freilich kann das Gestein auch schon zu Beginn Blei („Ur-Blei“) nicht radioaktiven Ursprungs enthalten haben, das bei der Berechnung nicht mitgezählt werden darf; glücklicherweise kennt die Wissenschaft Methoden zur Unterscheidung des ursprünglich vorhandenen (beigemengten) Urbleis vom später radioaktiv gebildeten Blei. Diese Methoden beruhen darauf, daß die verschiedenen Bleisorten aus Isotopen (siehe Seite 51) in verschiedenem Anteilsverhältnis zusammengesetzt sind.

Auch muß man bei der Altersbestimmung sicher sein, daß das betreffende Gestein niemals in seiner Geschichte durch Gewässer ausgelaugt wurde. Beim Auslaugen kann nämlich Uran, Blei oder auch ein Zwischenprodukt des Zerfalls verlorengegangen sein. Dann hätte sich das Mengenverhältnis von Muttersubstanz zu Tochtersubstanz

verschoben, weshalb die Altersberechnung ein unrichtiges Ergebnis brächte.

In gewissen Fällen bestimmt man statt des Bleis lieber einen Stoff, der gewissermaßen als Nebenprodukt des radioaktiven Uranzerfalls entsteht, nämlich das Gas *Helium*. Seine Bestimmung ist empfindlicher als die des Bleis; allerdings besteht bei porösem Gestein die Möglichkeit, daß ein Teil des Gases im Laufe der Jahrmillionen entwichen ist.

Die Helium-Methode wird besonders auch auf die Bestimmung des Alters von Eisenmeteoriten angewandt, die einerseits wenig Uran enthalten, andererseits aber für Helium ganz undurchlässig sind. Freilich ist hier eine andere Fehlerquelle zu beachten: Auf ihrer Reise durch den Weltraum sind die Meteoriten dem Hagel der kosmischen Strahlung ausgesetzt, die in ihnen durch Atomzertrümmerung ebenfalls Helium bilden kann! Doch kann das „kosmisch entstandene“ vom „radioaktiv entstandenen“ Helium mit Hilfe von Isotopen-Meßgeräten unterschieden werden, ebenso wie auch das Urblei vom radioaktiv entstandenen Blei unterschieden werden kann. Im Laboratorium *Paneths* ergaben Messungen und Berechnungen Alter von mehreren hundert Millionen Jahren, und nach einer ähnlichen Methode wurden im Laboratorium *Gerlings* in der Sowjetunion bei Steinmeteoriten noch höhere Alterswerte ermittelt.

Bei der Durchführung der Altersbestimmung an irdischen Gesteinen ergibt sich nun, daß die ältesten Teile der Erdoberfläche etwa 2000 Millionen Jahre alt sind. (Es gibt allerdings gute Gründe zur Annahme, daß die Erde fast doppelt so alt ist wie diese ältesten Oberflächengesteine.) Die ältesten fossilführenden Schichten haben ein Alter von etwa 800 Millionen Jahren*. Nachdem längere Entwicklungsperioden hindurch niedere Krebse, Würmer und Insekten die höchsten Vertreter der Tierwelt gewesen waren, erschienen vor 360 Millionen Jahren die ersten Wirbeltiere, nämlich Fische. Vor 270 Millionen Jahren traten Reptilien auf, vor 120 Millionen Jahren Vögel.

* In neuester Zeit haben manche Fachleute berichtet, daß sie Oberflächengesteine gefunden haben, die wesentlich älter sind als 2000 Millionen Jahre, und Fossilien, die wesentlich älter sind als 800 Millionen Jahre.

Säugetiere (160 Millionen Jahre) sind älter als Vögel, aber erst vor 80 Millionen Jahren lernten sie es, ohne Eierlegen auszukommen, wengleich es noch heute in Australien eierlegende Säugetiere gibt. „Rasch“ erschienen nun die Vorläufer der heutigen Wiederkäuer, Raub- und Nagetiere auf der Bildfläche. Vor fünfzig Millionen Jahren gab es schon Affen, aber erst vor einer Million Jahren die ersten Urmenschen.

Eine ähnliche Stufenleiter kann man auch für die Hochentwicklung der Pflanzen aufstellen. Natürlich müssen die Pflanzen vor den Tieren aufgetreten sein, da diese von jenen leben. Ein äußerst wichtiges Ergebnis der Forschung ist die Feststellung, daß die Reihenfolge des Auftretens immer höher entwickelter Klassen von Lebewesen, wie sie nach der Methode der Radioaktivität erschlossen wird, also die Reihenfolge der absoluten Alter, genau mit der relativen Reihenfolge übereinstimmt, die die Darwinisten auf Grund des Entwicklungsgrades der Lebewesen annehmen. Auf diese Weise liefert die Methode der Radioaktivität eine glänzende Bestätigung der Abstammungslehre.

Die verschiedenen Ausführungsformen der *Uranmethode* eignen sich nur zur Bestimmung langer Zeiträume (von Millionen und Milliarden Jahren), nicht aber zur Bestimmung kurzer Zeiträume (von „bloß“ tausenden oder zehntausenden Jahren). Für die Bestimmung der Vergangenheit des Menschen wird die *Uranmethode* durch die *Kohlenstoffmethode* wirksam ergänzt, die ebenfalls auf der Tatsache der Radioaktivität beruht. Darüber wird im folgenden Aufsatz berichtet.

Nun mögen die von der *Uranmethode* gelieferten Ergebnisse zusammengefaßt werden. Drängen wir in einem anschaulichen Bild den gesamten, auf zwei Milliarden Jahre sich erstreckenden Entwicklungslauf auf einen einzigen Tag, also auf vierundzwanzig Stunden, zusammen! Dabei soll die Bildung der ältesten Gesteine um null Uhr des anbrechenden Tages erfolgt sein. Dann treten die ältesten uns bekannten Lebewesen erst am Nachmittag, nämlich um 14 Uhr auf, die Fische um 20 Uhr, die Reptilien um 21 Uhr und die Säugetiere um 22 Uhr. Der erste Affe erblickt um 23 Uhr 20 Minuten das Licht der Welt, der erste Mensch um 23 Uhr 59 Minu-

ten 20 Sekunden. Aber der von der geschriebenen Geschichte umfaßte Zeitraum (6000 Jahre) beginnt erst um 23 Uhr 59 Minuten $59\frac{3}{4}$ Sekunden. Noch näher der Mitternachtsstunde werden Elektrizität und Vitamine entdeckt, entwickeln sich die einander ablösenden Formen der menschlichen Gesellschaft bis hinauf zum Sozialismus! In diesem Lichte brauchen wir mit den Errungenschaften der Menschheit in den letzten Hundertstelsekunden nicht so unzufrieden zu sein!

Entschleierte Mumiengeheimnisse

Hätte man noch vor zehn Jahren einen Archäologen nach seinem kühnsten Wunsch gefragt, so wäre die Antwort vielleicht gewesen: Ein Apparat, mit dem man das Alter von wichtigen Altertümern feststellen kann: eine Maschine, in die man auf der einen Seite ein Stück Holz oder einen Knochen hineinschiebt, und an deren anderem Ende eine Art Wägemarke herauskommt, auf der das Alter des Gegenstandes aufgedruckt ist! Mit einer derartigen Maschine könnte man viele Rätsel der Geschichte und der Vorgeschichte lösen, viele Ereignisse längst vergangener Zeiten „datieren“.

Eine Maschine ähnlicher Art gibt es heute. Sie wurde von einem Radiochemiker namens *Libby* erfunden. Libby und einige seiner Kollegen haben Altersbestimmungen durchgeführt und unser Wissen von der Frühzeit des Menschen entscheidend bereichert. Seither sind solche Geräte auch an anderen Orten errichtet worden.

Das Verfahren beruht auf der *Radioaktivität*. Auch die Bestimmung des Alters von Gesteinen, wie sie schon seit einem halben Jahrhundert ausgeübt wird, stützt sich auf die Radioaktivität. Aber die „Datierung“ der Gesteine, die auf der (sehr langsamen) Umwandlung von Uran in Blei beruht, erfordert erstens, daß in der Probe überhaupt eine merkliche Menge Uran vorhanden ist, und zweitens, daß genug Zeit vergangen ist, damit eine meßbare Menge Blei entstehen konnte. Beide Voraussetzungen sind bei einem menschlichen Knochen oder Gebrauchsgegenstand nicht erfüllt.

Wieder einmal kam die Antwort auf eine Frage der Wissenschaft von unerwarteter Seite. Ist es nicht überraschend, daß eine Untersuchung der Wirkung der kosmischen Höhenstrahlung auf das Luftmeer der Erde uns schließlich ein Werkzeug in die Hand gegeben hat, mit dessen Hilfe wir erkennen können, wann die

Indianer nach Feuerland vorgedrungen sind? Hören wir, wie das zugegangen ist.

Die Erde ist ständig dem Beschuß durch die *Höhenstrahlen* ausgesetzt, die aus den Fernen des Weltraumes kommen (siehe Seite 53). Die Zahl der Strahlen ist nicht groß, aber sie sind reich an Energie. Sie können daher Atomkerne der Luft zerschlagen, die aus Protonen und Neutronen bestehen, und dabei Neutronen freisetzen. Diese Neutronen nun wirken auf die Atomkerne des Luftstickstoffs und verwandeln dabei den Stickstoff in eine radioaktive Art des Kohlenstoffs. Dieser Radiokohlenstoff liegt dann, mit Sauerstoff chemisch verbunden, in der Luft in Form *radioaktiver Kohlensäure* vor.

Radioaktive Atome zeigen immer die gleichen chemischen Reaktionen wie ihre inaktiven „Brüder“. So verhält sich der *Radiokohlenstoff* chemisch genau so wie gewöhnlicher Kohlenstoff. Er wird daher ebenso wie dieser von den Pflanzen aufgenommen und zum Aufbau ihrer Körpersubstanz benützt. Die Pflanzen wieder werden von den Tieren und Menschen verzehrt, so daß schließlich die gesamte lebende Materie neben einem gewaltigen Überschuß von gewöhnlichem, nicht radioaktivem Kohlenstoff auch ein klein wenig seines radioaktiven Bruders enthält. Man kann zum Beispiel ausrechnen, daß der menschliche Körper ungefähr ein hunderttausendstel Milligramm Radiokohlenstoff enthält. Solange der Radiokohlenstoff immer wieder nachgeliefert wird, bleibt der Betrag der Radioaktivität der Lebewesen stets der gleiche.

Wenn aber die Nachlieferung aufhört, so nimmt die Menge des Radiokohlenstoffes in der betrachteten Substanz, zum Beispiel im Tierkörper, allmählich ab, da er ja radioaktivem Zerfall unterworfen ist. Die Radioaktivität des Körpers erlischt also allmählich. Die Erfahrung hat gezeigt, daß in einem derartigen Fall nach ungefähr 5600 Jahren nur mehr die Hälfte des ursprünglich vorhandenen Radiokohlenstoffes übrig ist, nach weiteren 5600 Jahren nur mehr die Hälfte der übriggebliebenen Hälfte, also ein Viertel, nach dreimal 5600 Jahren, also nach 16800 Jahren, nur mehr ein Achtel usw.

Die Nachlieferung — letzten Endes aus der Luft — endet nun tatsächlich, sobald ein lebendes Gewebe abstirbt und seinen Stoffwechsel einstellt. Zum Beispiel steht das tote *Kernholz* im Inneren

des Baumes, das nur mehr als Leitungssystem für Wasser dient, in keinem Stoffaustausch mit der Atmosphäre mehr. Ebenso hat der *Knochen* eines verendeten Tieres die Aufnahme von Kohlenstoff aus der Umgebung eingestellt. So verliert der Knochen nach dem Tode des Tieres allmählich, und zwar mit der erwähnten Halbwertszeit von 5600 Jahren, seine Radioaktivität. Man kann daher den Zeitpunkt bestimmen, in dem ein Gewebe seinen Tod gefunden hat, indem man den Grad seiner Radioaktivität durch Kohlenstoff bestimmt.

Obgleich der Grundgedanke verhältnismäßig einfach ist, ist doch die praktische Durchführung solcher Altersbestimmungen überaus schwierig. Das liegt daran, daß der Grad der Radioaktivität des natürlichen Kohlenstoffes so außerordentlich gering ist — weil ja auch die Höhenstrahlung so wenig intensiv ist. Man muß also ganz besondere Tricks und Kniffe anwenden, um die Aktivität des natürlichen Kohlenstoffes überhaupt messen zu können. Diese Messungen erfolgen mit Hilfe der *Geiger-Zählrohre*.

Aber mit einem gewöhnlichen Zählrohr ist es noch nicht getan. Das Zählrohr hat nämlich die unangenehme Eigenschaft, daß es nicht nur auf die Strahlung aus der zu messenden Probe, sondern auch direkt auf die kosmische Höhenstrahlung anspricht. Wenn also die Probe (zum Beispiel Holz oder Knochen) nur wenig aktiv ist, so übertrifft unter Umständen die kosmische Strahlung die Strahlung aus der Probe ganz wesentlich an Intensität. Das Zählrohr wird dann hauptsächlich durch die erstere betätigt und die Aktivität der Probe selbst kann nicht mehr gemessen werden.

Da hat man sich nun in schlauer Weise geholfen. Man ging von der Beobachtung aus, daß die Höhenstrahlung an der Erdoberfläche niemals aus einzelnen Teilchen besteht, sondern immer aus sogenannten Schauern, daß also immer gleichzeitig eine ganze Anzahl solcher Teilchen in einem engen Umkreis auf den Boden auftritt. Nun kann man um das Meßzählrohr herum einen Kranz von Nebenzählrohren anordnen. Dann kann man den ganzen komplizierten Aufbau so schalten (die Schaltung heißt „Antikoinzidenzschaltung“), daß das Meßzählrohr einen Strahl nur dann anzeigt, wenn keines der Nebenzählrohre gleichzeitig einen Strahl empfängt. Das wird nun beim Auf-

treffen der Höhenstrahlung praktisch nie der Fall sein, da sie ja immer in Schauern auftritt. Mit anderen Worten: durch diese Anordnung werden die echten Strahlen aus der Probe, die immer vereinzelt auftreten, von den bösen Höhenstrahlen, die in Rudeln auftreten, automatisch abgesondert. Nur die ersteren werden aufgezeichnet — „gezählt“.

Genug der technischen Einzelheiten! Was sind also die bisherigen Ergebnisse? Natürlich mußte man sich zuerst einmal davon überzeugen, daß die neue, revolutionäre Methode wirklich richtige Ergebnisse liefert. Bisher war ja alles nur reine Spekulation. So wurden zunächst Proben untersucht, deren Alter schon bekannt war.

Aus der Grabesruhe der ägyptischen Pyramiden wurden *Mumien* ägyptischer Könige, der Pharaonen, und ihrer Diener ans Tageslicht gezerrt. Kohlenstoff aus diesen Mumien wurde in das Gerät getan. Nun glauben die Historiker die Regierungszeiten dieser Könige und daher das Alter der Mumien sehr genau zu kennen. So ergab sich zum Beispiel bei der Bestimmung eines Mumiensarges aus dem späten Altertum, nämlich aus der Zeit des Königshauses der Ptolemäer, nach der neuen (physikalischen) Methode ein Alter von 2200 Jahren. Die Historiker geben ein Alter von 2280 Jahren an. Wie man sieht, ist der Grad der Übereinstimmung ein sehr hoher (*Abbildung 17*).

Eine zweite Prüfung erfolgte durch das Kernholz des kalifornischen *Mammulbaumes Sequoia*. Man sägt aus dem Innern eines solchen Baumes ein Stück Holz heraus. Dann berechnet man aus der Zahl der Jahresringe, innerhalb welches Zeitraumes dieses Stück Holz aufgebaut wurde. Aus der Zählung der Jahresringe ergab sich ein Alter des Holzstückes zwischen 2878 und 2978 Jahren. Die radioaktive Methode liefert ein Alter von 2710 mit einer Unsicherheit von 130 Jahren auf oder ab. Auch diese Übereinstimmung ist befriedigend.

Nun hatte man soweit Mut geschöpft, daß man sich an Gegenstände unbekanntes Alters heranwagte. Man konnte so zum erstenmal für Gegenstände aus der Steinzeit überhaupt ein Alter angeben. Zum Beispiel fand man, daß gewisse Proben von Weizen und Gerste aus dem *Fayum*, dem *Nildelta*, 6100 Jahre alt sind. Holz aus der letzten Eiszeit erwies sich als 6400 Jahre alt. In einer der berühmten

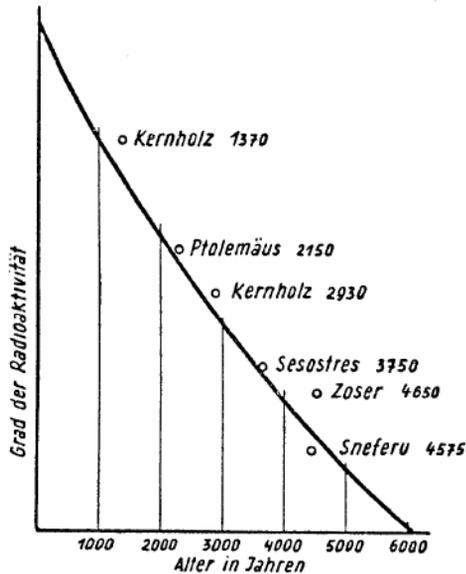


Abbildung 17

Vergleich der berechneten mit der gemessenen Radioaktivität.

Die Kurve gibt die theoretischen Werte an; die Zahlen neben den Meßpunkten bedeuten die von den Biologen beziehungsweise Historikern ermittelten Alter. Zwei der Proben bestehen aus altem Holz, die übrigen stammen von ägyptischen Altertümern.

Höhlen der französischen Landschaft *Dordogne*, an deren Wände die Urmenschen ihre berückend schönen Bilder von Mammuten und Hirschen gemalt haben, fand sich Holzkohle aus einer Feuerstätte. Sie erwies sich als 15500 Jahre alt. In einer Höhle des amerikanischen Staates *Nevada* fanden sich Überreste und Exkremete des Riesenfaultieres, das heute ausgestorben ist, aber noch von den Indianern gejagt wurde. Das Alter dieser Überreste beträgt 10500 Jahre. Die ältesten von Menschenhand gefertigten Gegenstände, die bisher in den Vereinigten Staaten aufgefunden wurden — gewebte Sandalen aus dem Staate *Oregon* —, sind 9000 Jahre alt. Es muß also etwa soviel Zeit verfließen sein, seitdem die Indianer auf der langen Wanderung aus ihrer asiatischen Urheimat über die Beringstraße

im Gebiet der USA eingetroffen sind. Sodann wanderten sie durch Mittel- und Südamerika bis zum Feuerland weiter.

Wie weit reicht die Leistungsfähigkeit dieser Methode? Sie ist dadurch begrenzt, daß die Aktivität der Substanz mit zunehmendem Alter rasch absinkt. Schließlich kann sie trotz allen Kniffen neben der direkten Wirkung der Höhenstrahlung nicht mehr gemessen werden. Je älter die Proben, um so geringer die Meßgenauigkeit. Die technische Grenze liegt heute bei 40000 Jahren. Ältere Gegenstände können bisher nicht datiert werden.

Es ist aber natürlich mit weiteren Verbesserungen des Verfahrens zu rechnen. Wir dürfen also hoffen, daß jedenfalls für alle Gegenstände der historischen Epoche der Menschheit, der Bronze- und der jüngeren Steinzeit, eine Feststellung des Alters und damit eine Klärung vieler geschichtlicher Zusammenhänge möglich sein wird.

Geochemie — eine junge Wissenschaft

Die Geochemie befaßt sich mit der *chemischen Zusammensetzung* der Erde — der Erdkruste und des Erdkerns.

Die Erforschung der chemischen Zusammensetzung der Erdkruste erfolgt — soweit man sich unmittelbar praktische Ziele steckt — zum Teil zu dem Zweck, Erze, nützliche Steine und Erden, Öl und Gas aufzuspüren. Aber die Kenntnis der Zusammensetzung der Erdkruste ist offenbar auch für den Landwirt und für den Bauingenieur von größter praktischer Bedeutung.

Der Ausdruck *Geochemie* (Chemie der Erde) wurde vor mehr als einem Jahrhundert von dem Chemiker *Schönbein* geprägt. Viele Jahrzehnte hindurch verdiente die Geochemie jedoch noch nicht recht den Namen einer Wissenschaft. Denn die Geochemiker beschränkten sich auf das Zusammentragen eines umfangreichen Tatsachenmaterials, ohne dieses Material in ein einheitliches System bringen zu können, was doch zum Wesen einer Wissenschaft gehört. Tausende und abertausende Minerale wurden chemisch analysiert, ohne daß man verstanden hätte, warum die Minerale gerade diese und keine andere chemische Zusammensetzung haben.

Erst in unserem Jahrhundert darf man von der Geochemie als einer echten Wissenschaft sprechen. Das ist das Verdienst von Gelehrten vieler Länder. Unter ihnen nehmen der aus Norwegen stammende *Viktor Moritz Goldschmidt*, der noch als älterer Mann von den deutschen Faschisten ins Konzentrationslager geworfen und dort seiner Lebenskraft beraubt wurde, sowie die Russen *Wernadsky* und *Fersman* besondere Stellen ein.

Forschungen in verschiedener Richtung haben neben der Analyse der Minerale dazu beigetragen, daß wir uns heute ein leidlich gutes Bild der Gesetzmäßigkeit machen können, nach der sich die chemischen

Elemente über unsere Erde verteilen. Wer würde vermuten, daß unter anderem die *Erdbebenkunde* zum Ausbau der Geochemie beigetragen hat? Tatsächlich verdanken wir diesem Wissenschaftszweig entscheidende Aufschlüsse über die Zusammensetzung des Erdinneren.

Das kommt daher: Findet an einem Punkt der Erdkruste ein starkes *Erdbeben* statt, so kann der Stoß an allen anderen Punkten der festen Erdoberfläche wahrgenommen werden. Die Stoßwelle pflanzt sich in einem bestimmten Stoff mit jeweils ganz bestimmter Geschwindigkeit fort; diese Geschwindigkeit — oder genauer: ihren Durchschnittswert — kann man natürlich leicht berechnen, wenn man den Zeitpunkt des Erdbebens und die Entfernung seines Ortes vom Beobachtungspunkt kennt. Freilich darf man zur Berechnung nicht etwa die Entfernung entlang der gekrümmten Erdoberfläche verwenden. Die Erdbebenwellen pflanzen sich nämlich auf direktem Weg, also geradlinig quer durch das Erdinnere bis zum Beobachtungspunkt fort.

Nun ist es klar, daß die Wellen um so tiefere Erdschichten durchdringen müssen, je weiter Erdbebenort und Beobachtungsort voneinander entfernt sind. Sind die beiden Punkte so entfernt wie nur möglich, liegen sie also an entgegengesetzten Punkten der Erdoberfläche, so müssen die Wellen, wenn sie den kürzesten Weg nehmen, durch den Mittelpunkt der Erde laufen.

Man beobachtet nun, daß alle Stoßwellen sich unterhalb einer Tiefe von 2900 km mit einer Geschwindigkeit fortpflanzen, die von jener innerhalb der Erdkruste sehr verschieden ist. Man darf daraus schließen, daß sich in dieser Tiefe, die schon fast dem halben Weg bis zum Erdmittelpunkt entspricht, die Zusammensetzung der Erdmaterie sprunghaft ändert. Worum handelt es sich bei dieser Änderung?

Hier gibt die Erforschung der *Meteoriten* eine plausible Antwort. Man ist heute der Ansicht, daß die Meteoriten Bruchstücke eines in grauer Vorzeit explodierten Planeten sind. Es gibt nun zwei Hauptarten von Meteoriten, die sich nach ihrer chemischen Zusammensetzung grundlegend unterscheiden. Das sind die Stein- und die Eisenmeteoriten. Die *Meteorsteine* entsprechen in ihrer Zusammensetzung ungefähr dem irdischen Urgestein. Die *Meteoreisen* haben

an der Erdoberfläche kein Gegenstück. Wenn man annehmen will, daß der einst geborstene Planet ähnlich wie unsere Erde zusammengesetzt war, dann muß man unterhalb der Steinkruste unserer Erde einen Eisenkern vermuten. Dieser Kern beginnt nun offenbar in der Tiefe von 2900 Kilometer (*Abbildung 18*)*.

Daß es in der Tiefe der Erde ganz anders als im Bereich der Kruste „aussehen“ muß, ist auch schon aus anderen Gründen klar. Man kann nämlich das *Gewicht* der Erdkugel bestimmen. Das ist zum erstenmal im Jahre 1798 durch experimentelle Bestimmung der Größe der Schwerkraft gelungen. Heute weiß man, daß die durchschnittliche Dichte (das spezifische Gewicht) des Erdballs nicht weniger als ungefähr fünfeinhalbmal so groß ist wie die des Wassers (1·0). Der genaue Wert beträgt nach den letzten Erkenntnissen der Wissenschaft 5·517. Die Steinhülle dagegen hat eine durchschnittliche Dichte von nur 2·8; der Kern muß also bedeutend schwerer sein als die Hülle. Eisen kommt nun dieser Forderung nach: es hat die Dichte 7·8.

Der große französische Schriftsteller *Jules Verne* (1828 bis 1905) hat in einem seiner spannenden utopischen Romane eine Reise nach dem Mittelpunkt der Erde beschrieben. Ein tapferes Forschergrüppchen, geführt von einem weltfremden Professor, dringt durch einen erloschenen Vulkan auf der Insel Island auf den Spuren des mittelalterlichen Chronisten Snorri Sturluson in das Innere der Erde ein. Die beherzten Forscher erleben bei der Erforschung des Erdinneren schauerliche Dinge. Schließlich erreichen sie unverseht auf dem Weg durch den italienischen Inselvulkan Stromboli wieder das Licht der Sonne. Wir aber haben gesehen, daß die Wissenschaftler in ihren Laboratorien, ja sogar in bequemen Lehnstühlen mit Hilfe

* In neuerer Zeit haben mehrere Wissenschaftler in Abrede gestellt, daß der Erdkern aus metallischem Eisen gebildet ist. Er soll vielmehr aus Gestein in einem besonderen, durch den herrschenden Hochdruck bedingten Zustand bestehen. Diese Auffassung steht in Zusammenhang mit der Annahme, daß die Erde aus *kaltem Staub* entstanden sei (siehe Seite 122). Die Erde soll demnach niemals „von oben bis unten“ richtig durchgeschmolzen gewesen sein, so daß eine völlige Sonderung der Schichten je nach ihrer Schwere vor sich gehen konnte. Die Diskussion dieser Frage ist noch im Gange.

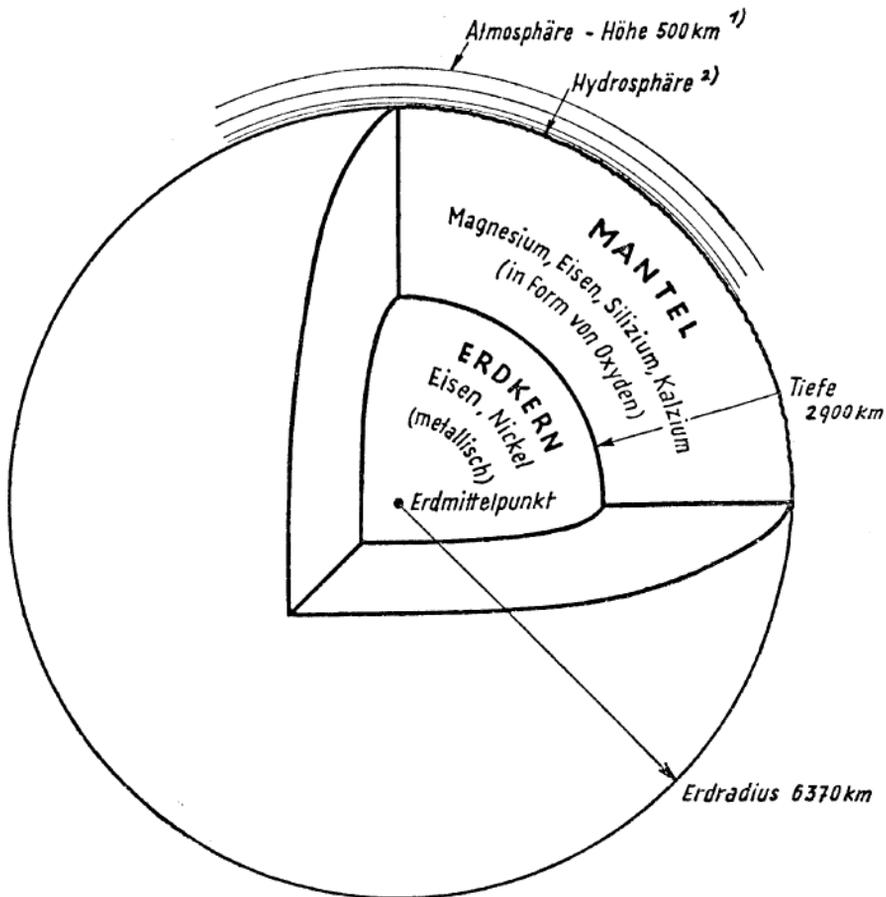


Abbildung 18

Der Aufbau der Erdkugel (Meridianschnitt).

- 1) 92 Prozent der Luftmasse liegen unterhalb 20 km Höhe;
99,7 Prozent liegen unterhalb 40 km Höhe.
- 2) Durchschnittliche Meerestiefe: 3,8 km;
größte bisher gemessene Meerestiefe: 10,8 km.

gut gespitzter Bleistifte und zahlreicher Schalen Kaffee wichtige Erkenntnisse über den Erdkern geschöpft haben, ohne in Vulkane eindringen zu müssen!

Der Eisenkern und die Steinkruste haben sich vor Milliarden Jahren gebildet, als die ganze Erde noch bis an die Oberfläche glühheiß war. Damals bildete sich das Urgestein als eine Art *flüssiger Schlacke*, die auf dem schwereren, ebenfalls flüssigen Eisenkern schwamm. Wie in einem Hochofen! Jene chemischen Elemente, die besondere Verwandtschaft mit dem Eisen zeigen, reicherten sich im Kern an; jene, die mehr den Elementen der Gesteine verwandt sind, in der Kruste. Beispielsweise erscheinen uns Gold und Platin nur deshalb so besonders selten, weil sie im unzugänglichen Erdkern konzentriert sind.

Wie steht es nun mit der Zusammensetzung der Erdkruste? Hier herrschen die Elemente Silizium, Aluminium, Magnesium und Kalzium in Form ihrer Sauerstoffverbindungen (Oxyde) vor. Auch Eisen ist, wenn auch nicht annähernd in solcher Konzentration wie im Erdkern, so doch relativ häufig. Die genannten Elemente ergeben schon mehr als 90% des Gewichtes der Kruste. Auch manche weniger häufige Elemente, darunter Uran und Thorium, sind, im Gegensatz zu anderen, durchaus in der Kruste konzentriert und dürften im Kern nur in geringen Mengen auftreten.

Erstaunlich ist die Tatsache, daß gewisse vom Menschen vielfach gebrauchte Elemente in der Kruste recht selten sind — viel seltener jedenfalls als andere Elemente, von denen bisher überhaupt nur die Fachleute gehört haben.

So ist das Element Arsen, mit dessen giftigen Verbindungen so viele Verbrechen begangen werden, das aber in anderer Hinsicht nützlich ist, nicht häufiger als das wenig bekannte Element Skandium. Das Element Hafnium, das sich vor dem Menschen so erfolgreich verborgen hat, daß es erst im Jahre 1922 aufgefunden wurde, ist häufiger als das Element Bor, das uns schon lange durch die Borsäure und den Borax vertraut ist. Das Blei, eines der ältesten Gebrauchsmetalle, ist weniger häufig als das Gallium, obwohl das letztere auch heute noch unvergleichlich teurer ist. Woher kommt das?

Für die leichte Gewinnbarkeit eines Elementes genügt es nämlich

nicht, daß es in der Kruste reichlich vorhanden ist. Vielmehr müssen *Erzlagerstätten* vorhanden sein. Das Blei ist billig, weil es eine starke Tendenz zur Bildung solcher Lagerstätten hat. Dagegen ist das Gallium zwar weitverbreitet, aber fast immer nur in höchst verdünnter Form über verschiedene Fremdminerale verteilt, ohne daß größere Lager von Galliummineralen zu finden wären.

Der Grund dieses merkwürdig verschiedenartigen Verhaltens der Elemente ist bekannt. Seit vierzig Jahren hat man gelernt, mit Hilfe der Röntgenstrahlen Kristallstrukturen von Mineralen zu erforschen. Man weiß daher heute nicht nur, aus welchen Arten von Atomen die Minerale zusammengesetzt sind, was ja schon die chemische Analyse lehrt; man weiß auch genau, welche Plätze im Molekül des Minerals die einzelnen Atomarten (Elemente) einnehmen und wieviel Raum jede Atomart beansprucht.

Da ergibt sich nun, daß manche Elemente in bezug auf ihr chemisches Verhalten und die Größe ihrer Atome zufällig derartige Eigenschaften haben, daß sie mühelos in fremde Minerale hineinpassen. Solche Elemente zeigen dann nur eine geringe Tendenz zur Ausbildung gesonderter Lagerstätten. So paßt das Gallium in Aluminiumminerale, zum Beispiel in den gewöhnlichen Ton. Es „tarnt sich“, wie der Geochemiker sagt. Demgegenüber paßt das Blei in wenige Fremdminerale, es „verträgt sich schlecht“ mit anderen Elementen. Seine Verbindungen sind daher zu einsamer, selbständiger Kristallisation gezwungen.

Obwohl die Erdkruste bis in die Tiefe von 2900 km massenmäßig hauptsächlich aus Gestein besteht (*Lithosphäre*), spielen für uns an die Oberfläche der Erde gefesselte Wesen die *Hydrosphäre* (das Weltmeer) und die *Atmosphäre* (die Lufthülle) auch Hauptrollen. Beide Sphären sind aber nur wenige Kilometer dick. Schließlich sprechen die Geochemiker noch von der *Biosphäre* als der kleinsten, aber für uns der wichtigsten Sphäre. Das ist die dünne Schicht an der Erdoberfläche, in der die Verteilung der Elemente durch das Walten des Lebens beeinflußt wird.

Es drängt uns, die Erde mit den Sternen zu vergleichen — die *Geochemie* zur *Kosmochemie* zu erweitern. Die körperlichen Boten aus unserem Sonnensystem, die Meteoriten, enthalten, wie die

chemische Analyse zeigt, die gleichen Elemente wie die Erde. Aber man kann durch das von ihnen ausgesendete Licht auch die Chemie ferner Weltkörper, sogar der Fixsterne, studieren. Das wichtigste Ergebnis dieses Studiums war die Feststellung, daß alle Weltkörper aus den gleichen Elementen wie die Erde bestehen. Bisher sind schon ungefähr zwei Drittel der irdischen Elemente auf der Sonne nachgewiesen worden, und es besteht jeder Grund zur Annahme, daß man im Laufe der Zeit auch noch den Rest finden wird. Umgekehrt weiß man, daß es auf der Sonne keinerlei Elemente gibt, die nicht auch auf der Erde vorkommen.

Mit Hilfe dieser Spektralanalyse kann man nicht nur Sterne unseres eigenen Sternsystems (der Milchstraße) untersuchen, zum Beispiel die Sonne, den Sirius oder den Polarstern. Selbst die Spiralnebel wurden nun der „chemischen Analyse“ unterworfen. Auch auf ihnen haben die Kosmochemiker nichts anderes als unsere gewohnten chemischen Elemente gefunden.

Die Meere und ihr Ursprung

Die Sonne besteht hauptsächlich aus Wasserstoff. Das zweithäufigste Element der Sonne ist das Helium. Wenn man nun nach der altherwürdigen Theorie der Planetenentstehung von *Pierre Laplace* (18. Jahrhundert) annimmt, daß die Erde sich als ein feuriger Fetzen Material von der Sonne losgelöst hat, so muß man auch annehmen, daß jene Uerde zu sehr großem Teil aus Wasserstoff und Helium bestanden hat.

Obwohl die Theorie von Laplace, die vierzig Jahre nach der ebenfalls interessanten, aber grundverschiedenen Theorie von *Immanuel Kant* aufgestellt wurde, einen großen historischen Fortschritt darstellte, wird sie jedenfalls in ihrer ursprünglichen Form heute nicht aufrechterhalten. Die meisten Wissenschaftler glauben vielmehr, daß Sonne und Planeten etwa gleichzeitig aus feuriger Urmaterie entstanden sein sollen. Aber auch unter dieser Annahme müssen die Urplaneten sehr viel Wasserstoff und Helium enthalten haben.

Auf unserer gegenwärtigen Erde ist das Helium jedoch besonders selten. Auch der Wasserstoff ist kein häufiges Element mehr. Zwar sehen wir an der Erdoberfläche reichlich Wasser. Doch die Erdkruste selbst und insbesondere der Erdkern enthalten nur wenig Wasserstoff. Am chemischen Aufbau der Erde als Ganzer hat der Wasserstoff gegenüber den anderen Elementen außerordentlich geringen Anteil. Auf den erdähnlichen Nachbarplaneten Mars und Venus ist er noch viel seltener. Dort gibt es überhaupt keine offenen Wasserflächen. Demgegenüber ist die relative Häufigkeit des Wasserstoffs in dem von Materie erfüllten Weltall eine unvergleichlich größere.

Kann man die Verarmung der Erde an Wasserstoff und Helium in einleuchtender Weise erklären? Man kann es! Die Erde muß nämlich im Laufe ihrer Geschichte Gase an den Weltraum verloren

haben. Die Gasmoleküle des Luftraumes sind in ständiger regelloser Bewegung begriffen. Wenn nun ein Molekül sich zufällig sehr schnell nach aufwärts bewegt, so kann es der Erdanziehung enttrinnen. Die dazu notwendige Geschwindigkeit beträgt ungefähr elf Kilometer in der Sekunde. Nun lehrt die Physik, daß die durchschnittliche Geschwindigkeit der Gasmoleküle um so größer ist, je höher die Temperatur steigt; außerdem aber auch, daß die Geschwindigkeit um so größer ist, je leichter die Moleküle sind. Da Wasserstoff und Helium die leichtesten Gase sind, werden sie am ehesten verlorengehen, und dies muß vor allem in der heißen Jugendzeit der Erde der Fall gewesen sein. So beträgt die durchschnittliche Geschwindigkeit der Wasserstoffmoleküle bei Zimmertemperatur 1,5 km, bei 1000 Grad aber schon 2,8 km pro Sekunde. Dabei hat immer ein Teil der Moleküle kleinere, ein anderer Teil aber größere Geschwindigkeit, als es dem Durchschnitt entspräche.

Daß die Verarmung der Erde an Helium in weitaus höherem Maße erfolgen mußte als die Verarmung an Wasserstoff, kommt daher, daß der Wasserstoff zumeist mit Sauerstoff und anderen Atomen zu schweren Molekülen verbunden ist, die nicht so leicht fortfliegen können. Dagegen ist das Edelgas Helium zur Bildung chemischer Verbindungen nicht fähig.

Allerdings kann man die Armut der Erde an leichten Gasen auch nach der in letzter Zeit besonders von *Otto Juljewitsch Schmidt* entwickelten Staubtheorie leicht erklären (vgl. die Fußnote auf Seite 116). Nach dieser Lehre von der Entstehung des Planetensystems, die zu der erwähnten Theorie von Laplace im Gegensatz steht, hat sich die Erde aus kaltem kosmischem Staub geballt. Staub kann nun von vornherein, weil die durch ihn ausgeübte Schwerkraft gering war, keine Gashülle mit sich geführt haben; nach der Staubtheorie können Gase wie Wasserstoff und Helium überhaupt nur — in geringer Menge — im Inneren der Staubteilchen festgehalten worden sein.

Nach der Auffassung Laplaces und seiner Nachfolger ist also der Wasserstoff der gegenwärtigen Ozeane der kümmerliche Rest des reichlichen Urwasserstoffes der Erde. Dagegen ist nach Meinung Schmidts der von vornherein spärliche Erdwasserstoff erst bei der

Zusammenballung des Staubes zur Erde allmählich durch Erhitzung freigesetzt worden.

Immerhin erfüllt das Wasser der Erdoberfläche die Kleinigkeit von 1370 Millionen Kubikkilometern. Dabei fassen die Ozeane, deren mittlere Tiefe 3800 Meter betragen soll, gut 98 Prozent des Oberflächenwassers der Erde. Weniger als zwei Prozent des Wassers entfallen auf das Polareis, weniger als ein dreißigstel Prozent auf Süßwasser.

Das Wasser konnte sich verflüssigen, nachdem die Temperatur der Erdkruste den Wert von 374 Grad unterschritt. Das ist nämlich die höchste Temperatur, bei der Wasser, wenn man es unter sehr hohen Druck setzt, noch den flüssigen Zustand aufrechterhalten kann — die sogenannte „kritische“ Temperatur. Das müssen „Regengüsse“ gewesen sein, als die Ozeane entstanden!

Seit der Entstehung der Ozeane haben wärmere und kältere Perioden einander abgewechselt. Eiszeiten haben den Meeresspiegel ein wenig gesenkt, weil viel Wasser als Eis auf dem Lande liegenblieb, warme Zeiten haben den Spiegel ein wenig gehoben.

Ob das *Oberflächenwasser* (Ozeanwasser und Eisdecke) *insgesamt* im Laufe der Erdgeschichte an Volumen zugenommen hat, ist noch eine offene Frage. Bekanntlich fördern nämlich die Vulkane wahrhaft gigantische Mengen an Wasserdampf zutage. Dieses Wasser entstammt zum Großteil den Gesteinen tiefer Erdschichten, ist also nicht etwa verdampftes Meerwasser — es ist „neues“ Wasser. Obwohl die Gesteine der tieferen Schichten der Erdkruste sicher verhältnismäßig wenig Wasser enthalten, macht dessen Gesamtmenge infolge der Dicke der Kruste doch ein Vielfaches der Menge des Oberflächenwassers aus. Manche Forscher behaupten nun, daß diese Wassermengen während der Erdgeschichte ganz wesentlich zum Volumen der Ozeane beigesteuert haben. Wenn das wahr ist, haben wir zu erwarten, daß das Niveau der Ozeane während der kommenden Jahrtausende weiter steigen und die Fläche des Festlandes dauernd abnehmen wird. Man darf neugierig sein. Vielleicht werden die Menschen dann Flotten moderner Noah-Archen bauen müssen.

Die offenen Ozeane enthalten durchschnittlich 3,5 Prozent an *Salzen*, insgesamt also 50 000 Billionen Tonnen. Bisher sind ungefähr

fünfzig chemische Elemente im Seewasser nachgewiesen worden. Zweifellos kann man auch die übrigen Elemente finden, wenn man mit genügendem Nachdruck sucht. Einige Stoffe werden bekanntlich sogar industriell aus dem Meerwasser gewonnen: neben Kochsalz vor allem Magnesia und Brom. Die Magnesia wird dem Wasser durch Behandeln mit gebranntem Kalk, das Brom durch Behandeln mit Chlor entzogen. Auch Jod wird (oder wurde) aus dem Meerwasser gewonnen — freilich nicht direkt, was unrentabel wäre. Vielmehr gewinnt (oder gewann) man das Jod aus der Asche von Seetang, der die rätselhafte Fähigkeit besitzt, das Jod des Meerwassers zu speichern.

Zu den im Meerwasser vertretenen Elementen gehören auch Uran, Radium und Gold. Vielleicht wird man einmal Uran aus dem Ozean gewinnen; bei einem Urangehalt von 1,5 Milligramm pro Tonne beträgt der in den Weltmeeren gespeicherte Gesamtvorrat immerhin zwei Milliarden Tonnen Uran. Früher glaubte man, daß der Goldgehalt mehrere Milligramm pro Tonne Meerwasser ausmache. So entwickelte der bedeutende deutsche Chemiker *Fritz Haber* nach dem Ersten Weltkrieg einen Plan zu seiner Gewinnung. Damit sollten die unerträglichen Reparationsschulden seines Vaterlandes abgedeckt werden. Bei der genaueren Analyse stellte sich freilich heraus, daß der wahre Goldgehalt des Meeres nur einen tausendsten Teil des vermuteten Betrages ausmacht, nämlich bloß 8 Mikrogramm (Millionstelgramm) pro Tonne Wasser. Der deutsche Patriot Haber, der Deutschland auch das Verfahren zur Gewinnung von Stickstoff aus Luft geschenkt hatte, wurde schließlich als Jude aus Nazideutschland vertrieben. Er starb als Emigrant.

Man kann nun eine Art Bilanz der im Ozean gelösten Elemente aufstellen. Man schätzt die Stoffmengen ab, die dem Ozean alljährlich durch die Flüsse aus dem verwitternden Festlandgestein zugeführt werden. Dann vergleicht man mit den im Ozean bereits vorliegenden Mengen der gelösten Stoffe. Praktisch ist die Aufstellung einer solchen Bilanz nicht leicht. Eine wichtige Fehlerquelle liegt darin, daß der Wind ständig große Mengen Meerwasser samt seinen Salzen über das Land sprüht. Die Salze werden dann durch die Flüsse ins Meer zurückgespült und täuschen einen Zufluß neuen Salzes vor.

Immerhin findet man, daß für viele der im Meer gelösten Stoffe eine vernünftige Bilanz aufgestellt werden kann. In bezug auf andere Elemente jedoch, besonders das Chlor, ergibt sich ein enormes Defizit, das heißt, die See enthält weit mehr Chlorsalze, als die Flüsse ihr während des Bestehens der Erde zuführen konnten. Dieses Defizit in der Bilanz überbrückt die Wissenschaft vorläufig durch die Annahme, daß die Vulkane die fehlenden Mengen geliefert haben. Tatsächlich atmen die Vulkane neben Wasserdampf auch gewaltige Mengen Chlorwasserstoff (Salzsäure) aus. Demgegenüber finden sich wieder andere Elemente, zum Beispiel Eisen und Kalium, in abnorm geringer Menge im Ozean. Man führt dies darauf zurück, daß diese Elemente, in unlösliche Minerale eingebaut, zu Boden sinken.

Man erkennt, daß selbst die chemische Untersuchung des Meerwassers, die man für längst abgeschlossen halten könnte, uns immer wieder neue Rätsel aufgibt.

Unsere Luft

Nach der Meinung der altgriechischen Philosophen sollten die von ihnen angenommenen vier Grundstoffe oder Elemente (Luft, Feuer, Wasser und Erde) die Bausteine des Weltalls sein. Daß die Luft in Wirklichkeit nicht bloß ein einziges Element darstellt, sondern aus mehreren Elementen, vornehmlich aus Stickstoff und Sauerstoff, besteht, fanden erst die Chemiker des 18. Jahrhunderts.

Aber noch lange herrschte keine Klarheit darüber, ob das Mischungsverhältnis von Stickstoff und Sauerstoff immer und überall in der Atmosphäre das gleiche sei. Der hervorragende deutsche Naturforscher *Alexander von Humboldt* (1769 bis 1859) glaubte während einer Seereise festgestellt zu haben, daß der Sauerstoffgehalt der Luft in schönen Mondnächten um nicht weniger als die Hälfte ansteigen könne. Heute wissen wir, daß solch merkwürdige Befunde auf Experimentalfehlern beruhten. Es steht fest, daß zumindest in der untersten Schicht der Erdatmosphäre, der sogenannten *Troposphäre*, die je nach der geographischen Breite bis in eine Höhe von 7 bis 18 Kilometer emporreicht, das Mischungsverhältnis stets das gleiche ist — über dem Land und über dem Meer, über der Wüste und über dem Dschungel, im Tiefland und auf den Bergspitzen: Immer und überall beträgt der Sauerstoffgehalt 20,95 Prozent.

Daß früher so häufig Abweichungen vom richtigen Wert beobachtet wurden, kam hauptsächlich von der Reaktionsfähigkeit des Sauerstoffs. Verschloß man nämlich die Flaschen, in denen die Luft nach der Probenahme in das analytische Laboratorium transportiert wurde, mit Kork- oder Gummistopfen, so griff der Sauerstoff im Laufe der Tage oder Wochen den Verschuß an und wurde dabei selbst teilweise verbraucht.

Der Grund dafür, warum man Veränderungen in der Luftzusam-

mensetzung, insbesondere mit zunehmender Höhe, zu finden erwartete, ist dabei im Prinzip durchaus stichhältig: Sauerstoff und Stickstoff sind nicht gleich schwer, sondern das Molekül des Sauerstoffs ist ungefähr um ein Siebentel schwerer als das des Stickstoffs. Man müßte daher erwarten, daß der schwerere Sauerstoff eine Neigung zeigt, zu Boden zu sinken, während der leichtere Stickstoff nach oben steigt; ähnlich wie man feststellen würde, daß in einer mit Blei- und Aluminiumkugeln gefüllten Urne nach Schütteln sich die Bleikugeln eher in der Nähe des Bodens befänden. Theoretisch müßte sich eine teilweise Gastrennung schon in der Troposphäre vollziehen. Sie wird aber in der Praxis durch den Wind zunichte gemacht, der die Bestandteile der Luft immer durchmischt. Der schichtenweise Aufbau der Luft-hülle (Atmosphäre) unserer Erde ist in *Abbildung 19* veranschaulicht.

In der höher gelegenen *Stratosphäre* müßte eine Entmischung der verschieden schweren Gase besser ausgeprägt sein. Bis vor kurzer Zeit konnte man aber in der Stratosphäre keine Experimente anstellen, da sie unerreichbar war. Man war vielmehr darauf beschränkt, aus bestimmten, unabhängig vom Menschen auftretenden Naturerscheinungen Schlüsse zu ziehen. Da sind zum Beispiel die aus dem Weltraum stammenden Meteoriten, die sich beim Durchgang durch die Erdatmosphäre stark erhitzen und in etwa hundert Kilometer Höhe zu leuchten beginnen (Sternschnuppen). Aus der Art dieses Lichtes kann man mit Hilfe der Spektroskopie Schlüsse auf die Zusammensetzung der Luft in jenen Höhen ziehen. Andere Erkenntnisse lassen sich aus der Art der Fortpflanzung der Radiowellen durch die Atmosphäre schöpfen.

Man strebte aber weiter danach, direkte chemische Analysen anstellen zu können. Schon in den Dreißigerjahren unseres Jahrhunderts erreichte man mit bemannten und unbemannten Ballons oder mit Flugzeugen die Stratosphäre — bis zu etwa dreißig Kilometer Höhe. Aber die — wenn auch verdünnte — Luft in diesen Unterschichten der Stratosphäre erwies sich noch immer ihrer Zusammensetzung nach als der Luft der Troposphäre gleichartig.

Erst die Verwendung von *Raketen*, die heute schon Höhen von 200 Kilometer und darüber erreichen, hat die genauere Erforschung der Verhältnisse in den oberen Schichten der Stratosphäre möglich

gemacht. Die Raketen werden mit automatischen Geräten ausgerüstet, die luftleer gemachte Metallflaschen zu einem vorbestimmten Zeitpunkt öffnen und eine Probe der äußerst verdünnten Stratosphärenluft einsaugen lassen. Die Flaschen werden einige Sekunden später automatisch geschlossen. Besondere Einrichtungen sorgen dann dafür, daß die Flasche mit Hilfe eines Fallschirmes sanft zu Boden gleitet. Der österreichische Gelehrte *Fritz Paneth*, der gegenwärtig im Ausland wirkt, hat einen großen Teil seines Lebens der Ausarbeitung verlässlicher Methoden zur Analyse der Luft gewidmet und darf als auf diesem Gebiet führend betrachtet werden. Einer seiner Arbeiten entstammen auch die meisten hier wiedergegebenen Forschungsergebnisse.

So wurde — zum erstenmal in der Geschichte — bei Proben aus einer Höhe von 59 bis 71 Kilometer über dem Meeresspiegel eine Veränderung der Zusammensetzung der Luft beobachtet. Insbesondere zeigte sich, daß das Konzentrationsverhältnis zwischen dem leichten Gas Helium und dem relativ schweren Gas Stickstoff in jener Höhe doppelt so groß ist wie nahe dem Erdboden.

Diese Arbeiten sind nicht nur von theoretischem Interesse. Die Zusammensetzung der Stratosphäre beeinflußt vielmehr in entscheidender und bisher noch nicht restlos geklärter Weise das praktische Leben der Menschen. Ein Teil der Sonnenstrahlen wird nämlich von gewissen Gasen äußerst gierig verschluckt. So absorbiert das in der Stratosphäre vorkommende *Ozon* die kurzwellige ultraviolette Strahlung der Sonne — zu unserem Glück, denn diese Strahlung zerstört Eiweiß.

Auch die Wärmeausstrahlung der Erde in den Weltraum wird durch die Zusammensetzung des Luftmeeres bestimmt. Infolge der Absorption von Energie in verschiedenen Luftschichten muß es mit zunehmender Höhe nicht unbedingt immer zunehmend kälter werden. Vielmehr hat man gefunden, daß kältere und wärmere Zonen einander abwechseln. In achtzig Kilometer Höhe erreicht die Temperatur sogar sehr hohe Werte, nämlich mehrere hundert Grad Wärme.

Auch über die *Geschichte der Lufthülle* vermag die Wissenschaft manches festzustellen. Zunächst einiges über unser „Lebenselement“, den *Sauerstoff*. Die Geochemie lehrt, daß in den Frühepochen erdgeschichtlicher Entwicklung überhaupt kein elementarer (freier)

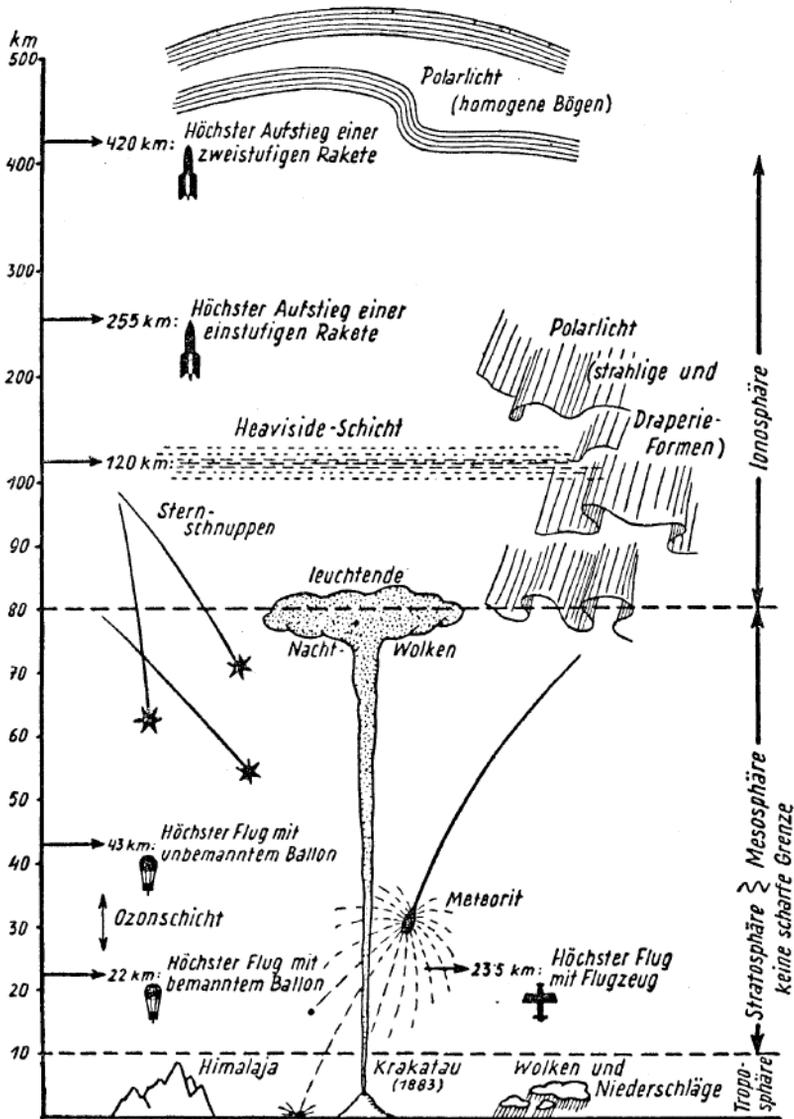


Abbildung 19

Aufbau der Erdatmosphäre (schematisch).

Sauerstoff in der Erdatmosphäre existiert haben kann. Denn wenn in der Glühhitze jener Frühzeit genügende Mengen brennbarer Stoffe in der Erdkruste vorhanden waren, so müssen sie eben so lange gebrannt haben, bis der ganze Sauerstoff verbraucht war. Solche brennbare Stoffe gab es tatsächlich in Hülle und Fülle — besonders Kohlenstoff und Eisen.

Für das frühe Auftreten freien Sauerstoffs in der Erdgeschichte sind zwei Erklärungen vorgeschlagen worden. Einerseits kann man die Pflanzen verantwortlich machen, die die Kohlensäure immer wieder mit Hilfe des Lichtes spalten, wobei eben Sauerstoff frei wird. Andererseits nimmt man an, daß die ultravioletten Strahlen der Sonne in den obersten Schichten der Atmosphäre Wasserdampf in Sauerstoff und Wasserstoff spalten und daß die schnelleren Wasserstoffmoleküle im Laufe der Zeit in den Weltraum entweichen, während der Sauerstoff zurückbleibt.

Auch in bezug auf die Kohlensäure der Luft sind Gewinn- und Verlustrechnungen aufgestellt worden. (Gegenüber analogen Bilanzen für den Sauerstoff besteht übrigens der Unterschied, daß Kohlensäure sich in Wasser gut löst und die Weltmeere daher einen großen Vorratsbehälter für dieses Gas darstellen.) Als — wenn auch nur zeitweiliger — Verlust muß die Menge an Kohlenstoff gebucht werden, die sich in Kohle und Erdöl verwandelt und derart aus dem „Umlauf“ gezogen wird. Ein weiterer Verlust ergibt sich aus der Ablagerung von bestimmten Mineralen, besonders von kohlensaurem Kalk (Kalkstein) durch Meerestiere (Korallen). Unsere Kalkalpen sind durch solche Tierchen aufgebaut worden. Andererseits erhält die Atmosphäre Zufuhr von Kohlensäure durch die Vulkane; das ist Gewinn.

Es ist noch keine endgültig entschiedene Frage, ob Perioden existiert haben, in denen die Luft mehr Kohlensäure als heute enthielt. Manche Geologen haben versucht, das starke Pflanzenwachstum mancher Epochen, zum Beispiel der Steinkohlenzeit, auf bessere Versorgung mit Kohlensäure zurückzuführen.

Man erkennt, daß die Erforschung des Luftmeeres die Zusammenarbeit von Wissenschaftlern mehrerer Fachrichtungen erfordert. Umgekehrt werden weitere Erkenntnisse auf diesem Gebiet auch die verschiedensten Wissenschaftszweige befruchten.

Vom Ätna und seinen Kollegen

Vulkanausbrüche erinnern uns immer wieder daran, daß die Entwicklung der Erde nicht abgeschlossen, sondern daß die feste Rinde unseres Planeten auch in der Gegenwart ununterbrochenen Veränderungen unterworfen ist. Manche Vulkane gelten als erloschen, wie etwa die Gleichenberger Kogel in Steiermark; neue Vulkane treten in Tätigkeit, wie der Monte Nuovo (Neuer Berg) bei Neapel am 29. September 1538.

Die meisten Menschen glauben heute zwar nicht mehr, daß Vulkanausbrüche oder Erdbeben Strafen der Götter für mangelnde Frömmigkeit darstellen, so wie nach der Bibel Sodom und Gomorrha wegen ihrer Sünden vernichtet wurden. Wir können aber nicht behaupten, daß wir die Ursachen der Vulkanausbrüche wirklich genau kennen. Wohl weiß man, daß tiefere Schichten der Erdkruste so warm sind, daß das Gestein eine glutflüssige, teigartige Schmelze, das sogenannte *Magma*, bildet, das bei Vulkanausbrüchen als glühende *Lava* zutage tritt. Warum aber gerade an gewissen Stellen der Erde dicht unter der Oberfläche solch hohe Temperaturen herrschen, an anderen Stellen aber nicht, ist noch umstritten. Vorläufig nimmt man an, daß das Magma infolge von Unregelmäßigkeiten im Aufbau der Erdkruste an manchen Orten näher an die Oberfläche herantreten kann. Voraussagen läßt sich ein Vulkanausbruch heute noch nicht. Es ist aber verdächtig, wenn ein Vulkan nach längerer Pause Lebenszeichen gibt. *Abbildung 20* zeigt in schematischer Darstellung einen Vertikalschnitt durch einen Vulkan.

Aus dem Magma entwickeln sich Gase und Dämpfe, die zu einer Drucksteigerung führen. Die Folge sind Gasausbrüche, Auswurf ganzer Gesteinsblöcke oder schließlich das Hervorquellen von glutflüssiger Lava — ähnlich wie das Erdöl unter dem Druck des über

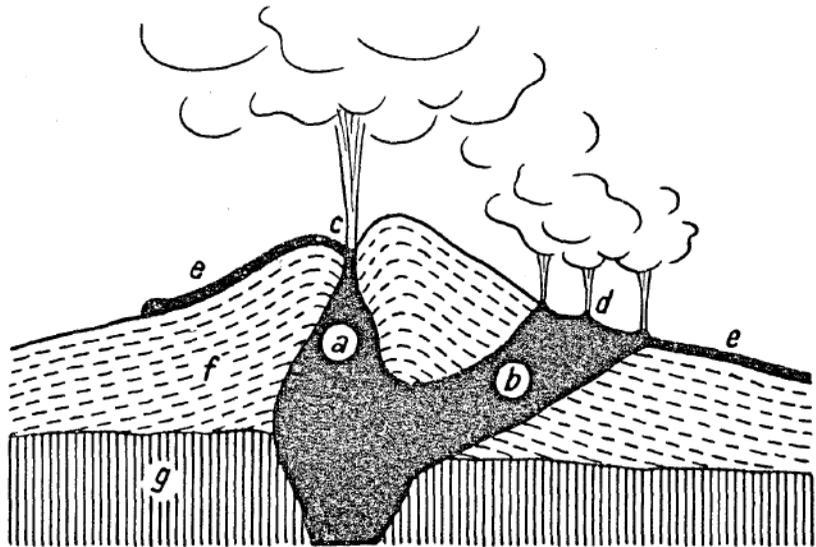


Abbildung 20

Vertikalschnitt durch einen Vulkan (schematisch).

- | | |
|-------------------------------------|------------------------------|
| a ... vulkanischer Ausbruchsschlot; | e ... Lavaströme; |
| b ... seitlicher Durchbruch; | f ... lockere Auswurfstoffe; |
| c ... Gipfelkrater; | g ... Grundgebirge. |
| d ... seitliche Ausbruchstellen; | |

ihm lagernden Erdgases aus dem Boden springt. Die bei Vulkan-
ausbrüchen ausgeworfenen Steine sind oft derart von Gasblasen
durchsetzt, daß diese Brocken auf dem Meere schwimmen; das sind
die *Bimssteine*. Gemahlener Bimsstein sinkt natürlich unter.

Viele der Vulkane haben gewissermaßen ihren eigenen Charakter —
ihren eigenen „Arbeitsstil“. Der eine ist fast ständig, aber nur mäßig
aktiv, der andere wieder lullt die Menschen durch jahrhundertelange
Untätigkeit in Sicherheit, um dann durch plötzlichen Ausbruch ganze
Städte zu vernichten. Der eine stößt hauptsächlich Gas (Wasser-
dampf, Kohlensäure, schwefelige Säure) aus, ein anderer bringt einen
Regen von Steinen, wieder ein anderer speit glühende Lava oder
erzeugt eine feurige Glutwolke. Zu den berühmtesten Vulkanen

gehören Vesuv, Ätna und Stromboli, dann der „heilige“ Fudschijama Japans, der schneebedeckte 5000 Meter hohe Kljutschew auf der Halbinsel Kamtschatka, die Hekla auf Island, der Mont Pelé auf der Insel Martinique (Westindien) und der Krakatau in der Nähe von Java. Auch auf dem Meeresboden gibt es Vulkane, bei deren Ausbrüchen ungeheure Dampf Wolken und Flutwellen entstehen können. Lavaströme können unter besonderen Umständen die Geschwindigkeit von Eisenbahnzügen erreichen.

Durch eine vom Mont Pelé (der „Kahle Berg“) ausgestoßene und mit Riesengeschwindigkeit zu Tal stürzende Glutwolke gingen eines Tages im Jahre 1902 sämtliche 28000 Einwohner der Stadt Saint-Pierre zugrunde. Dagegen fielen dem Ausbruch des Inselvulkans Krakatau im Jahre 1883 mehr als 40000 Menschen hauptsächlich dadurch zum Opfer, daß bei der plötzlichen Explosion des Vulkans eine ungeheure Springflut zahlreiche Inseln überrannte. Die Flutwelle war so mächtig, daß man ihren Weg mehrmals rings um die ganze Erde verfolgen konnte. Bei der Explosion entstanden auch Unmengen von Staub, der wegen seiner Feinheit in der Atmosphäre schweben blieb und sich über den ganzen Luftraum der Erde verteilte. Noch mehrere Jahre später konnten die Bewohner Mitteleuropas die „leuchtenden Nachtwolken“ bewundern, die aus dem Staub des Krakatau bestanden und nach Sonnenuntergang von den Strahlen der Sonne vergoldet wurden (siehe *Abbildung 19*, Seite 129).

Sehr interessante Erkenntnisse wurden den *Biologen* durch den Ausbruch des Krakatau vermittelt. Die Explosion war nämlich derart heftig, daß auf der Insel buchstäblich überhaupt kein Leben erhalten blieb. Man konnte nun im Laufe der folgenden Jahre die Wiederbesiedlung der Insel durch Lebewesen von Nachbarinseln aus verfolgen. Zuerst gab es Pflanzen, deren Samen vielleicht angeschwemmt oder durch den Kot von Vögeln auf die Insel getragen wurden. Nach Vögeln und geflügelten Insekten erschienen auf der Insel aber schon nach wenigen Jahren auf oft rätselhafte Weise auch Landsäugetiere. Die Frage dieser Wiederbesiedlung ist im Hinblick auf die allgemeine Entwicklungsgeschichte der Lebewesen interessant. Die Natur hat hier vor unseren Augen ein Experiment angestellt, und man kann aus diesen Erfahrungen schließen, in welcher Weise

eine Wanderung von Arten über die Meere hinweg möglich ist.

Den Altertumforschern ist der katastrophale Ausbruch des Vesuv vom Jahre 79 gerade recht gekommen. Damals wurden die beiden blühenden Städte *Pompeji* und *Herkulaneum* durch einen Aschenregen aus dem Vulkan, den man bis dahin für erloschen gehalten hatte, plötzlich völlig zugedeckt. Viele Menschen erstickten an Ort und Stelle, so daß man bei den Ausgrabungen nach Entfernung der Asche ein völlig echtes Bild des Lebens und Treibens in einer römischen Provinzstadt gewann. Man erhielt lebensgetreue Nachbildungen von Menschen im Augenblick ihres Todes, indem man die Aschenhüllen, die die verwesenen Leichname umgaben, mit Gips ausgoß; sogar die verzerrte Miene der Sterbenden ist deutlich zu erkennen.

Nun könnte man noch fragen, warum sich — zum Beispiel in Italien — die Bauern immer wieder am Fuße der gefährlichen Vulkane ansiedeln. Der Grund liegt in dem namenlosen Landhunger der Bauern Süditaliens, denen das Land seit Jahrtausenden durch die Großgrundbesitzer vorenthalten wird. Sie wissen sich nicht anders zu helfen und gehen daher jedes Risiko ein. Auch liefert die Lava, nachdem sie im Laufe einiger Jahre zerbröckelt ist, außerordentlich fruchtbaren Boden.

Oft schon wurde daran gedacht, die vulkanische Wärme der Technik nutzbar zu machen. In einer vulkanischen Gegend Italiens (Toskana), wo die Verhältnisse insofern besonders günstig liegen, als hochgespannter Dampf direkt aus dem Boden tritt, wird die Wärme des Erdinneren tatsächlich mit Erfolg nutzbar gemacht. Das Erdkraftwerk von Larderello liefert etwa eine Milliarde Kilowattstunden jährlich, also mehrere Prozent des Strombedarfs des Landes. Die Temperatur des Dampfes beträgt bis 215 Grad und sein Druck bis 18 Atmosphären. Er wird aus Bohrlöchern gewonnen, die 1,5 Kilometer tief sind und bis auf drei Kilometer Tiefe vorgetrieben werden sollen.*

Natürlich ergeben sich beim Betrieb eines solchen einzigartigen Kraftwerkes ganz besondere Probleme. So will man einerseits die

* Das Erdkraftwerk befindet sich im Ausbau, so daß mit einer raschen Steigerung der Stromproduktion zu rechnen ist.

Kapazität des Werkes voll ausnützen und andererseits doch keinen Dampf vergeuden; irgendwann einmal erschöpfen sich die Bohrlöcher ja ebenso wie Erdöl- und Erdgasbohrlöcher. Ein anderes Problem liegt darin, daß der Dampf nicht bloß aus chemisch reinem Wasser besteht, sondern unter anderem auch Kohlensäure, Schwefelwasserstoff und Methan enthält. Einige dieser Substanzen greifen die Werkstoffe an. Schließlich enthält der Dampf auch wertvolle Borsäure, die gewonnen wird.

Wird es wieder Eiszeiten geben?

Zu den oft an die Wissenschaft gestellten Fragen gehört gewiß die, ob in Zukunft — vor allem aber noch zu unseren Lebzeiten — das Klima wärmer oder kälter sein wird als heute. Alpinisten und Gebirgsbauern wissen, daß die Alpengletscher in den letzten Jahrzehnten gewaltig zurückgegangen sind, daß sich heute Steinkare erstrecken, wo sich noch um die Jahrhundertwende Eisströme gewälzt haben. Handelt es sich hier um eine vorübergehende Entwicklung, oder werden die Ostalpen früher oder später ihre Gletscher verlieren?

Tatsächlich hat sich die Wissenschaft mit dieser Frage intensiv befaßt. Freilich interessiert sie sich nicht hauptsächlich dafür, ob der Besitzer des „Gletscherhotels“ seinen Gästen in Zukunft noch etwas zu bieten haben wird.

Wenn die Wissenschaft die Zukunft vorhersagen soll, so geht sie natürlich von der Vergangenheit aus. Wir hoffen, durch Prüfung der Erdgeschichte die Gesetzmäßigkeiten zu ergründen, nach denen sich das Klima ändert. Daß über lange Perioden sich erstreckende Klimaänderungen wirklich auftreten, ist nicht zu bezweifeln. Bekanntlich hat es in der Geschichte unserer Erde nicht nur eine einzige Eiszeit gegeben, sondern deren eine ganze Anzahl. Andererseits hat es auch Wärmeperioden gegeben.

Wenn wir von Eiszeiten schlechthin sprechen, so denken wir gewöhnlich an die Eiszeiten, die unsere menschlichen Vorfahren bereits erlebt haben. Das sind jene, die innerhalb eines erdgeschichtlich sehr kurzen Zeitraumes aufgetreten sind, nämlich innerhalb der letzten Million Jahre. In diesem Zeitraum gab es nach der Meinung der Wissenschaft vier Eiszeiten von verschiedener Länge und verschiedenem Abstand voneinander. Die Eiszeiten werden in der Reihenfolge ihres Alters (von der ältesten zur jüngsten) nach vier

süddeutschen Nebenflüssen der Donau benannt: Günz, Mindel, Riss und Würm. (Wie nett, daß die Natur die Flößchen alphabetisch geordnet hat!) Die letzte Eiszeit erreichte vor 30 000 Jahren ihren Höhepunkt. Es war damals im Durchschnitt um sieben Grad kälter als heute. Aber man weiß, daß auch schon in viel früheren Perioden der Erdgeschichte — zum Beispiel vor mehreren hundert Millionen Jahren — Eiszeiten aufgetreten sind. Wieso weiß man das?

Der Erdvergangenheit kann man nachforschen, indem man die Schichtungen der Gesteine an der Erdoberfläche untersucht. Unter der Voraussetzung, daß keine nachträglichen Störungen eingetreten sind — was allerdings oft der Fall gewesen sein muß —, darf man die obersten Lagen Erde und Gestein auch als die jüngsten betrachten, also als die, die sich am spätesten abgelagert haben. In den Ablagerungen warmer Erdperioden findet man die Überreste von wärme liebenden Pflanzen und Tieren, während die Auffindung von Fossilien kälteliebender Lebewesen darauf schließen läßt, daß die sie einschließenden Erdschichten aus Kälteperioden der Erdgeschichte stammen. Häufig kann man die Wirkung der Eismassen vergangener Epochen auch direkt feststellen, zum Beispiel in den sogenannten Gletscherschliffen, die wir in den Alpen oft ganz an der Erdoberfläche antreffen.

Wenn wir also beispielsweise zwischen zwei Schichten, die die Überreste von Eichen und Buchen enthalten, eine Schicht finden, in der hauptsächlich die kältebeständigen Nadelbäume Fichte und Lärche auftreten, so werden wir schließen dürfen, daß hier zwei warme Perioden durch eine kalte Periode getrennt waren.

Während der letzten Eiszeit lag die Schneegrenze in den Alpen tausend Meter tiefer als heute. Ihr Eis schob sich bis gegen München vor. Zudem drang vom Norden, von der skandinavischen Halbinsel her, Eis bis tief nach Mitteldeutschland ein. Die Gebiete des heutigen Kopenhagen, Berlin, Hamburg waren von einer dicken Eisschicht bedeckt. Eine Ostsee gab es nicht. Eisberge schwammen auf allen Weltmeeren. Der Meeresspiegel lag 130 Meter tiefer als heute, weil ungeheure Wassermengen sich als Eis auf den Kontinenten türmten. *Abbildung 21* zeigt eine Karte der maximalen Vergletscherung Europas während der letzten Eiszeit.

Die Gletscher schleppten gewaltige Mengen von Gesteinstrümmern

mit sich, die von den über sie hinausragenden Bergrücken auf sie herniedergestürzt waren. Diese Steine bilden an den Enden und Rändern der Gletscher die Moränenwälle, die zum Beispiel in der norddeutschen Ebene als niedere Hügelrücken erscheinen. Viele der heutigen Seen des Voralpengebietes, zum Beispiel Atter-, Traun- und Chiemsee, haben sich hinter den Moränen aufgestaut. Auch einzelne Felsblöcke, sogenannte Findlinge oder erratische (= verirrte) Blöcke, die sich ihrer Zusammensetzung nach vom Untergrund völlig unterscheiden, bezeichnen den Weg des Eises.

Am Rande des Eises weideten in armer Tundra dicht behaarte Mammute und Moschusochsen. Wärmeliebende Lebewesen wichen gegen die Tropen zurück. Der Mensch mußte sich in die Höhlen zurückziehen, die er mit dem Höhlenbären teilte.

In den Wärmeperioden der Erdgeschichte dagegen war zum Beispiel Grönland, dessen Eisdecke heute drei Kilometer dick ist, also die Höhe der Zugspitze oder des Dachsteins erreicht, eisfrei. In Spitzbergen wuchsen üppige Wälder; aus ihnen stammen die für die Schiffe Norwegens und der Sowjetunion so wichtigen Kohlenlager. Es war auf der Erde um durchschnittlich drei Grad wärmer als jetzt.

Kehren wir zu unserer Frage zurück: Wird es kälter oder wärmer? Welche Schlüsse kann man aus der Untersuchung der Vergangenheit ziehen? Was eine Voraussage für die nahe Zukunft betrifft, ist die Antwort enttäuschend. Tatsache ist, daß wir in einer relativ warmen Periode leben, in einer sogenannten *Zwischeneiszeit*. Niemand zweifelt auch, daß es früher oder später wieder zu einer Eiszeit kommen wird. Augenblicklich befinden wir uns — trotz der Erwärmung im letzten Jahrhundert — im großen und ganzen in einer Periode der Abkühlung. Aber ob der Temperaturfall weiter anhalten wird, oder ob vor der nächsten Eiszeit unsere Kindeskinde unter Palmen wandeln werden, wissen wir nicht.

Man weiß nämlich gar nicht, warum und in welchem Rhythmus es einmal wärmer und einmal kälter wird. Verschiedene Theorien sind aufgestellt worden, aber keine scheint der Kritik standzuhalten. Vor allem können Auffassungen nicht vertreten werden, die eine bloß lokale Veränderung des Klimas voraussetzen, die auf gewisse

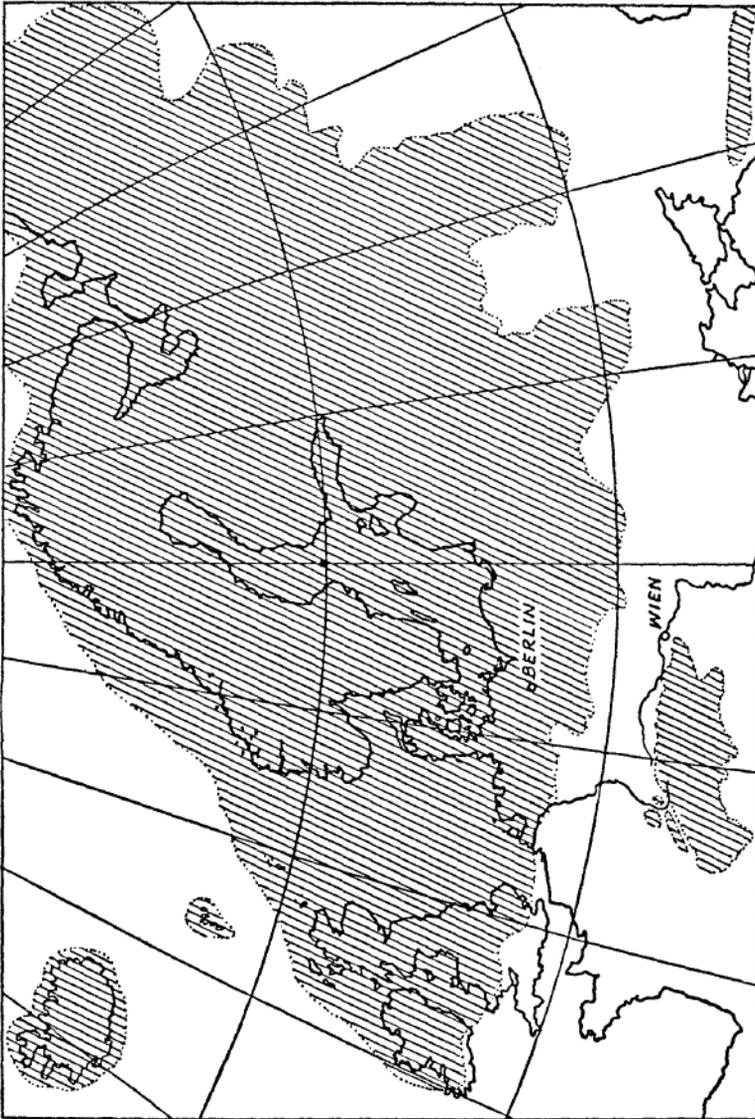


Abbildung 21

Die Vergletscherung Europas während der Eiszeit an ihrem Höhepunkt

Gebiete der Erde beschränkt ist. Es hat nämlich den Anschein, daß die Erwärmungen und die Abkühlungen der Vergangenheit die ganze Erde betroffen haben, wenn auch der Nachweis nicht leicht ist, daß Erwärmung bzw. Abkühlung wirklich überall zum gleichen Zeitpunkt eingetreten ist.

Im Vordergrund stehen daher jene Theorien, nach denen die Erde als Ganze wärmer oder kälter wird. Das könnte auf Schwankungen in der Intensität der Sonnenstrahlung zurückzuführen sein, aber bisher wissen wir sonst von solchen Schwankungen nichts. Wir haben keinerlei Beweise für die Existenz von „Launen“ der Sonne. Denkbar wäre auch, daß sich die Durchlässigkeit der Erdatmosphäre für Strahlen von Zeit zu Zeit verändert hat. Solche Veränderungen könnten die Folgen vulkanischer Tätigkeit sein.

Wenn wir die unmittelbare Zukunft auch nicht voraussagen können, können wir uns doch ausmalen, was die Erwärmung oder die Abkühlung bedeuten würde. Eine neue Eiszeit wäre gewiß bitter. Große Teile Europas, Asiens und Amerikas würden neuer Vergletscherung anheimfallen und der menschlichen Besiedlung ernste Schwierigkeiten bieten. Aber auch starke Erwärmung wäre nichts Erfreuliches. Wenn alle Gletscher und das Polareis schmelzen, wie dies schon wiederholt in der Erdgeschichte bei starker Erwärmung der Fall war, so muß der Meeresspiegel um 55 Meter steigen. Dadurch würde ungefähr ein Zehntel der gesamten Landfläche der Erde, darunter sehr viel fruchtbares Land, unter Wasser gesetzt. Alle Häfen und viele Großstädte des Binnenlandes müßten geräumt werden.

Könnte der Mensch sich gegen eine neue Eiszeit schützen? Vielleicht wäre das nicht so schwierig, wie es zuerst scheinen mag. Das Aufkommen einer neuen Eiszeit erfordert immerhin einen Zeitraum von Jahrtausenden. Bis dahin wird die Menschheit durch Erzeugung von Atomenergie in größtem Maßstab Wärme erzeugen und damit ihren Lebensraum heizen können. Schwerer vorstellbar wäre freilich ein Schutz gegen zunehmende Wärme.

Schätze der Erde

Was kostet Uran?

Wir lesen, daß da oder dort ein Uranschnuggel aufgefliegen ist oder daß ein Geschäftsmann Gaunern Uran zu einem Liebhaberpreis abgenommen hat. Es ist ja begreiflich, daß die Meinung verbreitet ist, der Wunderstoff Uran stelle einen großen Geldwert dar. Kann man doch theoretisch aus einem Kilogramm reinen Urans ebensoviel Energie gewinnen wie aus 2500 Tonnen Steinkohle! Die gesamte gegenwärtige jährliche Stromerzeugung der Welt (etwa 1·2 Billionen Kilowattstunden) würde demnach einem Verbrauch von bloß 150 Tonnen Uran entsprechen. Trotzdem ist der Preis des Urans verhältnismäßig gering.

Das Uran gehört nämlich gar nicht zu den seltensten Elementen; beispielsweise gibt es in der Erdkruste nur wenigmal mehr Blei als Uran. Außerdem sind die chemischen Eigenschaften des Urans derart, daß seine Erze leicht zu verarbeiten sind.

Manchmal sind die Erze auch ziemlich reich. Zum Beispiel enthält das wichtige Mineral Uranpechblende theoretisch 85 Prozent Uran-Element. Die Pechblende ist ursprünglich durch Zersetzung uranhaltiger Tiefenwässer entstanden, die durch Sprünge und Spalten ins Gestein gesickert sind. Obwohl das Mineral in der Natur stets stark mit taubem Gestein, beispielsweise Kalk oder Quarz, vermischt ist, kann das Erz (Mineral plus Gestein) an manchen Fundstellen doch durchschnittlich mehrere Prozent Uran enthalten.

Das meiste Uran der Erdkruste liegt allerdings in feiner Verteilung vor. So enthält das Urgestein der Zentralalpen (Granit, Gneis) im Durchschnitt immerhin etwa sechs Gramm Uran pro Tonne. (Der Kalk der Nord- und der Südalpen ist viel ärmer.) Das Uran des Granits verleiht diesem toten Gestein einen Energiegehalt, der den des gleichen Gewichtes bester Steinkohle um ein

Vielfaches übertrifft: das heißt, daß aus einer Tonne Granit allein auf Grund seines Urangehaltes theoretisch ebensoviel Energie gewonnen werden kann wie aus vielen Tonnen Kohle! Die Radioaktivität gewisser Quellen, zum Beispiel in Gastein, ist durch Stoffe verursacht, die aus dem Granit angelaut wurden.

Der Gehalt der Erdkruste an Uran ist übrigens für die Beurteilung der Erdgeschichte bedeutsam. Vor der Entdeckung der Radioaktivität glaubte man, daß die Erde sich seit ihrer Geburt ständig abgekühlt haben müsse. Später erkannte man, daß die radioaktiven Stoffe, wenn sie in der ganzen Erdkugel in gleicher Menge wie in der Kruste vorhanden wären, im Gegenteil die Erde immer weiter aufheizen müßten — was doch offenbar nicht der Fall ist. Darum nimmt man an, daß der Erdkern unvergleichlich weniger Uran enthält als die Erdkruste.

Diese Annahme ist auch tatsächlich wissenschaftlich begründet, wie uns die Wissenschaft von der Verteilung der chemischen Elemente in der Natur, die *Geochemie*, lehrt. Man weiß, daß die voneinander so verschiedenen chemischen Elemente in den ebenso verschiedenen Gesteinen nicht regellos durcheinandergemischt sind. Vielmehr findet sich jedes Element hauptsächlich in jenen Schichten der Erde vor, in die es dank seiner chemischen „Verträglichkeit“ mit der Umgebung — nämlich dank seiner besonderen chemischen Eigenschaften und der arteigenen Größe seiner Atome — leicht einwandern konnte.

Nun ist das Uran ein Element, das sich sehr leicht mit Sauerstoff verbindet (oxydiert). Da es bei der Oxydation seinen metallischen Charakter abstreift, ähnlich wie wenn metallisches Eisen zu Rost oxydiert, verliert es dabei auch die Fähigkeit, sich mit dem metallischen Eisen des Erdkerns zu mischen (legieren). Tatsächlich findet man auch in den Eisenmeteoriten, die dem Kern eines zersprungenen Planeten entstammen, nur weit kleinere Mengen Uran als in den Steinmeteoriten. Das Uran mußte sich also in der Erdkruste und nicht im eisernen Erdkern ansammeln.

Die verhältnismäßige Häufigkeit des Urans veranlaßt zum Beispiel die Regierung der USA, die wahrhaftig alle erdenklichen Anstrengungen macht, um Rohmaterial für ihre Atombomben zu-

sammenzuscharren, trotzdem den ablieferungspflichtigen Bergwerksbesitzern nur ungefähr 8 Dollar pro Kilogramm Uranelement zu bezahlen. Bei diesem verhältnismäßig geringen Preis lohnt sich die Produktion offenbar noch immer. Dabei gibt es zufällig gerade in den Vereinigten Staaten keine reichen Uranerze; an anderen Stellen der Welt liegt daher der Gesteinspreis wahrscheinlich noch niedriger. Es ergibt sich, daß Uran tausende Male billiger ist als die dem gleichen Energiegehalt entsprechende Menge Kohle.

Selbst wenn einmal die reichen Lagerstätten erschöpft sein werden und man uranarme Erze heranziehen wird, wird der Preis des Urans — immer auf gleichen Energiegehalt gerechnet — noch immer viel niedriger als der Kohlenpreis liegen. Fachleute vermuten, daß in der ganzen Welt 25 Millionen Tonnen Uran um weniger als 200 Dollar pro Kilogramm gewonnen werden können. Der Energiegehalt dieser Menge Uran übertrifft jenen sämtlicher Steinkohlenlager der Welt um das Fünzigfache!

Zu den reichsten bisher bekannten Fundstätten des Urans gehören Kanada, die Tschechoslowakei und vor allem der belgische Kongo. Die Regierung der USA hat sich während des Zweiten Weltkrieges fast der gesamten Uranproduktion des Kongo auf viele Jahre hinaus versichert. Auch die kanadischen Lager, die sich im nahezu unbewohnten Norden des Landes befinden und aus denen das Erz mit Flugzeug südwärts gebracht wird, dienen fast ausschließlich den USA.

Im Bergbau Joachimsthal in Böhmen, wo seit dem Mittelalter Silber gewonnen wurde, betrachtete man früher die Uranpechblende als lästigen Abfallstoff. Aus der Pechblende von Joachimsthal, die vom österreichischen Ministerium zur Verfügung gestellt worden war, gewann später das Ehepaar *Curie* zum ersten Male Radium, das durch radioaktiven Zerfall aus Uran entsteht. Die böhmischen Lager setzen sich auf der Nordseite des Erzgebirges in Sachsen fort.

In Schweden verarbeitet man einen Brennschiefer, der eine Meeresablagerung darstellt und in dem das Uran stellenweise gehäuft vorkommt. Als Nebenprodukt wird Uran aus den südafrikanischen Golderzen und aus amerikanischem Phosphatgestein ge-

wonnen. Obwohl das südafrikanische Erz arm ist, lohnt sich die Urangewinnung, weil das Erz ohnehin der Goldgewinnung wegen gebrochen und gemahlen wird.

Zur Gewinnung des Urans wird das Erz mit Schwefelsäure behandelt, wobei das Uran in Lösung geht. Die Lösungen werden dann durch eine Reihe von Maßnahmen von fremden Elementen befreit. Schließlich wird das reine Uransalz mit einem geeigneten Reduktionsmittel (zum Beispiel Kalzium-Metall) zum Uran-Metall reduziert. Bei diesem Gewinnungsverfahren verbleibt das im Erz enthalten gewesene Radium in dem unlöslichen Rückstand von der Behandlung mit Schwefelsäure.

In jedem Erz entfällt auf drei Millionen Gewichtsteile Uran stets ein Gewichtsteil Radium, also auf drei Tonnen ein Gramm. Seit der Entdeckung der Radioaktivität bis fast zum Zweiten Weltkrieg wurde das Erz nur wegen des Radiums gefördert. Für das Uran selbst fand sich wenig Verwendung. Seitdem dagegen das Uran Hauptprodukt geworden ist, fällt den monopolistischen Bergbau-gesellschaften, der Union Minière du Haut Katanga (Kongo) und der Eldorado Mining Co. (Kanada), der Absatz des Radiums schwer. Trotzdem wird der Preis des Radiums zum Schaden der Krebskranken der Welt auf der absurden Höhe von 20 Dollar pro Milligramm gehalten. Das meiste Radium liegt daher auch unverkauft und ungenützt in den Kellern der Gesellschaften.

Unter gewissen Umständen kann auch das radioaktive Element *Thorium* zur Erzeugung von Atomenergie verwendet werden. Thorium ist noch häufiger als Uran. Es kommt vor allem im sogenannten *Monazitsand* an den Küsten Brasiliens und Indiens vor. Dieser Sand, dessen Lager sich über hunderte Kilometer erstrecken, wurde früher einfach bei der Rückfahrt von Schiffen aus Amerika als Ballast verwendet. Übrigens enthalten die von dem großen österreichischen Chemiker *Auer-Welsbach* erfundenen Gasglühstrümpfe Thorium und sind daher radioaktiv.

Nach Uran und Thorium sucht man heute zumeist mit Hilfe von Geräten, die die aus dem Erdboden dringende radioaktive Strahlung anzeigen. Man kann solche Geräte zweckmäßig auch in niedrig fliegenden Flugzeugen mit sich führen und auf diese

Weise in kurzer Zeit große Geländeflächen erfassen. Ein verwandtes Verfahren besteht darin, mit Geräten anderer Art radioaktive Gase (Emanation) zu messen, die beim Zerfall von Uran und Thorium an die Luft treten und sich mit ihr vermischen. Die Konzentration dieser Gase ist oberhalb von Lagerstätten merklich höher als über armem Gelände.

Diamanten — Fluch und Segen

Südafrika stellt für mindestens vier Fünftel seiner Bevölkerung eine Hölle dar. Eine dünne Oberschicht von einheimischen Weißen und ihre Hintermänner in London und New York ziehen märchenhafte Reichtümer aus dem düsteren Land. Immer wieder gibt es blutige Zusammenstöße zwischen ihren Organen und der Masse der arbeitenden Bevölkerung, den Negern.

Worin bestehen nun die Reichtümer Südafrikas? In den Bergwerken und im Tagbau werden Gold, Diamanten und Uran gewonnen. Südafrika ist der größte Goldproduzent der Welt. Das Uran ist ein Nebenprodukt der Goldgewinnung und wird nach Amerika verschifft. Hier aber soll von den *Diamanten* die Rede sein. Die Besitzer der Diamantgruben in Südafrika und anderswo sind im Welt-diamantensyndikat zusammengeschlossen.

Der Diamant ist in mancher Hinsicht ein besonders interessanter Stoff. Erst seit den Forschungen des französischen Chemikers *Lavoisier* im 18. Jahrhundert wissen wir, daß der Diamant eine Form des reinen elementaren Kohlenstoffs darstellt, nicht weniger rein, aber auch nicht reiner als *Ruß* oder *Graphit*. Beim Verbrennen liefert auch der Diamant Kohlensäure (Kohlendioxyd). Der erstaunliche Unterschied zwischen dem harten, oft wasserhellen und feurig funkelnden Diamanten und dem schmierigen schwarzen Graphit erklärt sich dadurch, daß die gleichen Atome in den beiden Stoffen räumlich verschieden angeordnet sind.

Sowohl der Diamant als auch der Graphit haben kristallischen Bau. Das heißt, die Anordnung der Atome ist regelmäßig, wenn sich diese Regelmäßigkeit auch nicht immer unmittelbar in der äußeren Form, also durch die Ausbildung unmittelbar als solcher erkennbarer Kristalle ausdrückt.

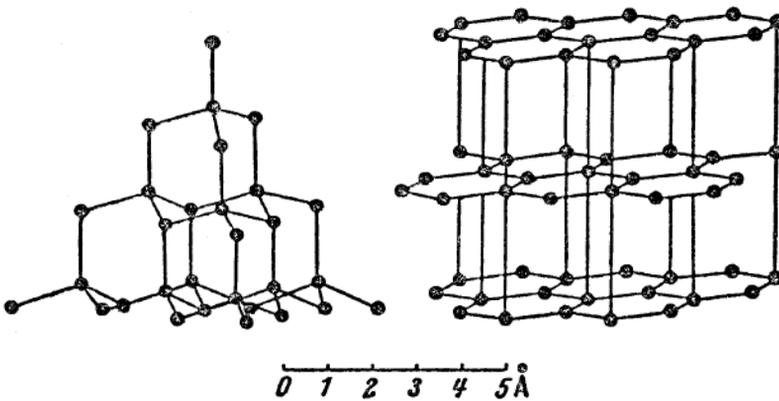


Abbildung 22

Regelmäßige Anordnung der Kohlenstoffatome im Diamantkristall.

Abbildung 23

Regelmäßige Anordnung der Kohlenstoffatome im Graphitkristall.

Mit Hilfe der Röntgenstrahlen hat man nun folgendes gefunden: Im *Diamanten* sind alle Kohlenstoffatome so angeordnet, daß sie voneinander in allen Richtungen stets gleichen Abstand haben (*Abbildung 22*), nämlich 1,54 sogenannte Ångström-Einheiten ($1 \text{ \AA} = 1$ zehnmillionstel Millimeter). Im *Graphit* dagegen treten die gleichen Kohlenstoffatome zu regelmäßigen Sechsecken zusammen, die flach neben- und übereinander liegen. Jede Lage von Atomen sieht daher wie ein Querschnitt durch eine Bienenwabe aus (*Abbildung 23*). Im Kristall des Graphits liegen dann Millionen solcher ebener Schichten, die in der beschriebenen Weise aus lauter Sechsecken bestehen, so wie die Papierblätter in einem Stoß Papier übereinander. Die Entfernung zwischen Atomen, die verschiedenen solcher Schichten zugehören, ist viel größer ($3,40 \text{ \AA}$) als die Entfernung der Atome voneinander innerhalb ein und derselben Schicht ($1,42 \text{ \AA}$).

Infolge der größeren Entfernung sind die Anziehungskräfte zwischen Atomen, die verschiedenen Schichten angehören, nur schwach. Auf diese Weise können wir verstehen, warum der Graphit ein Schmiermittel ist. Die ebenen Schichten legen sich gut an die

reibenden Metalloberflächen an, haften auf ihnen, gleiten aber leicht aneinander ab, so wie die Papierblätter im Stoß aneinander abrutschen können. Nichts dergleichen ist im Diamanten möglich. Im Gegenteil: Da die Atome sämtlich eng aneinandergerückt sind und in allen Richtungen ohne Fehler oder Lücken ein dichtes Maschenwerk bilden, in dem von einem Abrutschen keine Rede sein kann, ist der Diamant außerordentlich hart. Infolge der engeren Packung der Atome hat der Diamant auch ein viel höheres spezifisches Gewicht (3·5) als der Graphit (2·2).

Lenin hat gelegentlich gesagt, daß die sozialistische Gesellschaft kein Gold brauchen wird und daß man dann das Gold zur Auskleidung gewisser Häuschen (*Lenin* verwendete einen drastischeren Ausdruck) verwenden kann. (Wäre *Lenin* ein Pedant gewesen, hätte er vielleicht gesagt: mit Ausnahme des Zahngoldes.)

Diamant dagegen ist vorläufig noch unersetzlich. Kein anderer Stoff schneidet hartes Material so gut wie der Diamant. Bekannt ist ja der Schneidediamant des Glasers. Aber noch viel wichtiger ist die Verwendung der Diamanten zum Schneiden und Schleifen in der Industrie. Auch an den Spitzen (Kronen) der rohrförmigen Gesteinsbohrer, zum Beispiel in den Ölfeldern, sitzen Diamanten. Diese Diamanten bohren bei ihrer raschen Rotation durch das härteste Gestein. Dabei bleibt das Gesteinsmaterial innerhalb des Rohres unberührt. Dieser „Kern“ wird von Zeit zu Zeit dem Rohr entnommen. Er vermittelt uns genaue Kenntnis von den Gesteinen in hunderten und tausenden Meter Tiefe. Schließlich ist der Diamant infolge seiner Härte auch jener Werkstoff, der die ungeheure Beanspruchung als Ziehstein am besten erträgt: Ein Diamant wird durchbohrt und dient dann zum Ziehen von Drähten aus Hartmetall (Wolfram, Molybdän).

Die Jahresproduktion an Diamanten beträgt einige Tonnen. Außer in Südafrika werden in Ostafrika und in Brasilien Diamanten gewonnen. Der größte jemals gefundene Diamant, der *Cullinan*, wog im Rohzustand 620 Gramm. Gewöhnlich wird das Gewicht von Diamanten allerdings nicht in Gramm, sondern in Karat ausgedrückt. Ein Karat beträgt 0·206 Gramm.

Wie kommt (oder kam) es nun — wenn auch offenbar nur an

wenigen Stellen der Erde — zur Entstehung von Diamanten? Die Theoretiker haben gezeigt, daß der Diamant unter den normalen irdischen Bedingungen eigentlich *überhaupt nicht* existenzfähig sein sollte! Genaue Messungen haben nämlich bewiesen, daß die stabilste Form des elementaren Kohlenstoffes der Graphit und nicht der Diamant ist. Theoretisch müßte man daher erwarten, daß die Diamanten von selbst in Graphit übergehen. Ein solcher Übergang ist aber noch nie beobachtet worden; man muß daher annehmen, daß diese spontane Umwandlung nur unmeßbar langsam vor sich geht.

Die *Entstehung* des Diamanten kann sich die Theorie daher nur unter Bedingungen vorstellen, die von denen unserer gegenwärtigen Umwelt gänzlich verschieden sind. Und zwar so: Im Hinblick auf die Dichte der Atompackung im Diamanten muß man erwarten, daß *enormer Druck* bei der Entstehung von Kohlenstoffkristallen die Atome sozusagen zwingen kann, eng zusammenzurücken und die kompakte Kristallform des Diamanten statt der lockeren Graphitform anzunehmen. Solche Drucke mögen in den Gebirgen geherrscht haben, als in grauer Vorzeit die feurig-flüssige Vulkanlava Südafrikas erstarrte. Übrigens werden nicht alle Diamanten direkt aus dem Fels gebrochen, sondern sie finden sich oft losgelöst in den sandartigen Produkten der Verwitterung von Felsgestein.

Die Steine werden nicht in den Fundländern bearbeitet und geschliffen. Die traditionellen Orte für die Veredlung des Rohmaterials sind Holland und Belgien. Besonders die zahlreiche jüdische Bevölkerung Amsterdams hatte seit Jahrhunderten dieses Handwerk entwickelt. Der berühmte Philosoph *Spinoza* war von Beruf Diamantenschleifer. (Während des Zweiten Weltkrieges wurde die jüdische Bevölkerung Hollands unter der Leitung Seyß-Inquarts praktisch ausgerottet.)

Wie steht es mit einer künstlichen Diamantsynthese? Bisher schlecht! Die Herstellung (winziger) künstlicher Diamanten ist bestenfalls zweimal im Laboratorium gelungen. Die beiden Urheber dieser Synthesen lebten im vorigen Jahrhundert: der große französische Chemiker *Moissan* und der englische Erfinder *Hannay*.

Auch bei der künstlichen Diamantenherstellung kommt es darauf an, die Atome im Kohlenstoff näher aneinanderzurücken. Zu diesem

Zweck hat Moissan flüssiges Eisen mit Kohlenstoff gesättigt und dann „abgeschreckt“. Bei der Abkühlung scheidet sich ein Teil des Kohlenstoffs aus, da seine Löslichkeit im Eisen mit sinkender Temperatur abnimmt. Moissan hoffte, daß unter Druck entstehender Kohlenstoff die Kristallform des Diamanten annehmen werde. Tatsächlich wurden winzige Splitter einer wasserhellen Substanz erhalten. Da zur Zeit Moissans aber keine hinreichend empfindlichen Untersuchungsmethoden (Röntgenstrahlen!) zur Verfügung standen, wissen wir nicht mit Sicherheit, ob es sich wirklich um künstliche Diamanten gehandelt hat.

In dieser Hinsicht steht es um jene Diamanten besser, die Hannay nach einer ähnlichen Methode erhalten hat. Seine Erzeugnisse wurden nämlich in London aufbewahrt und konnten vor wenigen Jahren von Frau Professor *Lonsdale* mit Röntgenstrahlen geprüft werden. Sie stellte eindeutig fest, daß es sich wirklich um echte Diamanten handelt. Offen bleibt nur die Frage, ob Hannay sie wirklich künstlich erzeugt hat oder ob er ein Schwindler war...

Nun haben zwar die Zeitgenossen Hannay für einen verlässlichen Menschen gehalten. Offenbar steht es aber um eine wissenschaftliche Diskussion schlecht, wenn das Ergebnis davon abhängen soll, ob einer seinen Mitmenschen als ein ehrlicher Mensch oder als ein Betrüger erscheint. Die Experimente Moissans und Hannays sollten unter Einsatz moderner Hilfsmittel wiederholt werden.

Der Nobelpreis für ein technisch brauchbares Verfahren zur Herstellung künstlicher Diamanten ist jedenfalls noch zu vergeben.

Wozu dient Magnesit?

Der Magnesit gehört zu den wichtigsten Bodenschätzen Österreichs. Wir wissen, daß Tausende von Berg- und Werksarbeitern der Alpenländer ihre Existenz auf den Magnesit gründen. Wir wissen auch, daß in wenigen Wirtschaftszweigen der Profit von in- und von ausländischen Kapitalisten so gescheffelt wird wie beim Magnesit. Aber die wenigsten wissen, wozu dieser wertvolle Rohstoff eigentlich dient.

Bis vor einigen Jahrzehnten war Magnesit, technisch gesprochen, ein österreichisches Monopol. Die reichen Lager der Alpen waren zuerst bekannt geworden und versorgten die Alte und die Neue Welt. Erst um den Ersten Weltkrieg fand man auch in anderen Ländern reiche Lager — in der Slowakei, im südlichen Ural, in der Mandschurci, in Griechenland, an der pazifischen Küste der USA.

Magnesit wird zu mancherlei Zwecken gebraucht. Aber die weitaus wichtigste Verwendung, deretwegen überall nach Magnesit geschürft wird, ist die Verwendung als *feuerfestes Material*. Nach geeigneter Vorbehandlung (nämlich zu *Sintermagnesit* oder zu *Magnesitziegeln* gebrannt) übertrifft Magnesit die meisten technisch verwendbaren Stoffe in bezug auf die Temperatur, der er ausgesetzt werden kann, ohne seine mechanische Festigkeit gänzlich einzubüßen und zusammenzusacken. Daher ist der vorbehandelte Magnesit für die Auskleidung von Stahlföfen (Öfen, in denen Roheisen und Schrott in Stahl verwandelt werden) von entscheidender Wichtigkeit. Außerhalb der Metallurgie findet der Sintermagnesit auch zur Auskleidung von Öfen für die Erzeugung von Zement und Glas Verwendung.

Chemisch ist Magnesit *Magnesiumkarbonat* (kohlensaures Magnesium $MgCO_3$). Beim Brennen entweicht Kohlensäure (CO_2) und es hinterbleibt *Magnesia* (MgO). Die Herkunft des Magnesits ist noch

immer einigermaßen in Dunkel gehüllt. Wohl wissen die Geologen, daß die wichtigsten Lagerstätten der Alpen aus dem Kalk (kohlen-saurem Kalzium CaCO_3) entstanden sind, den die braven Korallen in vorgeschichtlicher Zeit abgelagert haben. Wenn nun dieser Kalk mit magnesiumhaltigen Lösungen in Berührung kommt, kann das Magnesium das Kalzium des Kalks ersetzen. Das Kalzium wird dabei ausgelaugt und sickert fort, während Magnesiumkarbonat zurück-bleibt. Der auf diese Weise entstandene Magnesit heißt *kristalliner Magnesit*.

Offenbar wird jeder auf diese Weise gebildete Magnesit noch eine gewisse Menge Kalk enthalten. Ein allzu großer Kalkgehalt aber beraubt den Magnesit seines Wertes, denn das beim Brennen des Kalks entstehende Kalziumoxyd (gebrannter Kalk CaO) zieht Wasser an. Das Mineral, das Magnesium und Kalzium zu gleichen Teilen enthält, heißt nach dem französischen Mineralogen *Dolomieu* „Dolo-mit“; ein großer Teil der schönen Dolomiten besteht aus diesem Mineral.

Soweit ist also alles in Ordnung. Dunkel ist aber der Ursprung der magnesiumhaltigen Wässer, die den Kalk in Magnesit umge-wandelt haben. Die Vorkommen in den Alpen, die sich über hunderte Kilometer hinziehen, sind nämlich von überraschender Gleich-förmigkeit. Da gibt es die obersteirischen Vorkommen in Veitsch, Trieben und Wald. Es gibt die Kärntner Vorkommen von Radenthein und die Tiroler Vorkommen im Zillertal. Sie alle sind geologisch ähnlich; anscheinend ist an all diesen Stellen auf eine bisher nicht näher geklärte, aber ähnliche Weise der Kalk mit den magnesium-haltigen Quellen in Berührung gekommen.

Bei der Gewinnung von *Magnesia* aus *Meerwasser*, die vor allem seit dem Zweiten Weltkrieg betrieben wird, ahmt man in gewissem Sinne die Natur nach. Man fällt die *Magnesia* durch Mischen des Wassers mit Kalkmilch (Aufschlemmung von gebranntem Kalk) aus. Den erforderlichen Kalk kann man aus Austernschalen gewinnen, die manchenorts sehr reichlich vorkommen.

Außer von Kalk wird Magnesit oft von Eisenkarbonat (FeCO_3) begleitet. Eisenkarbonat ist ja auch für sich in den Kalkalpen gar nicht selten. So besteht bekanntlich der steirische Erzberg aus

Eisenkarbonat, also aus Spateisenstein. Die vielen bräunlich gefärbten Kalke, die jeder Bergsteiger bemerkt hat, verdanken ihre Farbe dem Eisen. So sind auch die meisten Magnesite mit Eisen „verunreinigt“. Die Verunreinigung ist allerdings bis zu einem gewissen Grad äußerst erwünscht, denn es zeigt sich, daß nur der eisenhaltige Magnesit beim Brennen ein hochfeuerfestes Material gibt.

Neben dem kristallinen Magnesit, der aus dem Kalk entstanden ist, gibt es noch den sogenannten *dichten Magnesit*. Dieser entstammt umgekehrt der Umsetzung von kohlensauren Wässern mit Magnesia enthaltendem Urgestein (Serpentin). Beispielsweise besteht das Lager von Kraubath in der Obersteiermark aus dichtem Magnesit.

Der *Sintermagnesit* wird durch Erhitzen des kristallinen Rohmagnesits auf ganz ungeheuerliche Temperaturen gewonnen — auf 1600 Grad und mehr. Bei diesen Temperaturen erfolgt nicht nur chemische Zersetzung zur Magnesia, sondern die Magnesieteilchen backen auch zusammen, „sintern“, werden dabei dichter und reagieren chemisch mit dem im Mineral anwesenden Eisenoxyd. Der Sintermagnesit wird dann entweder, so wie er anfällt, pulverförmig als Stampfmasse verwendet. Oder aber er wird nach dem Erkalten mit geeigneten Zusätzen zu Ziegeln gepreßt, die dann nochmals gebrannt werden müssen.

Begnügt man sich jedoch damit, den Magnesit bei 900 Grad zu brennen, so entweicht zwar die Kohlensäure, aber die Magnesia sintert nicht. Das Produkt wird als *kaustische Magnesia* bezeichnet. Diese kann mit Chlormagnesiumlösung zu einem Brei angerührt und dann zur Herstellung des sogenannten *Magnesiazements* verwendet werden. Aus solchem Magnesiazement lassen sich zum Beispiel „steinerne“ Fußböden herstellen. Aus kaustischer Magnesia und Holzwolle erzeugt man *Bauplatten*; die Magnesia verleiht ihnen Druckfestigkeit, die Holzwolle Zugfestigkeit. Die beiden Bestandteile spielen also eine analoge Rolle wie beim Eisenbeton Zement und Eisen und beim Eternit Zement und Asbest.

Schließlich dient die gebrannte Magnesia auch als wichtiger Bestandteil *keramischer Massen*, besonders keramischer hitzebeständiger Isolierstoffe, und als wertvoller Füllstoff für Kautschuk und Papier. Magnesiumsalze, die ebenfalls mit Vorteil aus Magnesit

hergestellt werden, sind in so manchem Zweig der chemischen Industrie unentbehrlich.

Die Verstaatlichung des Magnesitbergbaues ist von der österreichischen Regierung abgelehnt worden. Die in- und die ausländischen Kapitalisten, die aus dem Magnesit wahre Reichtümer ziehen, haben sich mit Erfolg gegen jeden Eingriff in ihr Reich gewehrt.

Magnesium — ein Leichtmetall der Zukunft

Die Buntmetalle führen einen beständigen „Kampf“ um die Vorherrschaft. Heute hat der Weltverbrauch an Aluminium schon längst den des Zinns überflügelt und jenen des Zinks erreicht. In absehbarer Zeit wird das Aluminium das Blei und dann das Kupfer überholen. Aber das Aluminium selbst büßt gleichzeitig gegenüber dem Magnesium an Vorsprung ein. Trägt man auf Millimeterpapier nach Art von Fieberkurven den Weltverbrauch an Magnesium und an Aluminium im Laufe der Jahre ein, so findet man, daß zwar beide Kurven jäh ansteigen, aber die des Magnesiums noch steiler als die des Aluminiums verläuft. Um das Jahr 1975 herum dürfte das Magnesium das Aluminium eingeholt haben, wenn die Entwicklungslinien ihre gegenwärtigen Tendenzen beibehalten.

Aluminium und Magnesium haben gewisse gemeinsame Vorzüge und Nachteile. Beide sind Leichtmetalle. Die Erze beider Metalle sind so weit verbreitet, daß sie einen erheblichen Teil der Erdkruste ausmachen, weshalb niemals Mangel an ihnen entstehen kann. (So ist Magnesium in der Natur in Form seiner Verbindungen das viert häufigste Metall.) Beide Metalle erfordern zu ihrer Gewinnung kostspielige Anlagen und gewaltige Mengen elektrischen Stromes. Sie sind daher beide bis auf weiteres wesentlich teurer als Stahl.

Obwohl die ersten Proben von metallischem Magnesium schon vor anderthalb Jahrhunderten von *Davy* und später von *Faraday* im Laboratorium dargestellt wurden, hat die großtechnische Gewinnung erst in diesem Jahrhundert begonnen — wesentlich später als die des Aluminiums. Das Magnesium ist also gewissermaßen der jüngere Bruder des Aluminiums. Das Magnesium wurde etwa bis zum Ersten Weltkrieg fast ausschließlich für Blitzlicht und für Weihnachtsbaum-, „Wunderkerzen“ verwendet.

Heute werden aus den Legierungen des Magnesiums in Gießereien und Walzwerken tausenderlei wichtige Gegenstände erzeugt: Bestandteile von Flug- und Fahrzeugen, wie Kolben, Motorgehäuse usw., sodann Teile von Textilmaschinen, Schuhmaschinen, Schreibmaschinen, Staubsaugern, Werkzeugen. Der Grund dafür, warum der Erfindergeist immer wieder zum Magnesium zurückkehrt, ist sein erstaunlich geringes spezifisches Gewicht, das nur 1,74 beträgt gegenüber 2,7 beim Aluminium und 7,8 beim Eisen. Das heißt, daß jede Beschleunigung, Verzögerung oder Richtungsänderung in der Bewegung eines Maschinenteiles geringere Energie braucht, schneller erfolgen kann und zu einer geringeren Erwärmung führt, als wenn der Teil aus Aluminium oder gar aus Stahl gefertigt wäre. Außerdem nützt man gelegentlich, zum Beispiel in bestimmten galvanischen Batterien, die besondere Eignung des Magnesiums zur Stromerzeugung aus, wodurch es das (allerdings billigere) Zink bei weitem übertrifft. Leider läßt sich das Magnesium auch zu Brandbomben verwenden. Sowohl die Batterien als auch die Brandbomben verdanken ihre Qualität der großen Bereitschaft des Metalls, sich mit Sauerstoff chemisch zu verbinden.

Keine Angst, lieber Leser, daß ein Autokolben aus Magnesium plötzlich wie ein Blitzlicht in Brand geraten könnte! Das wäre freilich peinlich. Es kann aber nicht geschehen, weil das massive Metall die Wärme zu rasch ableitet. Brennen kann das Magnesium nur in Form von dünnen Bändern, von Spänen oder Pulver.

Die ersten industriellen Verfahren zur Erzeugung von Magnesium wurden von dem mächtigen deutschen Chemietrust IG-Farben in Bitterfeld ausgearbeitet. Er benützte die *elektrolytische*, d. h. durch den elektrischen Strom erfolgende Zerlegung von wasserfreien geschmolzenen Magnesiumsalzen bei hoher Temperatur. Dieses Verfahren ist nicht gerade als elegant zu bezeichnen, da das Magnesium spezifisch leichter ist als die Schmelze, daher auf ihr schwimmt und dann bei Berührung mit dem Luftsauerstoff gern in Brand gerät. Immerhin war es lange Zeit das einzige praktisch angewandte Verfahren.

Bezeichnenderweise hat der deutsche Chemietrust nicht nur die Rechte (Patente) auf dieses Verfahren, sondern sogar auch die Be-

triebsgeheimnisse (Produktionserfahrungen) im Jahre 1936 der britischen Firma Hughes um dicke Stangen Geld verkauft. Die britische Firma erzeugte nach dem deutschen Verfahren das Magnesium für die Bestandteile der britischen Flugzeuge, die dann die deutschen Städte in Trümmer legten, und für die Bomben, die sie in Brand setzten.

Heute wendet man auch andere Verfahren zur Erzeugung von metallischem Magnesium an. Sie alle brauchen viel Elektrizität, aber einige verwenden statt des Elektrolysebades den elektrischen Ofen. So kann man eine Mischung der Sauerstoffverbindung des Magnesiums (Magnesiumoxyd oder Magnesia) mit Ferrosilizium (Legierung von Eisen und Silizium) elektrisch auf sehr hohe Temperaturen erhitzen. Dann reißt das Silizium den Sauerstoff des Magnesiumoxyds an sich, so wie der Koks im Hochofen dem Eisenoxyd den Sauerstoff entreißt. Das metallische Magnesium wird frei, während Siliziumoxyd (Quarzsand) zurückbleibt. Da die Umsetzung oberhalb seines Siedepunktes von 1100 Grad erfolgt, entweicht das Magnesium in Dampfform und kann aufgefangen und bis zur Erstarrung abgekühlt werden.

Eine interessante Abart dieses *elektrothermischen* Verfahrens stammt von einem Österreicher. Der verstorbene Erfinder *Hansgirg* versuchte, der Magnesia den Sauerstoff im elektrischen Ofen statt mit teurem Ferrosilizium mit billiger Kohle fortzunehmen. Dabei entweicht ein Gemisch von Magnesiumdampf und Kohlenoxyd. Um nun zu verhindern, daß die Reaktion beim Abkühlen dieses Gemisches wieder in der umgekehrten Richtung verläuft und man zum Schluß wieder nur Magnesia (und Kohlenstaub) erhält, blies Hansgirg Wasserstoff gegen das Gas. Da Wasserstoff ein ausgezeichneter Wärmeleiter ist, „schreckte“ er damit den Magnesiumdampf ebenso „ab“, wie die Hausfrau das harte Ei mit kaltem Wasser abschreckt: Die Abkühlung verläuft so schnell, daß das Kohlenoxyd keine Zeit findet, seinen Sauerstoff dem Magnesium zurückzugeben.

Das Problem der Magnesiumgewinnung ist für Österreich insofern nicht uninteressant, als das Land einige der reichsten Magnesitvorkommen der Welt besitzt. Aus dem Magnesit (kohlen saure Magnesia) läßt sich durch Brennen die Kohlensäure austreiben,

wobei die Magnesia zurückbleibt, die dann in den elektrischen Ofen gebracht werden kann. Tatsächlich wird aber heute in Österreich kein Magnesiummetall erzeugt.

Magnesium wird als Werkstoff nicht in Form des reinen Metalls verwendet. Wertvoller nämlich sind die *Legierungen* des Magnesiums. So erhöht eine Beimischung der Metalle Aluminium, Zink und Zirkonium die — ohnehin gute — Festigkeit des Magnesiums, während ein Zusatz von Mangan seine Widerstandsfähigkeit gegen chemischen Angriff erhöht. Sowohl das reine Metall als auch seine Legierungen lassen sich gut gießen und auf der Drehbank bearbeiten.

Zum Schluß sei noch ein anderes Leichtmetall erwähnt, das sich für bestimmte Zwecke seinen Platz an der Sonne erobert: das ist das *Beryllium* mit dem spezifischen Gewicht 184. Es wird schon heute in Legierung mit Kupfer als unmagnetischer Ersatz für Federstahl verwendet. Die mechanischen Eigenschaften dieser Legierung sind hervorragend. In Zukunft wird man wahrscheinlich das Beryllium in den Atomenergieanlagen zum Schutz des Urans gegen chemischen Angriff durch Kühlwasser oder Kühlluft verwenden. Alle Werkstoffe im Uranreaktor müssen bekanntlich unter anderem dadurch ausgezeichnet sein, daß sie die kostbaren Neutronen in möglichst geringem Ausmaß verschlucken. Dieser Anforderung kommt das zur Einhüllung des Urans heute allgemein verwendete Aluminium in erträglichem, das Beryllium aber in hervorragendem Maße nach.

Allerdings stehen der Verwendung des Berylliums noch Schwierigkeiten im Weg. Erstens ist es teuer, da Berylliumvorkommen selten sind. Beryllium ist auch ein Bestandteil des Smaragds, der im Habachtal in Salzburg gefunden wird — aber Smaragd wäre ein teurer Rohstoff! Zweitens ist das reine Beryllium bei gewöhnlicher Temperatur spröde. Drittens ist es im Gegensatz zu Aluminium und Magnesium außerordentlich giftig. Ehe man das vor einigen Jahren erkannte, starben hunderte Arbeiter und Techniker auf rätselhafte Weise an einer besonderen, durch das Beryllium verursachten Lungenkrankheit.

Im Reiche der Oktanzahlen

Die Zeitungen bringen uns Nachrichten, daß ein arabischer Scheich oder Sultan an der Spitze eines Haufens Bewaffneter einen anderen vertrieben hat. Oder daß ein südamerikanischer General einen anderen General als Regierungschef gestürzt hat. Wir kennen die näheren Umstände nicht. Aber wir dürfen vermuten, daß das Ereignis mit *Erdöl* zu tun hat. Seit vielen Jahrzehnten kämpfen in dieser Weise die britischen und die amerikanischen Trusts um die Ölreichtümer der Welt. Allerdings beginnen auch die Völker der betroffenen Länder sich allmählich ihre Gedanken zu machen, warum eigentlich ihre Bodenschätze den Ausländern, der Shell, der Anglo-Iranian oder der Standard Oil gehören müssen...

Die Erdölvorräte der Welt sind riesenhaft. Jahr um Jahr werden nun bereits mehr als 650 Millionen Tonnen Rohöl gefördert. Das entspricht dem Gewicht nach schon mehr als einem Drittel der Weltkohlenförderung. Man liest zwar dann immer wieder, daß die Öllager sich der Erschöpfung nähern. Tatsache aber ist, daß bis jetzt neue Lager in schnellerem Tempo gefunden werden, als die alten ausgebeutet werden. Dabei ist erst ein kleiner Teil der Erdoberfläche in dieser Hinsicht wirklich erforscht. Denken wir doch nur daran, daß selbst in Österreich, also einem geologisch schon seit langem und verhältnismäßig gut untersuchten Land, die mächtigen Öllager erst vor zwanzig Jahren aufgefunden wurden! Man kann sich dann vorstellen, wieviel Öl der Boden Asiens, Afrikas oder der Arktis noch bergen mag.

Enorme Ölfelder sind in den letzten Jahren zum Beispiel in Kanada erschlossen worden. Die Sowjetunion hat im Ural ein „zweites Baku“ begründet. China hat reiche Ölfelder entdeckt. In allerjüngster Zeit werden Funde größter Bedeutung aus Australien gemeldet. Auch Israel behauptet, endlich das dort wie in anderen Ländern des Nahen

Ostens lange vermutete, aber bisher nie festgestellte Öl gefunden zu haben. Man kann nun schon Bohrlöcher bis in sechseinhalb Kilometer Tiefe vortreiben. In *Abbildung 24* ist die Anlage einer Erdölsonde schematisch dargestellt.

Die Existenz des Erdöls ist der Menschheit schon seit Jahrtausenden bekannt, denn das Öl und der aus dem Öl durch Verbindung mit Sauerstoff (Oxydation) hervorgehende Asphalt treten an manchen Stellen geradezu von selbst aus dem Erdboden aus. So verwendeten die Babylonier schon vor fünftausend Jahren den Asphalt zum Ausgießen der Fugen zwischen Pflastersteinen, genau wie das heute geschieht. Mit Erdöl konservierten die Ägypter ihre Mumien. Das alte Erfindervolk der Chinesen trieb schon vor zweitausend Jahren auf der Suche nach Öl einen Schacht in tausend Meter Tiefe. Die Byzantiner verwendeten bereits in den ersten Jahrhunderten unserer Zeitrechnung das „griechische Feuer“ (brennendes Öl) für die Kriegführung. (Sie waren damit primitive Vorläufer der Amerikaner, die in Korea zahllose Zivilisten mit dem *Napalm* ihrer Brandbomben und Flammenwerfer zu Tode geröstet haben.) Der berühmte italienische Reisende *Marco Polo*, der im dreizehnten Jahrhundert als erster zu Lande nach China reiste, berichtete über Kamelkarawanen, die Öl von Baku nach Bagdad brachten.

Die Geschichte der modernen Ölgewinnung beginnt jedoch mit dem vorigen Jahrhundert, als der Bedarf an Brenn- und Schmierstoffen ungeheuer zunahm. Zu den ersten systematisch ausgenützten Öllagern gehörten die des damaligen Ostgalizien (der Westukraine). So wurde schon im Jahre 1853 das Krankenhaus von Lemberg mit Petroleum beleuchtet. Im Jahre 1859 trieb man in Pennsylvanien ein Bohrloch planmäßig in ein Ölfeld, und in den Siebzigerjahren begann die stürmische Entwicklung im Kaukasus. Freilich muten uns die damaligen Ausbeutungsmethoden äußerst merkwürdig an. Man interessierte sich für das Petroleum als Brennstoff, vor allem für Lampen. Das Naturbenzin, das einen Hauptteil mancher Rohöle ausmacht, betrachtete man als eine lästige Beimischung, die man wegbrannte.

Über den *Ursprung* des Erdöls haben sich viele weise Männer den Kopf zerbrochen. Manche vermuteten einen anorganischen Ursprung des Öls. Gewisse chemische Verbindungen des Kohlenstoffs,

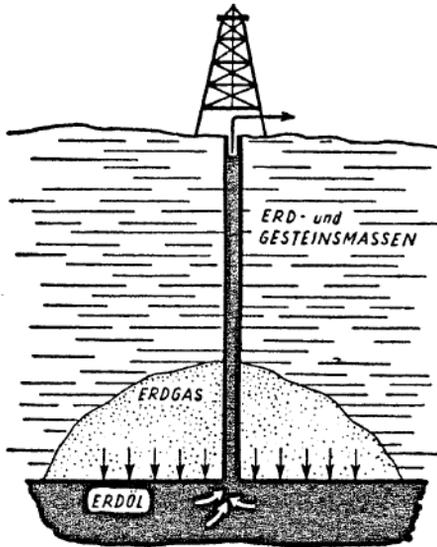


Abbildung 24

Aus den erdölgetränkten Sand- oder Gesteinsschichten wird das Öl durch den Druck des darüber lagernden Erdgases durch das Rohr bis an die Erdoberfläche hochgepreßt.

die es angeblich auf der Ur-Erde gegeben haben soll („Karbide“), sollen sich mit Wasser zu Ölen umgesetzt haben, ähnlich wie das bekannte Kalziumkarbid der Karbidlampen mit Wasser einen (gasförmigen) organischen Brennstoff gibt, das stinkende Azetylen. Aber diese Hypothese stellte sich als unhaltbar heraus. Erstens ist kein chemischer Vorgang bekannt, durch den aus Karbiden Verbindungen von der Art des Erdöls entstehen können. Zweitens glaubt man heute nicht, daß die Erdkruste jemals wesentliche Mengen an Karbiden enthielt. Drittens (vor allem!) hat man im Erdöl immer wieder Stoffe gefunden, die unmöglich anders als durch Vermittlung von Lebewesen entstanden sein können, zum Beispiel Umwandlungsprodukte des Blutfarbstoffes Hämoglobin. Man nimmt also heute allgemein an, daß das Öl durch Verwesung und Zersetzung von Lebewesen, von Pflanzen und Tieren, entstanden ist.

Nur in einigen Epochen der Erdvergangenheit haben sich Öllager gebildet. Aus der fernsten Vorzeit, dem sogenannten Präkambrium, stammen keine Lager; das ist ja auch nicht zu erwarten, denn damals hat es nach den Forschungen der Geologen entweder überhaupt noch keine Lebenstätigkeit oder jedenfalls nur Leben in sehr bescheidenem Maßstab gegeben. Wichtige alte Ölfelder gehören Schichten an, die die Geologen als „silurisch“ bezeichnen und die nun immerhin schon 350 Millionen Jahre alt sind. In jener Epoche spielte sich das Leben noch immer nur im Wasser ab. Die höchstentwickelten Tiere waren Fische. Auch in einigen — aber nicht allen — späteren Epochen wurde Öl gebildet, beispielsweise auch in der „geologischen Neuzeit“ der Erde, dem sogenannten Tertiär.

Verständlicherweise findet man niemals Öl in den vulkanischen Eruptivgesteinen, die sich aus feurig-flüssigen lavaähnlichen Massen gebildet haben. Vielmehr kann man nur in Sedimentgesteinen mit Aussicht auf Erfolg nach Öl bohren. Als Sediment- (Ablagerungs-) Gesteine bezeichnet man solche, die sich bei normaler Temperatur (meist unter Vermittlung des Wassers) an ihren gegenwärtigen Orten abgesetzt haben, beispielsweise Sandstein und Kalk.

Man stellt sich heute also die Bildung des Öls etwa in folgender Weise vor: In den Meeren tummeln sich Billionen Tiere. Bei Veränderungen im Bau der Erdoberfläche, die sich über lange Zeiträume erstrecken, verwandeln sich Meere in Landstrecken — sie versanden. Erde füllt die See auf oder deckt sie zu und schließt dabei gewaltige Mengen ehemals lebender Substanz ein. Da die Luft keinen Zutritt hat, sind die Tier- und Pflanzenleichen zwar der Zersetzung unterworfen, aber sie können sich nicht bis zu Kohlensäure und Wasser oxydieren. Die chemischen Umwandlungen, die oft unter Einwirkung erhöhter Temperatur und erhöhten Druckes verlaufen, führen vielmehr hauptsächlich zu *Kohlenwasserstoffen*; das sind bekanntlich Verbindungen, die in ihren Molekülen ausschließlich Kohlenstoff und Wasserstoff aufweisen. Die Kohlenwasserstoffe des Rohöls entstammen wohl in erster Linie den Fetten, die ja gerade in Fischen reichlich vorkommen. Neben den Kohlenwasserstoffen enthalten aber die Öle auch Sauerstoff- und Stickstoffverbindungen. Die letzteren dürften sich hauptsächlich aus dem Eiweiß gebildet

haben. Bei diesen komplizierten Zersetzungs Vorgängen dürften Gesteine, zum Beispiel Tone, reaktionsbefördernd („katalytisch“, siehe Seite 166) gewirkt haben.

Es darf uns unter diesen Umständen nicht wundern, daß das Erdöl von verschiedenen Fundstellen seiner chemischen Natur nach außerordentlich große Unterschiede aufweist. Das spezifische Gewicht kann 70 Prozent, aber auch 100 Prozent von dem des Wassers betragen. Das Öl kann die verschiedensten Farben aufweisen; es kann blaß, grün, rot oder nahezu schwarz sein. Sein Gehalt an flüchtigen Bestandteilen ist auch sehr veränderlich: manche Öle bestehen hauptsächlich aus leichtflüchtigen benzinartigen Kohlenwasserstoffen, andere wieder enthalten sie nur zu Bruchteilen eines Prozents. Auch der Gehalt des Öls an sogenannten aromatischen Verbindungen, an Verbindungen, die sich vom Benzol ableiten, ist äußerst verschieden. Jedes Öl hat also seine eigene „Physiognomie“.

Heute sind die meisten Anstrengungen bei der Verarbeitung des Öls auf die Gewinnung von *Benzin* gerichtet. Man beschränkt sich dabei keineswegs darauf, das Benzin, das schon von Natur aus darin enthalten ist, möglichst vollständig aus dem Öl herauszuholen. Vielmehr will man möglichst viele sonstige Bestandteile des natürlichen Öls durch besondere chemische Umwandlungen in Benzin überführen.

Über die sich daraus ergebenden Probleme gibt es eine ungeheure wissenschaftlich-technische Literatur. Der Wert der Anlagen zur Durchführung dieser chemischen Reaktionen beläuft sich wahrscheinlich auf hunderte Milliarden Schilling. Gerade in den letzten Jahrzehnten sind riesige Raffinerien gebaut worden, von denen jede einzelne mehrere Millionen Tonnen Öl (!) im Jahr verarbeiten kann. Eine dieser Raffinerien ist das heute so bekannte Werk von Abadan in Südpersien.

In diesen Werken wird eine verwirrende Vielfalt chemischer Reaktionen durchgeführt. An dieser Stelle sollen nur zwei Gruppen von Reaktionen herausgegriffen werden, die besonders charakteristisch und auch praktisch besonders wichtig sind. Es handelt sich einerseits um das *Kracken*, andererseits um das *Polymerisieren* des Öls. Das Wesen dieser beiden Gruppen von Reaktionen läßt sich — wenn auch stark schematisiert — leicht verständlich machen.

Ein großer Teil der Kohlenwasserstoffe der meisten natürlichen Öle besteht aus den sogenannten *Paraffinen*. Das sind Verbindungen, deren Moleküle im einfachsten Fall wie Perlschnüre aussehen, deren Schließen geöffnet sind. In jedem dieser Moleküle ist eine größere oder kleinere Zahl von gleichartigen Atomgruppen „aufgefädelt“; dabei besteht jede Atomgruppe aus einem Kohlenstoff- und zwei Wasserstoffatomen, hat also die Formel CH_2 . Das ganze Molekül kann aus ganz wenigen solchen Gruppen bestehen, manchmal sogar nur aus zwei oder drei, oder es kann viele solche Gruppen enthalten — viele Dutzend.

Es ist nun eine alte Erkenntnis, daß gleichartig gebaute Stoffe um so leichter verdampfen, also um so flüchtiger sind, je kleiner die Moleküle sind. Schwere Moleküle sind eben zu schwerfällig! Daher sind die kürzesten dieser perlenschnurartig gebauten Moleküle so flüchtig, daß sie normalerweise schon als Gase auftreten, zum Beispiel *Propan* und *Butan*. Haben die Moleküle mittlere Länge, so sind die Stoffe zwar unter Normalbedingungen noch flüssig, verdampfen aber leicht. Sie eignen sich dann für den Betrieb eines Vergasers. Das sind die *Benzine*. Wenn die Moleküle aber sehr lange werden, so verdampfen die Stoffe schon so schwer, daß die Kohlenwasserstoffe nur mehr einen Dieselmotor betreiben können; in diesen Motor werden sie flüssig eingespritzt. Sind die Moleküle noch länger, so sind sie schließlich überhaupt für die Verwendung in Explosionsmotoren ungeeignet.

Man scheidet nun aus dem Rohöl das schon vorhandene Benzin durch Destillation ab. Um aber die Ausbeute an Benzin weiter zu steigern, muß man offenbar die allzu kleinen Moleküle zu größeren Molekülen verbinden und andererseits die allzu großen Moleküle zu kleineren Molekülen zerschlagen. Die erste Reaktion wird als *Polymerisation*, die zweite als *Krackung* bezeichnet. Beide Reaktionen erfolgen bei stark erhöhter Temperatur, zum Beispiel bei 500 oder 600 Grad, und in vielen Fällen bei Hochdruck. Auch kann man beide Reaktionen durch sogenannte *Katalysatoren* beschleunigen. Das sind Stoffe, die man dem Öl beimengt oder durch die man das Öl hindurchfließen läßt und die die erwünschten Reaktionen erleichtern. Diese Reaktionsvermittler, die eine ausgedehnte Oberfläche besitzen

müssen, werden dabei selbst nicht verbraucht, sondern können immer wieder von neuem in den Produktionsprozeß zurückgeführt werden. Beispielsweise können in diesem Falle gewisse Tone als Katalysatoren verwendet werden. Der Kohlenstoff (Petroleumkoks), der sich unvermeidlich als Produkt von Nebenreaktionen an den Teilchen des Katalysators absetzt und ihn umhüllt, muß von Zeit zu Zeit immer wieder weggebrannt werden; die dabei gewonnene Hitze kann den ganzen Energiebedarf der Anlage decken. Die Fabriken sind weitgehend automatisiert und laufen kontinuierlich.

Nun wird aber die Güte eines Benzins keineswegs bloß durch seine Flüchtigkeit bestimmt. Bekanntlich gibt es da noch eine Kennziffer, die gerade bei der Verwendung des Benzins für Hochleistungsmotoren mit starker Gaskompression, beispielsweise Flugzeugmotoren, von großer Bedeutung ist. Das ist die berühmte *Oktanzahl*. Man findet nämlich, daß Benzine verschiedener Herkunft je nach ihrer chemischen Zusammensetzung ganz verschiedene „Klopffestigkeit“ besitzen. So haben manche Benzine die unangenehme Eigenschaft, mit der zugesetzten Luft bei der Zündung nicht ruhig und gleichmäßig abzubrennen, sondern wie ein Sprengstoff zu detonieren — der Motor „klopft“. Dieses „Klopfen“ ist für den Motor äußerst schädlich und setzt auch seine Leistung herab. Der Benzinmotor soll nämlich in Wirklichkeit gar nicht als *Explosionsmotor*, sondern als *Verbrennungsmotor* arbeiten.

Beispielsweise haben die genannten „geraden“ Perlschnurmoleküle (geraden Paraffine) nur geringe Klopffestigkeit, sie detonieren also leicht. Dagegen sind die sogenannten verzweigten Paraffine klopffest. Ihre Moleküle bestehen im wesentlichen aus den gleichen Atomgruppen (CH_2) wie die Perlschnurmoleküle, aber sie spalten sich in Zweige auf, das heißt sie haben drei oder sogar vier Enden. Ein solcher Kohlenwasserstoff ist das bekannte *Isooktan*, kurz als *Oktan* bezeichnet, das nach Übereinkunft den Gradmesser der Klopffestigkeit darstellt. Man schreibt dem reinen Isooktan die Klopffestigkeit 100 zu und kann dann allen Benzinen eine Vergleichszahl verleihen. Modernes Flugzeugbenzin hat Oktanzahlen von mehr als 100, es ist also dem Isooktan noch überlegen. Dagegen liegt die Oktanzahl von gewöhnlichem Autobenzin meist um 60 oder 70.

Glücklicherweise haben die Treibstoffe, die sich beim Kracken und vor allem beim Polymerisieren ergeben, besonders hohe Oktanzahlen.

Aromatische, sich vom *Benzol* ableitende Kohlenwasserstoffe, zum Beispiel das Benzol selbst, sind auch recht kloppfest. Es gibt auch Verfahren zur Umwandlung der geraden Paraffine (Perlschnüre) in „Aromaten“. In diesen sind die Moleküle ringförmig gebaut, so wie eine Perlschnur, deren SchlieÙe geschlossen ist und die den Hals ziert. Diese Erkenntnis danken wir dem deutschen Chemiker *August Kekulé*. Dieser hatte lange der Formel des Benzols nachgegrübelt, die seinen merkwürdigen chemischen Eigenschaften gerecht werden sollte. Er kam aber auf keinen grünen Zweig. Dann schlief Kekulé einmal im Jahre 1865 in der Sonnenhitze im ersten Stock eines Londoner Pferdeomnibus ein. Im Traum erschien ihm das widerspenstige Benzolmolekül zunächst wie eine Schlange. Dann biÙ sich die Schlange plötzlich in den Schwanz und bildete so einen Ring. In diesem Augenblick hatte Kekulé das Rätsel gelöst. Nach dem Erwachen ging er an die Ausarbeitung seiner Theorie vom Bau des Benzols, die bis zum heutigen Tag als richtig anerkannt ist...

Durch Destillieren, Kracken und Polymerisieren kann man in modernen Anlagen bis zu sechs Siebentel des Rohöls in Benzin umwandeln. Dennoch sind wir von einer rationellen Verwertung der Ölschätze weit entfernt. Schon *Mendelejew* hat sich im vorigen Jahrhundert auf das energischste dagegen gewendet, daß man das Öl bloÙ als Brennstoff und nicht als chemischen Rohstoff ansieht: „Das Erdöl ist kein Brennstoff, denn man kann auch mit Geldscheinen heizen.“

Tatsächlich lassen sich aus den Bestandteilen des Öls (wie auch des Erdgases) zahllose wertvolle Stoffe billig herstellen. Zu ihnen gehören beispielsweise Glycerin, Azeton, Alkohol sowie auch Ausgangsmaterialien zur Erzeugung von Kunstkautschuk, plastischen Massen, Textilfasern und Waschmitteln. Obwohl die „petrochemische“ Industrie in den letzten Jahren einen stürmischen Aufschwung genommen hat, verwertet sie noch immer nicht einmal ein Prozent der Weltölgewinnung. Es kommt ihr aber die wichtige Aufgabe zu, die Ernährungsgrundlage der Menschheit zu verbessern, indem sie uns teilweise von der Notwendigkeit befreit, Ackerfläche zur Erzeugung industrieller Rohstoffe zu verwenden.

Methan — Freund und Feind

Von der Schulzeit her ist manchem in Erinnerung geblieben, daß das *Methan* auch als *Gruben-* oder *Sumpfgas* bezeichnet wird. Aber man muß kein Bergmann sein oder an einem Sumpf wohnen, um mit dem Methan in Berührung zu kommen. Wenige Gase haben für unsere Zivilisation eine ähnliche Bedeutung gewonnen wie das Methan. Gewiß besitzt die Jahresproduktion keines anderen technischen Gases einen derartigen wirtschaftlichen Wert wie die des Methans.

Das Methan ist, chemisch betrachtet, der Kohlenwasserstoff mit dem allereinfachsten Bau. Kohlenwasserstoffe sind die Verbindungen von Kohlenstoffatomen mit Wasserstoffatomen; sie enthalten sonst keine Atome im Molekül. Das Methan nun besteht aus bloß einem Kohlenstoffatom, um das vier Wasserstoffatome symmetrisch gruppiert sind. Die chemische Formel des Methans lautet daher CH_4 . Die ganze Anordnung des Methanmoleküls ist so stabil, daß es gar nicht leicht ist, es zu zerstören, also Methan zu zersetzen. Ganz im Gegenteil — Methan bildet sich besonders leicht aus anderen Stoffen, die Kohlenstoff und Wasserstoff enthalten. Darin liegt die wirtschaftliche Bedeutung des Methans. Das Methan ist das in der Natur verbreitetste Produkt der Zersetzung faulenden organischen Materials.

Der große Italiener *Volta*, nach dem das Volt benannt ist, fand im 18. Jahrhundert als erster, daß die unheimlichen Gasblasen, die sanft glucksend vom Grund der Teiche an die Oberfläche steigen, aus Methan bestehen. Dieses Sumpfgas bildet sich leicht als Stoffwechselprodukt beim Angriff von Kleinlebewesen auf abgestorbene Tier- und Pflanzenkörper. Heute beschränkt sich der Mensch nicht mehr darauf, in der Abenddämmerung den Blasen melancholisch zuzusehen und sich seine philosophischen Gedanken zu machen, sondern er fördert durch geeignete Maßnahmen die „Methangärung“

der organischen Abfallstoffe in den städtischen Abwässern und verwendet das Methan als Heizgas. Gleichzeitig geht der Rest der Abfallstoffe in eine geruchlose Form von hohem Düngewert über. Vor kurzem wurde in Inzersdorf bei Wien die erste derartige Anlage Österreichs in Betrieb gesetzt, aber andere Länder haben auf diesem Gebiet der Technik schon große Erfolge erzielt.

Die Natur hat keine Eile. So verläuft die Methangärung unter natürlichen Bedingungen langsam. Aber Leben hat es auf der Erde schon vor vielen hundert Millionen Jahren gegeben, und ungeheure Mengen von Tier- und Pflanzenleichen waren im Laufe der Zeiten der Methangärung unterworfen. So haben sich in den geologischen Zeiträumen gewaltige Mengen Sumpfgas gebildet. Ein großer Teil hiervon ist in die Luft entwichen und dort bei Waldbränden und anderen Gelegenheiten zu Kohlensäure und Wasserdampf verbrannt. Aber ein anderer Teil war von undurchlässigen Gesteinsschichten, wie Ton, bedeckt, die sich bei den Faltungen der Erdoberfläche auf die Leichen gelegt hatten. Dort haben sich die Gase unterirdisch unter Druck angesammelt; sie können erst in die Atmosphäre entweichen, wenn die „Gasdome“ angebohrt werden. Das herauszischende Gas ist das berühmte *Erdgas*.

Mit dem Erdgas füllen wir die Stahlflaschen der für diesen Betriebsstoff eingerichteten Autos. Ein Kubikmeter Gas bei Normaldruck ersetzt ungefähr einen Liter Benzin. Wir heizen auch mit dem Erdgas Kessel, wie dies im Kraftwerk Neusiedl an der Zaya in Niederösterreich geschieht. Schließlich — und das ist die wichtigste Verwendung — mischt man das Erdgas dem Kohlengas der Gaswerke zu. In geringem Maße kann dies ohne weiteres geschehen. Wollte man aber den Haushalten Gas mit hohem Erdgasgehalt zu-leiten, so müßte man alle Gasherde neu einstellen, da die Verbrennung des Erdgases mit anderer Geschwindigkeit als die des Kohlengases verläuft. Diese Umstellung wäre teuer und kompliziert. Deshalb unterwirft man das Erdgas lieber gewissen nicht kostspieligen chemischen Umwandlungen, bevor man es dem Kohlengas beimengt. Das entstehende Mischgas verbrennt wie Kohlengas.

In manchen anderen Ländern hat sich die Verwendung des Erdgases noch viel stärker durchgesetzt. Der Gasbedarf Moskaus wird

zu einem großen Teil durch Erdgas aus dem Wolgagebiet gedeckt, jener Kiews durch Gas aus den Vorbergen der Karpaten. Auch in Rumänien wird Erdgas in großem Maßstab verwendet. Schließlich wurden in den letzten Jahren riesige Lagerstätten von Erdgas in Oberitalien entdeckt. Diese Energiequelle hat für die hochindustrialisierte Po-Ebene und Ligurien (Genua) enorme Bedeutung, da sie bisher unter einem Mangel an einheimischen Brennstoffen litten. Ein weitverzweigtes Netz von Rohrleitungen ist im Entstehen. Die Fiatwerke in Turin haben sich schon ganz auf Erdgas umgestellt.

Chemisch und seiner Entstehungsgeschichte nach ist das Erdgas mit dem Erdöl eng verwandt, und das Gas begleitet oft das Öl (siehe *Abbildung 24*, Seite 163). Aber nicht immer wird mit dem Öl zugleich auch das Gas gewonnen. Aus den immens reichen Ölfeldern des Nahen Ostens (Iran, Irak, Arabien) führen ausländische Ausbeuter das Öl fort, kümmern sich aber nicht um die Versorgung der Erzeugungsländer mit billiger Energie oder um eine Schonung ihrer Energie-reserven. So werden dort auch heute noch gewaltige Gasmengen rücksichtslos in die Luft gejagt.

Die Verheizung ist nicht die einzig mögliche Verwendung des Methans. Statt nämlich das Methan durch Verbrennung gänzlich mit Sauerstoff zu verbinden, bis sich nur mehr Wasserdampf (H_2O) und Kohlensäure (CO_2) ergeben, kann man das Methan auch nur *teilweise* mit Sauerstoff verbinden, also teilweise oxydieren. Dabei entstehen wertvolle sauerstoffhaltige Produkte wie *Methylalkohol* und *Formaldehyd*. Der Methylalkohol (das Methanol) ist ein wichtiges Lösungsmittel für organische Stoffe aller Art, beispielsweise Lacke, der Formaldehyd ein Rohstoff zur Herstellung von plastischen Massen (Kunstharzen). Schließlich kann man dem Methan auch den Wasserstoff gänzlich entziehen und den Kohlenstoff in reiner elementarer Form gewinnen. Das ist dann der wertvolle, weil oberflächenreiche *Gasruß*. Er dient zum Beispiel in Mischung mit Kautschuk zur Erzeugung von Gummiwaren (Fahrrad- und Autoreifen). Durch den Rußzusatz spart man nicht nur Kautschuk, sondern der Kautschuk wird auch in seinen Eigenschaften veredelt. Umgekehrt kann man es auch so einrichten, daß der Kohlenstoff allein verbrennt und der übrigbleibende freie Wasserstoff chemisch verwertet wird.

Aber auch das Kohlengas selbst besteht zu sehr großem Teil aus Methan. Es wird in Gaswerken als *Leuchtgas* und in Kokereien als *Koksofengas* durch Erhitzung der Steinkohle ohne Luftzufuhr erzeugt. Wieder drückt sich die besondere chemische Stabilität des Methans darin aus, daß es sich bei dieser groben Behandlung bevorzugt bildet. In langsamem Tempo wird die gleiche Zersetzung der Kohle bzw. ihrer Vorläufer durch die Natur selbst durchgeführt, indem Holz im Laufe der Jahrmillionen auf dem Weg über Torf, Braunkohle, Steinkohle in Anthrazit übergeht. Dabei sammelt sich das Methan als Grubengas in den Flözen an.

Gasausbrüche in Kohlengruben sind bekanntlich leider keine Seltenheit. Enthält die Luft zwischen drei und sieben Prozent Methan, so ist sie explosiv. Der kleinste Funke kann eine *Schlagwetterkatastrophe* herbeiführen. Zur Entfernung des Methans belüftet (bewettert) man die Gruben. Dann geht das stark mit Luft verdünnte Gas einfach verloren. Vorzuziehen ist natürlich die Gewinnung des Methans. Diese erfolgt in großem Maßstab zum Beispiel im Saarland, wo die vielen Kohlengruben durch ein ganzes Netz von Rohrsammelleitungen miteinander verbunden sind. Das auf diese Weise gewonnene Methan wird dann unter anderem zum Betrieb von Kraftwerken verwendet.

Die Gewinnung des Gases aus der Kohlengrube erfordert hohes technisches Können und große Erfahrung. Das Problem wurde auch erst in neuerer Zeit gemeistert. Oberhalb des Flözes werden Löcher in den Fels gebohrt, durch die das Gas mit Hilfe schwachen Unterdruckes abgesaugt wird. Man rechnet also damit, daß das Gas durch die Spalten des Flözes in den darüberliegenden Fels einsickert. Um lohnende Mengen Gas zu erhalten, muß man aber wissen, wo die Abzuglöcher zu bohren sind. Die Gasmenge, die pro Tag aus einer größeren Grube abgezogen wird, kann an Heizwert vielen Waggonladungen Steinkohle entsprechen. Überdies liegt der Brennstoff dann in einer Form (als Gas) vor, in der er sich leicht und billig transportieren läßt.

Bei dieser Gelegenheit sei auch darüber berichtet, daß man heute in verschiedenen Ländern neue Transportverfahren für Kohle untersucht. Man will die Kohle nicht mehr in Schiffen oder Waggonen ver-

frachten, die in kostspieliger Weise beladen und entladen werden müssen. Nach dem neuen Verfahren wird Kohle, deren Stückgröße bis zu fünf Zentimeter betragen kann, im Wasser aufgeschlemmt und durch Rohrleitungen gepumpt. Die hierbei verwendeten Geräte arbeiten nach ähnlichen Prinzipien wie die in der Sowjetunion bei den Großbauten des Kommunismus so viel verwendeten Erdpumpen (Saugbagger). Es scheint durchaus möglich zu sein, Kohle nach diesem Verfahren billig über hunderte Kilometer zu transportieren.

Zweifellos ist bisher nur ein Bruchteil aller Methanlagerstätten aufgefunden worden. Besonders — aber keineswegs ausschließlich, wie die Beispiele Österreichs und Italiens zeigen — in unentwickelten und wenig erforschten Ländern ist noch mit wichtigen Methanfunden zu rechnen. Andererseits wird man lernen, das Methan immer rationeller zu verwerten. Aus diesen Gründen wird die Bedeutung des Methans für das menschliche Leben weiter zunehmen.

Gas aus dem Flöz

Die Fortschritte der Wissenschaft haben die Verwirklichung eines Projektes näher gerückt, das der Menschheit einen Teil der unangenehmsten und gefährlichsten Arbeiten abnehmen würde. Es handelt sich darum, an Stelle der Gewinnung von Kohle direkt brennbares Gas zu gewinnen. Das Gas würde durch unvollständige Verbrennung der Flöze an Ort und Stelle erzeugt werden. Dieses Verfahren würde es den Bergleuten ersparen, einen Großteil ihrer Tage in der Finsternis zubringen zu müssen, und es würde sie und ihre Angehörigen von der Angst vor Grubenkatastrophen befreien.

Schon vor hundert Jahren wurde die unterirdische Kohlevergasung diskutiert. Der Mitbegründer des wissenschaftlichen Sozialismus *Friedrich Engels* interessierte sich lebhaft für das Problem und besprach die Verfahrensgrundlagen mit seinem engen Freund, dem Chemiker *Schorlemmer*. Im Jahre 1888 setzte sich der große Chemiker *Mendelejew* energisch für den Gedanken ein.

Aber erst in unserer Zeit wurden die ersten Großversuche angestellt. Im Jahre 1932 errichtete man in Gorlowka in der Ukraine die erste Versuchsanlage. In den Vierzigerjahren nahmen auch die Vereinigten Staaten, England und Belgien Versuche auf.

Selbst heute kann die Wirtschaftlichkeit solcher Verfahren noch nicht als gesichert betrachtet werden. Immerhin wirken der technische Fortschritt, der wachsende Brennstoffhunger und die Zunahme der Zahl von erschöpften Kohlengruben dahin, daß die Frage sogar in kapitalistischen Ländern immer mehr Interesse findet. Natürlich spielt für die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens die Lohnhöhe der Bergleute eine wesentliche Rolle. Je höher die Bergarbeit zu stehen kommt, desto eher sind die Unternehmer zur Berücksichtigung der Vorteile der unterirdischen Kohlevergasung bereit.

Vom chemischen Standpunkt aus liegt das Problem einfach. Die Erfahrung zeigt, daß man das Flöz durch eine Brandbombe zünden kann. Dann pumpt man genug Luft ein, um das entzündete Flöz in Brand zu erhalten. Die Menge Luft darf aber nicht zur völligen Verbrennung der Kohle ausreichen. Dann bildet sich neben dem unvermeidlich doch auftretenden Kohlendioxyd (der Kohlensäure CO_2) vor allem Kohlenmonoxyd (CO), das typische Produkt der unvollständigen Verbrennung der Kohle. Dieses Kohlenmonoxyd (oder einfach Kohlenoxyd) stellt auch einen Hauptbestandteil unseres Leuchtgases dar; es verleiht ihm übrigens seine Giftigkeit.

Neben Kohlendioxyd und Kohlenmonoxyd enthält das unterirdisch gewonnene Gas natürlich viel unbrennbaren Stickstoff, da ja Luft eingeblasen worden war, und schließlich verschiedene Wasserstoffverbindungen. Um den Stickstoff auszuschalten, kann man statt der Luft reinen Sauerstoff verwenden. Der Heizwert des Gases ist je nach den Verhältnissen äußerst verschieden. Er kann bei Verwendung von Luft ein Fünftel oder auch nur ein Zwanzigstel des Heizwertes von normalem Stadtgas ausmachen. Das Gas ist also sehr „verdünnt“. Doch ist sein Volumen groß und es enthält daher in der Praxis zwei Drittel des gesamten Heizwertes der im Flöz befindlichen Kohle.

Im Haushalt wird das „Berggas“, wenn wir es so nennen wollen, wegen seiner geringen und wechselnden Qualität das übliche Stadtgas nicht direkt ersetzen können. (Man könnte das Berggas allerdings mit Stadtgas oder noch besser mit dem sehr energiereichen Erdgas vermischen.) Auf jeden Fall kann man das Berggas als Brennstoff für Dampfkessel oder Verbrennungsmotoren verwenden. Zum Beispiel lassen sich Gasturbinen ganz gut mit energiearmem Gas füttern. Man wird also zweckmäßig mit dem Berggas an Ort und Stelle ein Kraftwerk betreiben.

Zunächst wird man natürlich nicht gerade reiche und abbauwürdige Flöze auf unterirdische Vergasung umstellen. Vielmehr wird man mit armen, steilen, wenig mächtigen oder erschöpften Flözen beginnen, die unter den heutigen Verhältnissen überhaupt unverwertbar sind. Dann könnte man auch daran denken, durch unterirdische Vergasung Kohle zu erschließen, die so tief unter der

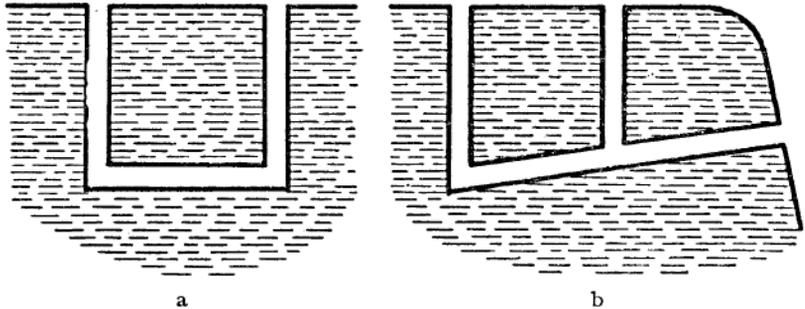


Abbildung 25

So werden Schächte und Stollen für unterirdische Kohlenvergasung angelegt.

- a ... Anlage des Horizontalstollens vom Grund der Schächte aus;
 b ... Anlage des Stollens von außen.

Oberfläche liegt, daß der Abbau aus diesem Grund unwirtschaftlich wäre.

Das Einblasen der Luft und die Gewinnung des Gases können durch zwei parallele lotrechte Schächte erfolgen, die unterirdisch durch einen waagrechten Stollen verbunden sind (*Abbildung 25a*). Der Stollen wird dann meistens von der Sohle des Schachtes aus gegraben werden. Einfacher ist es, wenn alle Bohrungen von der Oberfläche aus erfolgen können, wie dies unsere *Abbildung 25b* zeigt. In diesem Falle wird der Eingang des Verbindungsstollens wieder verstopft, nachdem die Verbindung zwischen den beiden Schächten hergestellt worden ist. Schließlich könnte man auch einfach zwei Schächte schräge von der Oberfläche aus bohren, die einander dann in einer gewissen Tiefe treffen.

Nach einer anderen, sehr interessanten Methode verzichtet man auf das Graben oder Bohren einer unterirdischen Verbindung. Man preßt dann die Luft anfangs unter so hohem Druck (viele Atmosphären) in den einen Schacht ein, daß sie sich durch unterirdische Spalten und Sprünge selbst einen Weg zum zweiten Schacht bahnt und dabei diese Spalten und Sprünge hinreichend dehnt. Es klingt unglaublich, aber Rechnung und Praxis haben die Durchführbarkeit des Verfahrens bewiesen.

Im Laufe des Betriebs, also beim Abbrennen des Flözes, erweitert sich natürlich allmählich die unterirdische Verbindung zwischen den beiden Schächten. Schließlich läßt sich nicht mehr vermeiden, daß die eingepumpte Luft zum Teil durchströmt, ohne mit dem Flöz in Berührung zu kommen. Der Heizwert des Berggases beginnt dann abzusinken. Sobald er einen gewissen Wert unterschreitet, muß der Betrieb unterbrochen und das Flöz in anderen Teilen angebohrt werden.

Die Zeit für intensive Forschungsarbeit auf dem Gebiet der unterirdischen Kohlevergasung ist gekommen. Wir werden noch viel über die Strömungsformen der kalten und heißen Gase unter Tage, über die Verbrennungsgeschwindigkeiten der Flöze und über das mechanische Verhalten des Erdreiches lernen müssen, ehe wir ernsthaft Großkraftwerke auf der Grundlage von Berggas bauen können. Aber die möglichst weitgehende Ersetzung oder Ergänzung der Kohlenförderung durch Gasförderung ist gewiß den „Schweiß der Edlen“ wert.

Moleküle und Kristalle

Ist Kristallglas kristallisch?

Von der Decke des Saales hängt ein Luster, der mit blinkendem Schmuck aus „Kristall“ behangen ist. Tatsächlich aber ist das *Bleiglas*, aus dem dieses „Kristall“ besteht, einer der wenigen „festen Körper“, die in Wirklichkeit *nicht* aus Kristallen bestehen. Wenn auch fast alle festen Körper (die meisten Gesteine, alle Metalle und viele organische Stoffe, zum Beispiel Aspirin und Harnstoff) kristallisch gebaut sind, so bilden gerade die Gläser eine Ausnahme. Was ist Glas im Lichte der Atomlehre?

Echte Kristalle fallen dem Beschauer zunächst dadurch auf, daß sie schöne, glatte, ebene Oberflächen haben. Jeder hat schon die herrlichen, tiefblauen Kupfervitriolkristalle bewundert, die der Kaufmann auf dem Lande zum Spritzen der Weinstöcke feilhält. Wer ins Museum geht, findet dort in der Mineraliensammlung wunderbare, natürlich vorkommende Riesenkristalle der verschiedensten Stoffe, darunter auch von Steinsalz. Das Glas des sogenannten Kristallusters dagegen muß, eben weil es in Wirklichkeit *kein* Kristall ist, zugeschliffen werden, um schöne ebene Flächen zu erhalten.

Die regelmäßige äußere Form der Kristalle ist eine Folge ihres regelmäßigen inneren Aufbaues. In den Kristallen liegen die Atome wie die Ziegelsteine in einer Mauer gut geordnet nebeneinander. Allerdings ist keineswegs gesagt, daß die kleinste Einheit des Kristalls (entsprechend den einzelnen Ziegelsteinen der Mauer), in der also nur wenige Atome liegen, rechteckig begrenzt sein muß. In vielen Kristallen ist die kleinste Einheit, die sogenannte *Basiszelle*, durch schiefwinkelige Flächen begrenzt und sieht überhaupt ziemlich unregelmäßig aus. Da aber Millionen Basiszellen sich regelmäßig aneinanderlagern, so weist der Kristall als Ganzer doch eine regel-

mäßige Gestalt auf, wie merkwürdig die Basiszelle auch geformt sein mag.

Freilich bemerkt man die kristallische Natur zum Beispiel eines Kieselsteines oder eines Wollfadens (auch die meisten Textilfasern sind kristallisch gebaut!) nicht ohne weiteres. Das liegt daran, daß diese Körper aus Kriställchen zusammengesetzt sind, die zu klein sind, als daß sie vom menschlichen Auge als solche wahrgenommen werden könnten. Die Kriställchen, in deren Innerem die für den Kristallzustand kennzeichnende strenge Ordnung der Basiszellen herrscht, können unregelmäßig aufeinander gehäuft sein, wodurch der Eindruck des Kristalls verlorengeht.

Die Kristallnatur solcher Körper wird mit Hilfe von Röntgenstrahlen festgestellt. Diese „Röntgenuntersuchung“ eines Kristalls verläuft freilich ganz anders als die eines menschlichen Körpers. Diese beruht darauf, daß verschiedenartige Gewebe (Muskeln, Knochen usw.) die Strahlen verschieden stark *verschlucken*. Hingegen kommt es bei der Untersuchung einheitlicher Substanzen (zum Beispiel Kieselsteinen) auf kristallischen Bau nicht auf das verschluckte, sondern auf das aus der Richtung geworfene (*abgebeugte*) Röntgenlicht an. Nur wenn die Atome regelmäßig angeordnet sind, ergibt das abgebeugte Licht regelmäßige Figuren. Die physikalischen Grundlagen der Röntgenuntersuchung von Menschen und von Kristallen sind also durchaus verschieden!

Mit Hilfe der Röntgenstrahlen können auch die Abstände zwischen den Atomen in den Kristallen ziemlich (auf etwa 1 Prozent) genau bestimmt werden. Zum Beispiel beträgt der Abstand zwischen den Kohlenstoffatomen im Diamanten anderthalb, der zwischen den Goldatomen im Metall 2,9 Ångström-Einheiten (hundertmillionstel Zentimeter).

Anders als in Kristallen sind die Atome in *Flüssigkeiten* gelagert. Zwar können sich die Atome auch in diesen — wie in Festkörpern, aber im Gegensatz zu Gasen — nicht ohne weiteres wesentlich voneinander entfernen. Der durchschnittliche Abstand der Atome und daher auch die Dichte dieser Körper sind infolgedessen fast unveränderlich. Aber die Lage der Atome wechselt ständig; sie sind leicht gegeneinander verschieblich. Es existiert also — im Gegensatz zu

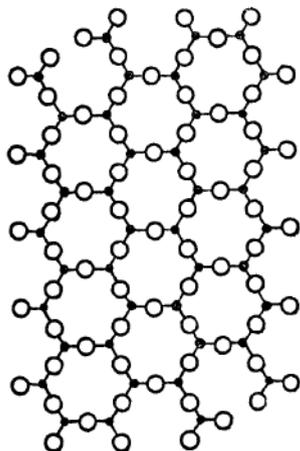


Abbildung 26

*Regelmäßige Anordnung der
Atome in Kristallform.*

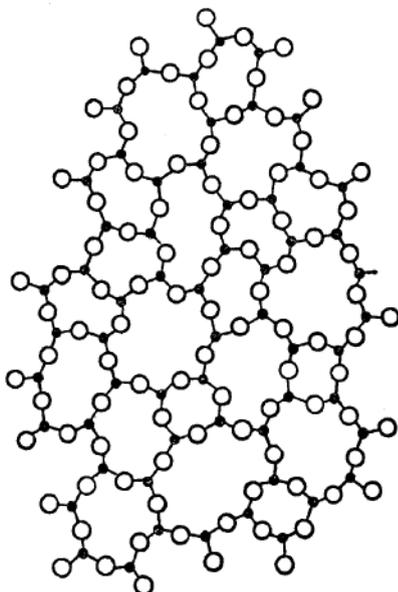


Abbildung 27

*Unregelmäßige Anordnung der Atome
des gleichen Stoffes in Glasform
(nichtkristallisch).*

den Kristallen — keine innere Ordnung, kein regelmäßiges und beständiges Kristallgitter. Deshalb können Flüssigkeiten *fließen*. Beim Schmelzen (beim Übergang vom festen in den flüssigen Zustand) verlieren die Kristalle, wie man auch mit Röntgenstrahlen feststellen kann, plötzlich (sprunghaft) ihre innere Ordnung.

In Hinsicht auf ihren inneren Aufbau stehen nun die Gläser den Flüssigkeiten näher als den Kristallen (*Abbildungen 26 und 27*). Auch in Gläsern — wie in Flüssigkeiten — kann man nie mit Sicherheit voraussagen, in welcher Richtung und in welcher Entfernung sich die nächsten Nachbarn eines bestimmten individuellen Atoms befinden werden. Nur Durchschnittswerte lassen sich angeben. Die Gläser sind, wie man auch sagt, nicht kristallisch, sondern *amorph*

(das heißt „ohne Gestalt“, nämlich ohne regelmäßige Anordnung der Atome). Aus diesem Mangel an Regelmäßigkeit lassen sich manche charakteristische Eigenschaften der Gläser verstehen.

Wieso aber macht dann das Glas dem Beschauer doch den Eindruck eines festen Körpers und nicht den einer Flüssigkeit? Der Grund dafür liegt in der enormen *Zähigkeit* (*Viskosität*) der Gläser. Schon die gewöhnlichen Flüssigkeiten unterscheiden sich gewaltig voneinander durch den Grad ihrer Viskosität. So ist Honig unvergleichlich zäher als Wasser und fließt daher durch enge Öffnungen nur langsam aus. Auch der Bewegung von Körpern in seinem Inneren bietet Honig größeren Widerstand; beispielsweise sinken schwere Körper (Löffel) in Honig nur äußerst langsam zu Boden. Die Viskosität der Gläser aber ist noch unvergleichlich größer als die des Honigs — um eine Zahl mit vielen Nullen. Die Viskosität kann aber dennoch gemessen werden!

Mit steigender Temperatur nimmt die Viskosität jeder Flüssigkeit (mit einer einzigen Ausnahme, die im folgenden Aufsatz behandelt wird) rasch ab. So auch die Viskosität des Glases. Das Glas wird also beim Erhitzen allmählich zähflüssig und kann schließlich sogar gegossen oder „geblasen“ werden. Da aber das Glas seinem *inneren Aufbau* nach schon bei Zimmertemperatur als eine Flüssigkeit betrachtet werden kann, bedarf es natürlich zur Verflüssigung des Glases keines eigentlichen Schmelzvorganges. Der Übergang: Glaszustand — flüssiger Zustand, die Erweichung des Glases, erfolgt vielmehr ganz allmählich. Darin liegt ein wesentlicher Unterschied gegenüber den kristallisch gebauten Körpern, die alle einen ganz bestimmten *Schmelzpunkt* zeigen — zum Beispiel Eis bei null Grad oder metallisches Silber bei 960 Grad. Das gilt auch dann, wenn der kristallisch gebaute Körper aus winzigen Kriställchen besteht.

Auch andere Eigenschaften des Glases können durch die fehlende Ordnung der Atome erklärt werden. Seine besondere *Durchsichtigkeit* kommt daher, daß im Innern des Körpers keine Kriställchen vorhanden sind, an deren ebenen Begrenzungsflächen das Licht immer wieder zurückgeworfen werden würde. Infolge einer solchen unzählige Male wiederholten Reflexion muß das Licht innerhalb eines aus vielen — wenn auch an sich durchsichtigen — Kriställchen

aufgebauten Körpers einen so langen Weg zurücklegen, daß von dem Licht, das bei jeder Einzelreflexion an Intensität verliert, schließlich nichts mehr übrigbleibt. Das beobachten wir etwa an einem Stück Würfelzucker, der ganz undurchsichtig ist, obwohl das Zuckermolekül als solches Licht nur sehr wenig verschluckt. (Dies erkennt man zum Beispiel daran, daß Zuckerlösungen völlig farblos und durchsichtig sind.) Ein anderes Beispiel eines undurchsichtigen Körpers, der aus an sich durchsichtigen Kriställchen zusammengesetzt ist, ist ein Stück Kalkstein.

In einem kristallinen Körper sind die Atome einander näher und daher auch je Raumeinheit zahlreicher als in einem Glas gleicher chemischer Zusammensetzung — ebenso wie in einer Schachtel mehr Bausteine Platz finden, wenn sie geordnet als wenn sie geschüttet werden. Daher haben alle Gläser infolge der zwischen den Atomen wirkenden Anziehungskräfte eine gewisse Tendenz, unter Energie- (Wärme-) Abgabe allmählich in den kristallisierten Zustand überzugehen. Dieser Vorgang wird als *Entglasung* bezeichnet und ist in der Technik durchaus unerwünscht, da dabei die charakteristischen Eigenschaften des Glases verlorengehen. Kristallisiertes Glas wird — wie ein Würfel Zucker — blind.

Bei Zimmertemperatur ist die Entglasungsgeschwindigkeit des gewöhnlichen Fensterglases wegen seiner enormen Zähigkeit selbst dann gering, wenn sich irgendwo im Inneren des Glases „*Kristallisationskeime*“, also winzige Kriställchen gebildet haben, an die sich weitere Atome verhältnismäßig leicht anlagern können. Bei höherer Temperatur, also verminderter Zähigkeit, droht jedoch Entglasung. Sie tritt zum Beispiel ein, wenn der Glasbläser das Glas zu lange in der Flamme beläßt.

Das gewöhnliche Flaschen- und Fensterglas wird durch Zusammenschmelzen von Kieselsäure, Kalk und Soda erzeugt und enthält daher hauptsächlich die Elemente Silizium, Kalzium, Natrium und Sauerstoff. Es gibt aber auch Gläser ganz anderer Zusammensetzung, ja sogar *organische* (kohlenstoffhaltige) *Gläser*. Zu diesen gehören die *Kunstharze* (plastische Massen), zum Beispiel Polystyrol (Trolitul), Polyvinylchlorid (PVC), Bakelit, Pollopas und Perspex. Die organischen Gläser zersetzen sich natürlich schon weit unterhalb

der Temperatur der Rotglut und können daher nur bei mäßiger Wärme verformt werden.

An manchen Stellen der Erdoberfläche findet sich *natürliches mineralisches Glas*, zum Beispiel unter den Auswürflingen der Vulkane. Auch hat man in Böhmen weit verstreut die Moldawite, in Australien die Australite gefunden, die Flaschenscherben nicht unähnlich sind. Es dürfte sich bei ihnen um Trümmer von Glasmeteoriten handeln, da diese Minerale keine Beziehung zu der geologischen Struktur der Fundstätte zu haben scheinen.

Künstliches Glas wurde schon vor 4500 Jahren von den Ägyptern erzeugt. Die Phönizier, später die Venezianer (besonders auf der Laguneninsel Murano) waren Meister der Glasmacherei. In der Neuzeit haben vor allem Böhmen und Mitteldeutschland einen hohen Ruf erworben, der zum Teil in der besonderen Reinheit der verwendeten Rohstoffe begründet ist.

Sehr anspruchsvoll hinsichtlich der Glasqualität ist die optische Industrie, da die von ihr verwendeten Gläser nur wenig Licht verschlucken dürfen und auch besonderen Anforderungen in bezug auf die Lichtbrechung genügen müssen. Die Glasmacherei für optische Zwecke wurde durch *Schott* in Thüringen (*Jenaer Glas*) zu einer Wissenschaft erhoben. Schott verlieh als erster dem Glas durch systematische Regelung seiner chemischen Zusammensetzung in einem weiten Bereich alle erwünschten Eigenschaften. Heute ist das Werk („Schott und Genossen“) Volkseigentum der Deutschen Demokratischen Republik.

Eine der wichtigsten Glasarten ist das *Pyrexglas*, in dem die Kieselsäure zum Teil durch *Borsäure* ersetzt ist. Dieses Glas zeichnet sich durch Härte, chemische und mechanische Widerstandsfähigkeit und hohe Hitzebeständigkeit aus; schließlich auch dadurch, daß es sich bei Erwärmung im gleichen Maße wie Wolframdraht ausdehnt, so daß dieser in Pyrexglas eingeschmolzen werden kann. Man kann so den elektrischen Strom in luftleere Glasgefäße (Röhren und dergleichen) einführen.

Ebenfalls sehr wichtig, aber teurer, ist das *Quarzglas*, das bei besonders hoher Temperatur aus reiner Kieselsäure (Quarzsand) erschmolzen wird. Quarzglas ändert seine Abmessungen mit wech-

selnder Temperatur so wenig, daß man es weißglühend in kaltes Wasser werfen kann, ohne daß es springt. Wegen seiner Durchlässigkeit für ultraviolette Strahlung (UV) dient es zum Bau von *Quarzlampen*, während gewöhnliches Fensterglas Ultraviolett verschluckt. Allerdings muß als Rohstoff für Quarzglas, das *optischen Zwecken* dienen soll, der besonders teure Bergkristall dienen. Das aus Sand gewonnene Quarzglas ist nämlich unvermeidlich von Luftblasen durchsetzt, die es trüben.

Es gibt auch ein Spezialglas, das zwar ultraviolettes, aber kein sichtbares Licht durchläßt. Dieses Glas erscheint uns also gänzlich schwarz. Fallen aber die durchgelassenen ultravioletten Strahlen auf fluoreszierende Stoffe, die ultraviolettes in sichtbares Licht umwandeln, so leuchten diese Stoffe gespenstisch auf. Da viele Stoffe in kennzeichnenden Farben, wenn auch schwach, zu fluoreszieren vermögen, wird UV-Licht bei Materialuntersuchungen verwendet. Beispielsweise kann man bestimmte Uranminerale, die Einsprengsel in Gesteinen bilden, durch ihre charakteristische Fluoreszenz erkennen. Ein anderes Anwendungsgebiet ist die Kriminalistik, die sich bei der Feststellung von Fälschungen auf Dokumenten der UV-Strahlen bedient.

Die seltsamste Flüssigkeit

Können Sie sich eine Flüssigkeit vorstellen, die überhaupt *keine Zähigkeit (Viskosität)* besitzt? Nein, das können Sie sicher nicht! Das konnten früher nicht einmal die Physiker, zu deren Geschäft es doch gehört, sich Unvorstellbares vorzustellen. Bis zum Jahre 1938 hielt man es für ausgeschlossen, daß es Flüssigkeiten ohne Viskosität geben sollte. Man nahm es für selbstverständlich, daß jeder Flüssigkeit, so wie wir es vom Öl, vom Wasser und vom Quecksilber her gewohnt sind, eine gewisse größere oder geringere Zähigkeit zukommen müsse.

Man kann sich die Sensation vorstellen, die die Nachricht in Kreisen der Wissenschaft erregte, daß eine gänzlich zähigkeitslose Flüssigkeit gefunden worden sei! Diese Nachricht war in zwei voneinander unabhängigen gleichzeitigen Veröffentlichungen enthalten. Sie stammten aus zwei Laboratorien, die tausende Kilometer voneinander entfernt sind, und beruhten auf den unabhängigen Arbeiten zweier verschiedener Forschergruppen. Das eine Laboratorium liegt in Moskau, das andere in Cambridge in England.

Das *Helium* ist in mancher Hinsicht ein merkwürdiges Element. Normalerweise ist es ein Gas und noch dazu ein hartnäckiges Gas. Es hat eine besondere Vorliebe für den Gaszustand. Alle Gase lassen sich verflüssigen, wenn man sie nur tief genug abkühlt. Sie erreichen dann (von oben her) ihren Siedepunkt. So wird der Sauerstoff bei minus 183 Grad Celsius und der Wasserstoff bei minus 253 Grad flüssig. Das Helium aber braucht dazu unter normalen Verhältnissen eine Temperatur von minus 269 Grad! Es gibt kein Gas, das erst bei noch tieferer Temperatur flüssig würde. Die Verflüssigung des Heliums gelang erst zu Anfang unseres Jahrhunderts in dem berühmten Kältelaboratorium in Leiden in Holland. Dieses Laboratorium

ist ein Institut der Universität, an der vor Jahrhunderten die „Leidener Flasche“ erfunden wurde.

Aber selbst wenn die Verflüssigung endlich mit Mühe und Not gelungen ist, benimmt sich das Helium noch immer nicht so, wie es sich für eine anständige, normale Substanz geziemt. Alle anderen Flüssigkeiten gehen nämlich bei weiterer Abkühlung bei einer bestimmten Temperatur, nämlich dem Gefrierpunkt, in den festen Zustand über. Dies widerfährt bekanntlich zum Beispiel unserem gewöhnlichen Wasser bei genau null Grad Celsius. Das flüssige Eisen erstarrt bei 1535 Grad. Der flüssige Sauerstoff ist — immer unter normalem Druck — bei minus 218 Grad und der flüssige Wasserstoff bei minus 259 Grad ohne weiteres zum Gefrieren zu bringen.

Aber das Helium gefriert bei normalem Druck überhaupt nicht. Das liegt nicht vielleicht daran, daß wir noch keine genügend tiefe Temperatur erreicht haben. Die tiefste vom Menschen erzeugte Temperatur ist nämlich nur mehr ein tausendstel Grad Celsius vom absoluten Nullpunkt (ungefähr minus 273 Grad Celsius) entfernt, also von der tiefsten Temperatur, die es theoretisch überhaupt geben kann. Das Helium verfestigt sich nur, wenn man es bei sehr tiefer Temperatur einem Druck von vielen Atmosphären unterwirft.

Statt sich zu verfestigen, vollführt das Helium, wenn man es bei gewöhnlichem Luftdruck immer weiter abkühlt, ein besonderes Kunststück. Bei einer bestimmten Temperatur (ungefähr minus 271 Grad) erleidet das flüssige Helium plötzlich eine ganz besondere Umwandlung. Eine derartige Umwandlung ist weder vorher noch nachher jemals an irgendeinem anderen Stoff beobachtet worden. Das normale flüssige Helium, das sich mehr oder weniger wie andere Flüssigkeiten verhält und als *Helium I* bezeichnet wird, geht bei dieser Temperatur von minus 271 Grad sprunghaft in das sogenannte *Helium II* über. Das Helium II ist gleich dem Helium I eine wasserklare Flüssigkeit. Aber auffallende Unterschiede treten zutage, wenn der Flüssigkeit mit wissenschaftlichen Geräten zu Leibe gegangen wird.

Das Helium II ist die Flüssigkeit *ohne Viskosität*. Wie stellt man das fest? Die Wissenschaft und die Technik kennen viele Verfahren zur Messung der Viskosität. Manche sind schnell, billig, einfach

und brutal und haben sich daher in der Technik durchgesetzt. Andere sind umständlicher, geben aber genaue Werte und werden daher nur im wissenschaftlichen Laboratorium angewandt. Was bedeutet *Zähigkeit* eigentlich vom Standpunkt der Wissenschaft?

Darüber hat sich als erster der große *Isaac Newton* den Kopf zerbrochen. Newton betrachtete den Widerstand der Flüssigkeiten gegen das Fließen als Zähigkeit und erklärte diesen Widerstand durch die „innere Reibung“. Beim Fließen müssen sich offenbar verschiedene Schichten der Flüssigkeit gegeneinander verschieben. Beispielsweise fließt die Flüssigkeit nahe der Achse eines Rohres schneller als die Flüssigkeit nahe der Wand, verschiebt sich daher gegen sie und reibt sich an ihr. Zur Überwindung eines solchen Reibungswiderstandes — wie jedes Reibungswiderstandes — ist *Kraft* erforderlich. Die Größe dieser Kraft wird durch das Maß der Viskosität ausgedrückt.

Wenn die Viskosität des Wassers bei Zimmertemperatur als Einheit genommen wird, beträgt die Viskosität zum Beispiel des Äthers 0,23, des Olivenöls 84, des Glycerins aber 830. Ein einfaches wissenschaftliches Gerät zur Messung der Viskosität ist nach dem großen deutschen Chemiker, dem Leipziger Professor *Wilhelm Ostwald*, benannt. Das Ostwald-Viskosimeter ist im Prinzip ein enges Glasröhrchen, das vertikal gehalten wird und durch das die Flüssigkeit aus einem Vorratsgefäß unter dem Einfluß der Schwerkraft hindurchfließt. Je zäher die Flüssigkeit, desto langsamer geht das. Die Durchflußzeit ist also ein Maß für die Viskosität.

Wenn man nun das immer äußerst kalte Helium II durch ein solches Viskosimeter-Röhrchen fließen läßt, so geht dies so wahn-sinnig schnell vor sich, daß man die Zeit überhaupt nicht mehr messen kann. So eng man das Röhrchen auch wählt, kann man das Vorratsgefäß nicht so rasch nachfüllen, wie das Helium durch die Röhre saust, obgleich normale Flüssigkeiten bei Abkühlung nicht weniger, sondern stärker viskos werden! Jeder Motorfahrer, der Winteröl und Sommeröl verwendet, weiß dies sehr wohl; auch die Viskosität des Wassers nimmt zwischen Siede- und Gefrierpunkt um das Sechsfache zu.

Die Viskosität des Helium II ist also unmeßbar klein. Mit Sicher-

heit weiß man, daß sie ein Zehnmillionstel der Viskosität des Wassers nicht erreicht. Die Physiker halten es für möglich, daß die Viskosität des Helium II tatsächlich null ist! Man bezeichnet die Viskositätslosigkeit des Helium II als seine *Superfluidität*; „Überflüssigkeit“ wäre die wörtliche, aber mißverständliche Übersetzung.

Das Helium II zeigt noch andere merkwürdige Eigenschaften. Zum Beispiel kriecht es von selbst über die Wände des Aufbewahrungsgefäßes — zunächst gegen die Schwerkraft — allmählich nach außen. Auch zeigt der Schall in ihm zwei verschiedene Fortpflanzungsgeschwindigkeiten. Ein Beobachter, der sein Ohr an ein Gefäß mit Helium II legte, hinter dem ein Knall erzeugt wird, würde daher den Knall zweimal hören. (In Wirklichkeit werden derartige Experimente natürlich in verfeinerter Anordnung angestellt.) Diese sonderbaren Erfahrungen in ihrer Gesamtheit führen dazu, den Zustand des Helium II als einen *gänzlich neuen Zustand* der Materie zu betrachten — vielleicht neben dem festen, normalflüssigen und gasförmigen Zustand der Materie als einen neuen „Aggregatzustand“.

Die wissenschaftlichen Diskussionen über die Natur des Helium II sind noch im Gange. Es gibt Hypothesen, Theorien, aber keine Sicherheit. Die Theoretiker vermuten, daß zwischen der Superfluidität des Heliums und der sogenannten Superleitfähigkeit oder Überleitfähigkeit der Metalle ein Zusammenhang besteht. Als *Superleitfähigkeit* bezeichnet man die Eigenschaft mancher Metalle, bei sehr tiefer Temperatur plötzlich — also auch sprunghaft — jedweden elektrischen Widerstand zu verlieren. Möglichkeiten für die praktische Anwendung der Superfluidität (und auch der Superleitfähigkeit) sind noch nicht sichtbar — aber es hat noch kaum je eine große Entdeckung der Naturwissenschaft gegeben, die nicht früher oder später auch zu praktischen Anwendungen geführt hätte.

Bei 400 000 Atmosphären

Der neue Hochdruckkessel des Kraftwerks Wien-Simmering arbeitet bei einem Druck von 64 atü, das heißt bei einem Überdruck, der dem 64fachen Atmosphärendruck entspricht. Unter diesen Bedingungen ist die Kesselwand so stark beansprucht, als laste auf jedem Quadratcentimeter ein Gewicht von nahezu 70 Kilogramm. In anderen Ländern hat man den Dampfdruck sogar auf das Doppelte dieses Wertes und mehr gesteigert und damit beim Betrieb von Dampfturbinen besonders hohe Wirkungsgrade erzielt.

Es drängt sich nun die Frage nach dem Verhalten der Materie unter immer höherem Druck auf. Auch der Nichtfachmann weiß vieles über das Verhalten der Materie bei hohen Temperaturen; aber über die Wirkung der Drucke ist viel weniger bekannt. Die Ursache liegt darin, daß hohe Temperaturen leichter zu erzeugen sind als hohe Drucke. Doch sind auch Untersuchungen bei Hochdruck von hohem wissenschaftlichem und letzten Endes technischem Interesse.

Die höchsten Drucke, die bisher mit künstlichen Mitteln nicht nur in Form eines kurzen Stoßes, sondern über einen längeren Zeitraum erreicht wurden, betragen etwa 400000 Atmosphären. Der größte Fachmann auf dem Gebiet der Erreichung hoher Drucke ist ein Professor *P. W. Bridgman*, der sein Leben der Erforschung ihrer Wirkungen gewidmet hat. Manche der nachfolgend angeführten Daten sind den Arbeiten Bridgmans entnommen.

Im gewöhnlichen Leben bemerken wir meistens die Wirkung gesteigerten Druckes auf *Gase*. Das Leuchtgas strömt unter einem Überdruck aus der Leitung, das Erdgas bricht unter einem viel größeren Überdruck aus dem Boden. Der Wetterbericht spricht vom Luftdruck. Der Druck der Atemluft in der Taucherglocke (im Caisson) ändert sich mit der Tiefe, also mit dem Gewicht der überstehenden

Wassersäule. Beim autogenen Schweißen und Schneiden steht das flammenliefernde Gas in der Stahlflasche unter hundert Atmosphären Druck. Von dem Umstand, daß die Gase mit Änderung des Druckes ihre Eigenschaften ändern, macht die Industrie Gebrauch. So werden im Stickstoffwerk in Linz Wasserstoff und Stickstoff durch einen Druck von mehreren hundert Atmosphären dazu bewegt („gepreßt“), sich zu dem nützlichen Ammoniak zu verbinden.

Auch gewisse *Kunststoffe* (*plastische Massen*), zum Beispiel das sehr wertvolle „Polythen“, werden gewonnen, indem man Gase so lange quetscht, bis sich ihre Moleküle zum Zusammenschluß bereit finden. Was wird nun bei Hochdruck aus einem einheitlichen Gas? Es ist sehr einfach, sich dies vorzustellen. Das Gas wird einer Flüssigkeit um so ähnlicher, je mehr man es zusammenquetscht. Unter gewissen Voraussetzungen vollzieht sich der Übergang vom gasförmigen zum flüssigen Aggregatzustand plötzlich — im Gas treten Tropfen auf. Unter anderen Voraussetzungen erfolgt der Übergang schrittweise, so allmählich, daß man überhaupt keine scharfe Grenze ziehen kann; daß man gar nicht sagen kann, in welchem Augenblick der gasförmige Zustand aufhört und der flüssige Zustand beginnt. Ein Gas, das für technische Zwecke durch Druck verflüssigt wird, ist die *Kohlensäure*. Ein anderes Beispiel sind die zum Heizen im Haushalt verwendeten Kohlenwasserstoffe *Propan* und *Butan*. Alle diese Stoffe werden flüssig in Stahlflaschen gespeichert.

Wie sehen die Dinge vom Standpunkt der Atomlehre aus? Sowohl in Gasen als auch in Flüssigkeiten sind die Atome — bzw. die aus ihnen zusammengesetzten Moleküle — mehr oder weniger frei beweglich. Allerdings sind sie im Gas so weit voneinander entfernt, daß sie nur selten zusammenstoßen. Zwischen ihnen liegt nichts als leerer Raum. In der Flüssigkeit dagegen „treten sie einander ständig auf die Zehen“. Die Gasatome verhalten sich also etwa so wie die Fahrgäste der Straßenbahn wochentags um elf Uhr, die Flüssigkeitsatome so wie jene um halb acht Uhr früh. Es ist daher einleuchtend, daß sich eine Flüssigkeit im Gegensatz zu einem Gas nur mehr wenig zusammendrücken läßt — die Fahrgäste beginnen erregt zu protestieren.

Besonders interessant ist aber die Wirkung von Hochdruck auf *feste Körper*. In Festkörpern sind die Atome nicht frei beweglich; vielmehr schwingen sie um Ruhelagen, die regelmäßig angeordnet sind, wenn es sich um Kristalle handelt.

Es gibt viele feste Körper, die in verschiedenen Systemen kristallisieren, nämlich Kristalle ausbilden können, die verschiedene Anordnung der Atome zeigen. Ein Beispiel hiefür ist der *Schwefel*, der entweder in der rhombischen oder in der monoklinen Form kristallisieren kann, wie die Fachleute sagen. Ein berühmteres Beispiel ist der elementare *Kohlenstoff*, der in der Natur in zwei gänzlich verschiedenen Kristallformen vorkommt: als Graphit und als Diamant. Begreiflicherweise hängen die uns interessierenden Eigenschaften, zum Beispiel Härte, Festigkeit, Wärme- und elektrische Leitfähigkeit, Farbe, Glanz usw., von der Anordnung der Atome ab. Man darf wohl behaupten, daß Graphit und Diamant voneinander verschiedene Eigenschaften besitzen!

Man kann nun durch Hochdruck einen Stoff zwingen, aus einer Kristallform in eine andere überzugehen. Je höher nämlich der Druck, um so ausgeprägter die Tendenz zum Übergang in die am besten „raumsparende“ Form, also in die Form, in der die Atome am engsten „gepackt“ sind. Ja, man kann durch Hochdruck die Festkörper sogar in Formen überführen, die unter atmosphärischem Druck überhaupt nicht existenzfähig sind. Solche Untersuchungen sind schon insofern wichtig, als wir aus ihren Ergebnissen etwas über den Zustand der Materie nahe dem Erdmittelpunkt erfahren können, wo vermutlich Drucke von Millionen Atmosphären herrschen.

Wie erzeugt man nun Hochdruck? Man verwendet das wohlbekannteste Prinzip der *hydraulischen Presse*, nach dem ja auch der Wagenheber konstruiert ist, den wir in jeder Garage sehen können. Man könnte glauben, daß bei den höchsten Drucken jeder Flüssigkeitsbehälter undicht werden müßte. Das ist aber nicht der Fall, weil die Flüssigkeiten unter hohem Druck so zähe werden, bisweilen millionenmal zäher als bei Normaldruck, daß sie nur mehr sehr schwer durch Spalten, Löcher usw. hindurchkriechen.

Das Druckgerät muß natürlich aus überaus festem Material gefertigt sein. Früher hat man hiefür Stahl verwendet. In letzter Zeit

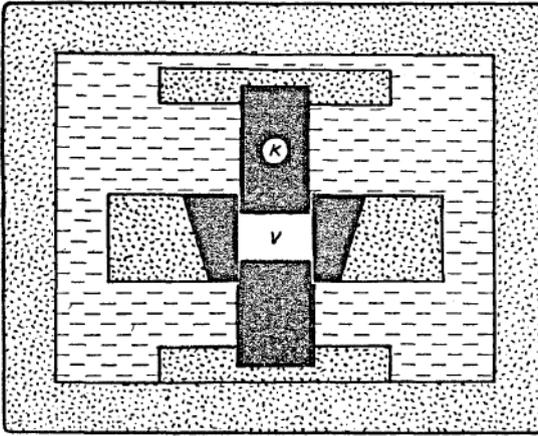


Abbildung 28

Gerät zur Erzeugung höchster Drücke (nach Bridgman).

K • Kolben

V • Nutzbarer Versuchsraum

 Bestandteile aus Stahl

 Bestandteile aus Wolframkarbid

 Unter Druck von zehntausenden Atmosphären stehende Flüssigkeit, in welche das eigentliche Hochdruckgerät eingebettet ist.

ist man zu wolframhaltigem Hartmetall übergegangen, wie es an Drehbänken zum Schneiden gebraucht wird. Das Hartmetall ist doppelt so fest und dreimal so elastisch wie Stahl. Überdies stellte sich heraus, daß die Festigkeit sowohl von Stahl als auch von Hartmetall unter Druck zunimmt.

Das Druckgefäß (*Abbildung 28*), das nur mehr ein liches Volumen von ungefähr fünf Kubikmillimeter aufweist, wenn es für ganz hohe Drücke verwendet werden soll, wird in ein größeres Gefäß gesteckt, das ebenfalls noch unter Druck steht — wenn auch nicht unter ganz so hohem Druck. Dadurch wird die Belastung des Höchstdruckgefäßes vermindert, da es auf den Druckunterschied zwischen Innenvolumen und Außenraum ankommt. Das äußere Gefäß kann man seinerseits

wieder in ein weiteres Druckgefäß stellen usw. und nach diesem „Stufenverfahren“ die Beanspruchung der Werkstoffe auf ein erträgliches Maß herabsetzen.

So hat die Wissenschaft zahlreiche Fälle von Eigenschaftsänderungen unter Hochdruck studiert und in ein System gebracht. Oft waren die beobachteten Änderungen theoretisch völlig unerwartet. Bei festen Körpern sind sie meistens durch einen Wechsel der Kristallform bedingt. So sind nicht weniger als *sieben verschiedene Formen des Eises* bekannt. Eine dieser Formen schmilzt erst bei 175 Grad Celsius!

Aber nicht immer ist die Änderung der Eigenschaften durch einen Wechsel der Kristallform bedingt. Ein krasses Beispiel bietet das Element *Tellur*, das normalerweise ein elektrischer Halbleiter ist. Bei 30000 Atmosphären Druck jedoch verliert das Tellur seinen elektrischen Widerstand bis auf den sechshundertsten Teil und wird damit zu einem elektrischen Leiter, wie es die Metalle sind. Die Eigenschaftsänderung ist in diesem Fall nicht mit einer Änderung der Kristallform verknüpft. Vielmehr behalten die Telluratome ihre gegenseitige Lage bei, verhalten sich aber im gequetschten Zustand anders.

Den furchtbaren Drucken hat man auch *Lebewesen* unterworfen. Wir Menschen ertragen im Caisson Drucke von 10 Atmosphären. Aber im Druckgefäß aus Hartmetall haben Pantoffeltierchen schon 800 Atmosphären und Bakterien gar schon 20000 Atmosphären überlebt.

Das großartigste Forschungs-„Laboratorium“ ist allerdings, wie so oft, das *Weltall*. Ähnlich wie im Inneren der Fixsterne Temperaturen herrschen, die nicht einmal in einer explodierenden Wasserstoffbombe erreicht werden, so gibt es auch Sterne, auf denen die Materie unter dem unvorstellbaren Druck von Millionen und Milliarden Atmosphären steht. Unter irdischen Verhältnissen werden die Atome, obwohl sie sich gegenseitig bis zu einem gewissen Grad anziehen, andererseits doch durch eine Abstoßungskraft an übergroßer Annäherung gehindert. Diese Abstoßungskraft wird erst wirksam, wenn der Abstand zwischen den Atomen schon sehr klein geworden ist. Sie ist die Ursache dafür, daß die Verdichtung einer Flüssigkeit

oder eines Festkörpers überhaupt die Anwendung von Druck erfordert.

Infolge dieser Abstoßungskräfte läßt sich die Materie unter irdischen Verhältnissen nur wenig komprimieren, obwohl sie in Wirklichkeit sehr locker gebaut ist und die Atome hauptsächlich leeren Raum „enthalten“. Beispielsweise ist der Raum innerhalb des Wasserstoffatoms nur zu einigen Billiardstel von Materie, nämlich vom Kern des Atoms, erfüllt!

Auf gewissen Fixsternen nun, wo der Druck ein ganz besonders hohes Maß erreicht, werden diese Abstoßungskräfte überwunden. Die Atome fließen unter Höchstdruck schließlich zu einer Art zusammenhängender zäher Marmelade zusammen, die aus einer „Mischung“ von Atomkernen und Elektronen besteht. Über diese auf der Erde nicht existenzfähige Form der Materie wissen wir bisher nicht viel mehr, als daß sie eben unvorstellbar dicht ist: Auf dem dunklen *Siriusbegleiter* beispielsweise — dem klassischen Beispiel eines derartigen Sterns — wiegt jeder Kubikzentimeter Materie 61 Kilogramm, also 5500mal soviel wie ein Kubikzentimeter Blei!

Um unser Beispiel von der Straßenbahn auf den Fall des Siriusbegleiters anzuwenden, stelle man sich vor, wie durch weitere Sparmaßnahmen des Stadtrates das Gedränge im Wageninneren ein derartiges Ausmaß erreicht, daß die Menschen einander überhaupt nicht mehr vom Leibe halten können. Fahrgäste, Schaffner und Bänke werden völlig zerquetscht und verlieren ihre individuelle Existenz. Übrig bleibt ein formloser Klumpen, in den Fleisch, Knochen, Regenschirme und Handtaschen unterschiedslos eingeschmolzen sind.

Atome auf Tausch

„Das Beste auf der Welt ist das Wasser“, sagte vor fast zweieinhalb Jahrtausenden der große griechische Lyriker *Pindaros*. Und in der Tat ist der Mensch bekanntlich auf Schritt und Tritt vom Wasser abhängig. Die ungeheuren Anstrengungen, die die Völker der Sowjetunion heute unternehmen, um ihre mächtigen Ströme in neue Betten zu lenken, sind eine eindrucksvolle Illustration der enormen Bedeutung des Wassers für das menschliche Leben in der Gegenwart und für alle Zukunft.

Drei Viertel der Erdoberfläche sind vom Ozean bedeckt. An vielen Stellen grenzt sein Wasser unmittelbar an ausgedörrte Wüste. An anderen Orten wieder schließen die Wüsten, deren Boden oft sehr fruchtbar sein könnte, große Seen ein. Und doch können diese Wassermassen wegen ihres Salzgehaltes für die Bewässerung der Wüsten bisher nicht nutzbar gemacht werden. Versuche, Meerwasser auf Ackerboden zu lenken, würden nur mit dessen Versalzung und damit seiner Zerstörung enden.

Auch für technische Zwecke ist der Gehalt des Wassers an Salzen ein großer Nachteil. Jede Hausfrau weiß, daß man mit kalkreichem, sogenanntem *hartem* Wasser, zum Beispiel mit Wiener Hochquellenwasser, nicht gut waschen kann. Das Kalzium des Wassers verbraucht die Seife unter Bildung schmutzig aussehender Niederschläge. Auch als Kesselspeisewasser ist das harte Wasser wenig brauchbar.

Oft mögen Menschen davon geträumt haben, das Wasser der Meere zu entsalzen und so menschlichen Zwecken dienstbar zu machen. Doch reichen die bisherigen technischen Mittel für die Verfolgung dieses grandiosen Zieles nicht hin. Natürlich kann man Seewasser durch Destillation — also durch Verdampfung und Wieder-

Verflüssigung — entsalzen. Die Verdampfung erfordert aber Brennstoff und ist deshalb kostspielig. Destilliertes Wasser kommt für Bewässerungszwecke überhaupt nicht und für technische Zwecke nur begrenzt in Betracht.

Erst in den letzten Jahren hat die technische Chemie mehrere Verfahren entwickelt, durch die Wasser billig entsalzt werden kann. Vorläufig allerdings ist auch das so gewonnene reine Wasser für Bewässerungszwecke noch zu teuer; noch bleibt die Bewässerung durch Meerwasser Zukunftsmusik. Aber es soll im folgenden von einem Verfahren zur Wasserentsalzung die Rede sein, das sich in vielen anderen Zweigen der Technik rasch durchsetzt. Dieses Verfahren beruht auf der Verwendung von sogenannten *Ionenaustauschern*. Ionen sind nichts anderes als elektrisch geladene Atome, und so dürfen wir hier statt von Ionenaustauschern auch einfach von *Atomaustauschern* reden.

Den Ausgangspunkt für die Entwicklung des Atomaustausch-Verfahrens bildete die ein Jahrhundert alte Beobachtung, daß Lösungen beim Durchsickern durch bestimmte Böden ihren Salzgehalt verlieren. Diese Tatsache wurde schon lange richtig damit erklärt, daß die Böden locker gebundene Atome enthalten und daß diese Atome imstande sind, mit anderen Atomen, die in gelöstem Zustand an ihnen vorbeizwandern, Platz zu tauschen. Wenn also zum Beispiel die locker gebundenen Atome Kalziumatome (Ca) und die frei in der Lösung vorbeizwandernden Atome Natriumatome (Na) sind, so wird der Boden bis zu einem gewissen Grad Natrium aufnehmen und dafür Kalzium abgeben. Man fand auch, welche Bodenbestandteile zu einem solchen Atomaustausch befähigt sind.

Der nächste Schritt war nun, daß man — noch vor dem Ersten Weltkrieg — derartige mineralische Stoffe synthetisch herstellte, die als Austauscher wirkten. Man konnte dann zum Beispiel Kesselspeisewasser durch eine „Säule“ aus kieselsäurehaltigem Material fließen lassen, das locker gebundenes Natrium enthält. Dabei wurde das sehr schädliche Kalzium des Wassers durch das für diesen Verwendungszweck weniger schädliche Natrium ersetzt. Kalzium setzt sich nämlich beim Erhitzen des Wassers als der gefürchtete Kesselstein an der Kesselwand ab, während Natrium nicht in solcher Weise

wirkt, sondern in Lösung bleibt. Waren schließlich alle lockeren Natriumatome des Austauschers bereits durch Kalzium ersetzt, der Austauscher also „erschöpft“ oder „gesättigt“, so konnte er regeneriert (wiederbelebt) werden. Es genügte nämlich, konzentrierte Kochsalz- (Chlornatrium-) Lösung durch die Säule zu schicken: nun wurden die Kalziumatome wieder durch Natriumatome ersetzt, und die Säule war von neuem einsatzbereit.

Einen wahrhaft gewaltigen Aufschwung aber hat die Technik der Austauscher seit ungefähr zwei Jahrzehnten genommen, seitdem man nämlich gelernt hat, statt der mineralischen (anorganischen) Austauscher ungleich leistungsfähigere organische Austauscher zu erzeugen. Diese Stoffe sind in ihrem Aufbau den Kunstharzen (plastischen Massen) vergleichbar. Sie sind sehr porös und können an ihrer enormen „inneren Oberfläche“ sehr große Mengen von Atomen durch Austausch binden. Solche Austauscher werden heute großindustriell erzeugt.

Mit den Austauschern kann man nicht nur unerwünschte Atome durch weniger lästige ersetzen, also etwa Kalzium durch Natrium, sondern man kann auch Wasser überhaupt entsalzen! Zu diesem Zweck läßt man das noch unreine Speisewasser zuerst durch eine Säule fließen, die nun keine Metallatome, sondern in lockerer Form Wasserstoffatome (H) enthält. Diese Wasserstoffatome verdrängen dann im Speisewasser sowohl die Kalzium- als auch die Natriumatome. Es bleibt also zum Beispiel in einem Wasser, das ursprünglich Kochsalz (Chlornatrium NaCl) enthalten hat, Salzsäure (Chlorwasserstoff HCl) zurück. Dieses Wasser wird sodann durch eine zweite Säule geschickt, in der seine Chloratome in ähnlicher Weise durch die Atomgruppierung OH (ein Sauerstoffatom plus ein Wasserstoffatom) ersetzt werden. So hinterbleibt also in dem Wasser letzten Endes einerseits nur mehr H, andererseits OH. Diese beiden Überbleibsel verbinden sich aber miteinander zu H_2O , also zu Wasser. Hokuspokus, Zauberei — so haben wir statt der Salzlösung nur noch reines Wasser!

Interessant ist zum Beispiel die Erzeugung von *Trinkwasser* für Schiffbrüchige oder ins Meer gestürzte Flieger. Es zeigte sich nämlich im letzten Krieg, daß ein kleines Austauschgerät aus Meerwasser

viel mehr Trinkwasser erzeugen kann, als sein eigenes Gewicht ausmacht. Es ist also offenbar zweckmäßiger, einem Flieger ein solches Gerät mitzugeben als einen Vorrat an Trinkwasser.

Von großer Bedeutung ist die Verwendung von Atomaustauschern bei der Gewinnung wertvoller Atome aus ihren Lösungen. Man schickt einfach die Lösungen durch eine Säule hindurch, wo die Atome des begehrten Elements durch Austausch festgehalten werden. Eine weitere wichtige Anwendung besteht in der chemischen Trennung von Atomen verschiedener Art, die gemeinsam in einer Lösung vorliegen. Man macht sich dabei die Erfahrung zunutze, daß verschiedenartige Atome von der gleichen Säule mit verschieden großer Gier ergriffen und festgehalten werden. Auch verschiedenartige Moleküle können auf ähnliche Weise getrennt werden; dieses Verfahren hat in der Biochemie zur Auftrennung von Wirkstoffen (Vitaminen, Hormonen), Drogen usw. enorme Bedeutung gewonnen.

Kehren wir nun zu der Eigenschaft des Bodens, als Austauscher zu fungieren, zurück! Die Bodenkundler haben gefunden, daß die Kalziumatome für den Boden wertvoll, die Natriumatome aber schädlich sind. Ein einfacher Versuch zeigt das: Man füllt in einen Trichter einen Klumpen der fetten, lockeren Schwarzerde, der zum Beispiel die Ukraine ihre Fruchtbarkeit verdankt; gießt man dann reines Wasser über den Erdklumpen, so rinnt es mit gleichmäßiger Geschwindigkeit durch, ohne die wertvolle lockere Struktur des Bodens zu beeinträchtigen. Schüttet man aber Kochsalzlösung über den gleichen Erdklumpen, so verklebt sich dieser und läßt nach wenigen Minuten überhaupt nichts mehr durch — nicht einmal mehr reines Wasser. Ein derartig verdorbener Boden gewährt weder dem Wasser noch der Luft zu den Pflanzenwurzeln Zutritt.

Im vergangenen Krieg wurden in Holland von den Deutschen und den Engländern viele Dämme gesprengt. Nach dem Krieg brachen die nur mangelhaft instand gesetzten Dämme bei Sturmfluten von neuem. Meerwasser ergoß sich über die seit vielen Jahrhunderten liebevoll gepflegten Felder. Der Schaden war nicht einfach behoben, wenn das Meerwasser wieder fortgepumpt worden war, denn die Versalzung des Bodens hat ihm auf viele Jahre hinaus einen großen Teil seiner Fruchtbarkeit genommen.

Die Versalzung des Bodens, unter bestimmten Umständen absichtlich herbeigeführt, kann aber auch Nutzen bringen. In der Sowjetunion werden heute zehntausende Kilometer kleinerer und größerer Bewässerungskanäle gebaut, dazu noch mehr als vierzigtausend Stauseen und Teiche. Durch die Böschungen der Kanäle hindurch drohen jedoch große Mengen Wasser ungenützt abzusickern, und dieser Wasserverlust kann pro Kilometer Kanalbett zwanzig Prozent der geführten Wassermenge ausmachen. Es wäre viel zu kostspielig, sämtliche Kanalwände durch Beton oder Asphalt abzudichten. Man geht nun dazu über, diese Böschungen mit Salzlösungen zu behandeln und ihnen auf diese Weise ihre lockere Struktur und ihre Wasserdurchlässigkeit zu nehmen. Schon die ersten Versuche haben gute Erfolge gebracht.

Stickstoff, Phosphor, Kali und Spurenelemente

Das Leben der Pflanze so wie jedes Leben beruht auf dem *Eiweiß*. Die Eiweißkörper bestehen hauptsächlich aus den chemischen Elementen Kohlenstoff, Wasserstoff, Sauerstoff und Stickstoff. In Abwesenheit dieser Elemente kann es daher kein Leben geben. Aber die Pflanze braucht zum Leben noch eine Anzahl anderer Elemente. Sie entnimmt diese Elemente, die in diesem Zusammenhang gern als Mineralstoffe bezeichnet werden, dem Boden.

Manche dieser lebenswichtigen Elemente, wie Eisen, Magnesium und Schwefel, werden zwar von der Pflanze in relativ großen Mengen benötigt, sind aber in fast allen Böden überreichlich vorhanden. In bezug auf andere Mineralstoffe jedoch, die ebenfalls in großer Menge gebraucht werden, besteht die Möglichkeit, daß Böden zu arm sind oder im Lauf der Zeit verarmen. Dies wurde in der Mitte des 19. Jahrhunderts von dem großen Chemiker *Justus Liebig* erkannt.

Vor Liebigs Zeit glaubte man, durch den Dünger den Pflanzen Kohlenstoff zuzuführen. Liebig erkannte, daß die Pflanze ihren Kohlenstoff aus der Luftkohlenensäure und nicht aus dem Boden bezieht, den Dünger aber wegen seines Gehaltes an anderen Elementen — vornehmlich Stickstoff, Phosphor und Kalium — braucht. Steht nicht genug Naturdünger zur Verfügung, so muß man nach dem Rat Liebigs diese Elemente dem Boden aus anderen Quellen zuführen. Das ist das Wesen der *Kunstdüngung*, als deren Vater Liebig anzusehen ist. Mit ihrer Hilfe läßt sich in vielen Fällen der Bodenertrag auf das Mehrfache steigern.

Die Kunstdüngung erwies sich tatsächlich im 19. Jahrhundert als besonders wichtig. Einerseits stieg mit der Bevölkerungszunahme zur Zeit der Entwicklung des Kapitalismus der Nahrungsbedarf.

Andererseits machte sich auch eine Verarmung des Bodens an Nährelementen fühlbar.

Solange in der Vergangenheit die landwirtschaftlichen Produkte zumeist auf dem Lande selbst konsumiert wurden, genügte es zur Sicherung des Nährstoffkreislaufes, wenn Stalldünger und Jauche wieder auf die Felder geführt wurden. Durch die Entwicklung der industriellen Siedlungen wurde jedoch der Kreislauf gröblich gestört. Wachsende Mengen landwirtschaftlicher Erzeugnisse wurden abgelenkt und ihre Mineralstoffe gingen verloren, indem die Städte immer mehr Nahrungsmittel beanspruchten. So mußte denn um die Zeit Liebig's das Problem der künstlichen Düngung auf die Tagesordnung gesetzt werden. Seither ist die Kunstdüngererzeugung zu einem der wichtigsten Zweige der chemischen Industrie angewachsen.

Stickstoff ist ein verkannter Wohltäter. Beim Wort „Stickstoff“ hat man gleich ein unangenehmes Gefühl — stickig, ersticken! Wahrscheinlich geht es den Franzosen und den Russen ähnlich: unser Stickstoff heißt dort in ihren Sprachen „Azote“, also etwa „Un-Leben“. Neutraler ist das im Englischen gebräuchliche (griechische) Wort „Nitrogen“ — „das aus Salpeter Erzeugte (Element)“.

Den Wert des Stickstoffs erkannten seine Entdecker im 18. Jahrhundert freilich nicht. Damals setzte man den Stickstoff in Gegensatz zum Sauerstoff, der die Verbrennung und die Atmung unterhält. Erst später zeigte sich, daß Leben ohne Stickstoff ebensowenig wie Leben ohne Sauerstoff existiert. Doch ist die Abhängigkeit des Lebens vom Stickstoff komplizierter und nicht so augenfällig wie die Abhängigkeit vom Sauerstoff.

Die besondere Bedeutung des Stickstoffs ergibt sich daraus, daß alle *Eiweißkörper* zu etwa einem Sechstel aus Stickstoff bestehen. Ohne Eiweiß kein Leben; *Friedrich Engels* bezeichnete das Leben geradezu als die „Daseinsweise des Eiweißes“. Ob Virus, Bakterium, Pflanze oder Tier, ob Wurm oder Elefant — alles Leben gründet sich auf das Eiweiß. Da sich im Stoffwechsel des Eiweißes unvermeidlich gewisse Verluste ergeben, also ein Teil des Stickstoffs in elementarer Form gasförmig ins Luftmeer entweicht, war es lange Zeit ein Rätsel, wie sich der gebundene Stickstoff der belebten Natur überhaupt durch die vielen hundert Millionen Jahre, die das

Leben schon besteht, erhalten hat; man weiß nämlich, daß weder die höheren Pflanzen noch die Tiere den gasförmigen Luftstickstoff, der in ungeheuren Mengen zur Verfügung steht, binden (in Verbindungen überführen, assimilieren) können.

Erst zu Ende des 19. Jahrhunderts entdeckte man an den Wurzeln verschiedener Hülsenfrüchtler (Erbsen, Bohnen u. a.) eigenartige, durch die Tätigkeit gewisser Bakterien entstandene Knöllchen. Die freundlichen Bakterien besitzen die Fähigkeit, den freien Stickstoff der auch den Boden durchdringenden Luft chemisch zu binden und so den ständigen Verlust an Stickstoff wieder wettzumachen. Es gibt übrigens auch stickstoffbindende Bakterien, die frei im Boden leben, also nicht mit Pflanzen vergesellschaftet sind.

Der Wissenschaft erscheint diese Fähigkeit der Bakterien als ganz erstaunlich. Denn noch keinem Chemiker ist es gelungen, bei Normaltemperatur freien Stickstoff in eine chemische Verbindung zu zwingen. Die technischen Verfahren zur Bindung von Luftstickstoff arbeiten ausnahmslos bei vielen hundert Grad Celsius. Es ist für die Schwierigkeit des Problems bezeichnend, daß bis zum heutigen Tag so gut wie nichts über den chemischen Vorgang bekannt ist, durch den die Bakterien den Stickstoff assimilieren. Aber der Bauer kennt aus seiner Erfahrung den Wert der *Gründüngung*. Ein mit knöllchentragenden Hülsenfrüchtlern bestelltes Feld gibt im folgenden Jahr eine bessere Ernte auch an anderen Feldfrüchten, besonders wenn die Pflanzen wieder in den Boden eingepflügt werden.

Als Stickstoffkünstdünger wurde zunächst *Salpeter* verwendet, der im wüstenhaften Norden Chiles durch amerikanische Gesellschaften bergmännisch gewonnen wird. Der Ursprung dieser gewaltigen Natronsalpeterlager ist unbekannt; jedenfalls können sie nur in einer regenlosen Landschaft erhalten bleiben, da der Salpeter wasserlöslich ist. Bekannt ist dagegen, daß die Arbeiter der Salpeterwüste unter unmenschlichen Bedingungen arbeiten müssen und ihrer gewerkschaftlichen Rechte beraubt sind.

Das Monopol des Chilesalpeters wurde noch vor dem Ersten Weltkrieg auf Grund der großartigen Forschungen des Chemikers *Fritz Haber* gebrochen. Haber bewies, daß man Luftstickstoff (N) und Wasserstoff (H) bei Drucken von mehreren hundert Atmosphären

und Temperaturen von mehreren hundert Grad in Anwesenheit gewisser beschleunigend wirkender Stoffe (sogenannter *Katalysatoren*) zu dem Gas *Ammoniak* (NH_3) vereinigen kann (Ammoniak-Synthese). Den Wasserstoff entnimmt man dem Koksofengas, den Stickstoff der Luft. Pflanzen können Ammoniak ebenso wie Salpeter verwerten.

Der Ammoniak kann an Säuren, zum Beispiel an Schwefelsäure, gebunden werden und dann in Form der entsprechenden festen Salze (wie Ammonsulfat) auf die Felder gestreut werden. Neuerdings versucht man, den reinen Ammoniak einfach durch Druck zu verflüssigen und flüssig aus den Stahlflaschen in den Boden einfließen zu lassen. Der Boden bindet den Ammoniak so schnell, daß die Verdampfungsverluste erträglich sind. Das Verfahren kann sich als wirtschaftlich erweisen, weil man die Bindung des Ammoniaks an Säuren erspart. Freilich kann es sich nur in einer Großlandwirtschaft bewähren, da die Investition für die Stahlflaschen bedeutend ist.

Eine der bekanntesten Ammoniakfabriken ist das riesige *Leunawerk* in Mitteldeutschland. In Linz existiert die einzige österreichische Fabrik zur Synthese von Ammoniak. Sie wurde von den deutschen Faschisten als Rüstungswerk erbaut. Ammoniak kann nämlich in Salpetersäure umgewandelt werden, deren Verbindungen (Nitroverbindungen) explosiv sind.

Ein zweites Verfahren zur Bindung von Stickstoff verwendet als Rohstoff *Kalziumkarbid*. Das Karbid ist bekanntlich jene graue Substanz, aus der beim Übergießen mit Wasser Azetylen entweicht. Dieses Gas kann man in den „Karbidlampen“ mit leuchtender Flamme verbrennen. Erhitzt man aber das Kalziumkarbid im Stickstoffstrom auf sehr hohe Temperatur, so verbindet es sich mit dem Gas und gibt einen Stoff, den der Chemiker Kalziumzyanamid, der Landwirt aber *Kalkstickstoff* nennt. Kalkstickstoff ist — auf gleichen Stickstoffgehalt berechnet — den Ammonsalzen als Dünger gleichwertig.

Die meisten Stickstoffdüngemittel wirken relativ schnell. Die Wirkung tritt besonders rasch (in Stunden) ein, wie man in letzter Zeit gefunden hat, wenn man geeignete Stickstoffverbindungen Bäumen auf das Laub spritzt. Umgekehrt kann man durch Wahl schwer zersetzlicher, kompliziert gebauter Stickstoffverbindungen

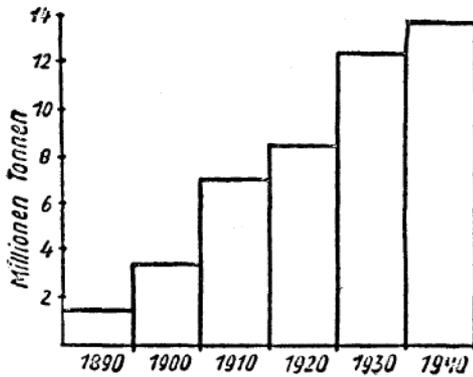


Abbildung 29

Veranschaulichung der durchschnittlichen Jahres-Weltproduktion von Superphosphat.

die Abgabe des Stickstoffs an die Pflanzen durch den Boden absichtlich verlangsamen und über einen langen Zeitraum verteilen.

Ein weiteres chemisches Element, das im Stoffhaushalt der Pflanze eine bedeutende Rolle spielt und infolge Verarmung des Ackerbodens diesem künstlich nachgeliefert werden muß, ist der *Phosphor*. Die Pflanze verwendet die Phosphorsäure unter anderem in Bindung an Eiweiß und Zucker. Die Kerne aller lebenden Zellen bestehen hauptsächlich aus einer Verbindung von Eiweiß mit Phosphorsäure.

Der wichtigste Phosphor-Kunstdünger wird durch Erhitzen gemahlener Phosphatgesteine (Phosphorit) mit Schwefelsäure gewonnen. Das auf diese Weise erzeugte *Superphosphat*, dessen Weltproduktion in den letzten Jahrzehnten gewaltig gestiegen ist (siehe *Abbildung 29*), ist leichter löslich als das Rohphosphat. Das ist wichtig, denn das Phosphat ist nur insoweit wirksam, als es sich in der Bodensäure auflöst. Daher bewertet man den Dünger nach seinem Gehalt an „säurelöslichem“ phosphorsaurem Salz.

Phosphorit (phosphorsaurer Kalk) wird zum Beispiel in Französisch-Nordafrika gefunden. Ein anderes phosphorhaltiges Mineral

(Apatit) findet sich in riesigen Lagern auf der Halbinsel Kola in Nordrußland. Österreich besitzt keine abbauwürdigen Phosphatlager. In Notzeiten wurde in der Steiermark in kleinen Mengen der *Höhlenguano* gefördert, der hauptsächlich von den in den Höhlen nistenden Fledermäusen stammt. Sonst werden als „Guano“ die Ablagerungen von Exkrementen auf südamerikanischen Vogelinseln bezeichnet. Ein äußerst wichtiger Phosphordünger industriellen Ursprungs ist die *Thomasschlacke*, ein Nebenprodukt der Stahlerzeugung aus phosphorhaltigem Eisenerz nach dem Thomas-Verfahren.

Neuerdings kann man die Aufnahme des Phosphors durch den Boden sehr gut dadurch verfolgen, daß man den im Kunstdünger enthaltenen Phosphor *radioaktiv* macht und dann feststellt, wie schnell die radioaktive Substanz in die Pflanze eindringt. Der normale Stoffwechsel der Pflanze wird durch die (äußerst schwache) Radioaktivität nicht verändert. Diese Untersuchungen haben unter anderem gelehrt, daß die Pflanzen, besonders in ihrer Jugend, den leichter löslichen „Düngerphosphor“ weit besser aufnehmen als den natürlichen „Bodenphosphor“; der Dünger steigert also nicht nur den Gesamtphosphorgehalt des Bodens, sondern kommt besonders den Jungpflanzen zugute.

Das dritte Element, das dem verarmten Ackerboden in großer Menge zugeführt werden muß, ist das *Kalium*. Lagerstätten kalihaltiger Minerale finden sich in Deutschland (Staßfurt), im Elsaß, im Ural und in den USA. Sie alle stellen Ablagerungen von Meersalzen dar. Früher wurden die Kalisalze für wertlos gehalten und daher als „Abraumsalze“ bezeichnet. Um nämlich beim bergmännischen Abbau zum Steinsalz (Chlornatrium) gelangen zu können, mußten vorerst die über diesem befindlichen Lager von Kalium- und Magnesiumverbindungen „abgeräumt“ werden. Heute sind die Kalisalze viel wertvoller als die Natronsalze.

Man weiß längst, daß neben den schon genannten Elementen Kohlenstoff, Sauerstoff, Wasserstoff, Stickstoff, Phosphor, Kalium, Kalzium, Magnesium, Eisen und Schwefel noch weitere Elemente lebenswichtig sind. Zu ihnen gehören Zink, Mangan, Bor, Kupfer und Molybdän. Die Pflanzen brauchen freilich zumeist bloß so winzige Mengen dieser Elemente (*Spurenelemente*), daß die meisten

Böden von Natur aus hinreichende Mengen enthalten. Die Spurenelemente werden nur in Mengen von einigen Milligramm pro Zentner Boden benötigt.

Bei *Bormangel* wird die Rübe von der „Trockenfäule“ befallen. Bei *Kupfermangel* leiden verschiedene Pflanzen (Getreide) unter der „Urbarmachungs-“ oder „Heidemoorkrankheit“. Bei *Manganmangel* wird der Hafer von der „Dörrfleckenkrankheit“ befallen. Andererseits kann ein übermäßiger Gehalt des Bodens an manchen Elementen — besonders Bor — dem Pflanzenwuchs schaden. Nur in wenigen Fällen kennt man die biologische Funktion der Spurenelemente in der Pflanze.

Pflanzen können den hundertfachen Normalgehalt an Spurenelementen aufweisen, wenn sie in der Nähe von *Lagerstätten* dieser Elemente wachsen. Man kann daher die Pflanzenasche geradezu zum Zweck der Auffindung von Lagern (beispielsweise von Zink, Nickel, Kobalt) chemisch untersuchen. Nicht immer hat Mehrgehalt des Bodens schädliche Wirkung auf die Pflanze.

Auch in der Tierzucht spielen An- und Abwesenheit der Spurenelemente eine Rolle. So wurden die Schafe in gewissen Gebieten Australiens von der „Drehkrankheit“ befallen, als deren Ursache man später den abnorm niedrigen *Kobalt*gehalt der dortigen Böden erkannte. Der Krankheit kann durch Kobaltdüngung vorgebeugt werden. Ähnlich wird die „Senkrückenkrankheit“ der Schafe in Südafrika durch Gaben von *Kupfer* bekämpft.

Die Pflanze nimmt die Mineralstoffe nicht den Tieren zuliebe auf, die sie einmal fressen werden. Zwar sind die Tiere (und die Menschen) auf die Mineralstoffe der Pflanze angewiesen, aber ihr Mineralbedarf ist durchaus andersartig. So brauchen wir im Gegensatz zu den Pflanzen Kobalt und Jod, während wir, wieder im Gegensatz zu ihnen, auf Bor verzichten können.

Ein Beispiel für ein Element, das auch in beträchtlicher Dosis auf viele Pflanzen nicht schädlich wirkt, aber für die Tiere ein heftiges Gift darstellt, ist das *Selen*, das in Teilen der Vereinigten Staaten im Boden enthalten ist und von manchen Pflanzen außerordentlich stark angereichert wird. In der Provinz Manitoba in

Kanada wirkt sich der übermäßige Gehalt des Bodens an *Molybdän* auf die Rinder schädlich aus.

Nur im Vorbeigehen sei erwähnt, daß jetzt auch künstliche *Bodenverbesserer* auf den Markt kommen, die dem Boden keine Nährstoffe zuführen, also keine Düngemittel sind, sondern nur die *Struktur* des Bodens verbessern. Sie machen die Ackererde locker und krümelig. Ein Kilo eines solchen synthetischen Produktes soll die Humusbildung ebenso sehr begünstigen wie fünf Zentner Kompost oder zwei Zentner Torf; überdies wird das Kunstprodukt nur schwer von den Bodenbakterien angegriffen und zersetzt.

Die Bedürfnisse der Böden hängen natürlich in hohem Maße von der Art und den Zielen der Landwirtschaft ab. Sie sollten von Landstrich zu Landstrich und eigens für jede Feldfrucht bestimmt werden. Außerdem müßten die Mengen der verschiedenen Mineralstoffe aufeinander abgestimmt werden. Diese hochgesteckten Ziele können im Rahmen der individuellen Bauernwirtschaft, besonders der Kleinbauernwirtschaft, nicht verwirklicht werden. Erst die Überwindung der Zerstückelung des Landes durch den Zusammenschluß zur Genossenschaft wird eine wirklich rationelle Düngung ermöglichen. Schon heute existieren in den Kollektivwirtschaften der Sowjetunion Tausende von Kleinlaboratorien, die sich auch mit Bodenanalysen beschäftigen.

Künstlicher Kautschuk

Als Deutschland im Ersten Weltkrieg durch die Entente vom Kautschuk Ostasiens abgeschnitten wurde, behaupteten optimistische deutsche Wissenschaftler, Deutschland könne seinen Kautschuk selbständig synthetisch erzeugen. Kaiser Wilhelm ließ sich in der Öffentlichkeit in einem Auto mit Reifen aus Kunstkautschuk sehen. Aber der damalige Kunstkautschuk erreichte nicht im entferntesten die Qualität des Naturkautschuks.

Wie steht es nun heute mit der Qualität? Hat die Wissenschaft zwischen den beiden Weltkriegen den Kunstkautschuk verbessern können? Die Antwort lautet: Es sind ungeheure Fortschritte auf diesem Gebiet erzielt worden. Aber der Naturkautschuk ist dem Kunstprodukt in mancher Hinsicht noch immer überlegen. Besonders ist er der Dauerbeanspruchung in Autoreifen besser gewachsen.

Intensive Bemühungen um verbesserte Synthesen des Kautschuks sind in verschiedenen Teilen der Welt unternommen worden. Zuerst hat in der Sowjetunion der bedeutende Chemiker *Lebedew* wichtige Erfolge erzielt. Auch heute ist die Sowjetunion das Land, in dem der größte Teil des Kautschukbedarfes durch das synthetische Material gedeckt wird.

Um das Jahr 1935 trat Deutschland mit der sensationell aufgemachten Mitteilung an die Öffentlichkeit, es habe das Problem des Kunstkautschuks gelöst. „Buna“ heißt das deutsche Erzeugnis, zu dessen Herstellung der Chemietrust IG-Farben eine Reihe von Fabriken baute. Einige dieser Fabriken sind auch heute in Betrieb, so das große Werk Schkopau in der Deutschen Demokratischen Republik und die Fabrik Hüls in Westdeutschland.

Schließlich standen die Vereinigten Staaten im Zweiten Weltkrieg, als die Japaner innerhalb weniger Wochen Malaya und Indo-

nesien besetzt hatten, vor der Notwendigkeit, in größter Eile eine Ersatzproduktion in Gang zu bringen. Die Aufgabe konnte in kurzer Zeit gelöst werden. Dessenungeachtet führen die USA heute wieder sehr große Mengen Naturkautschuk ein. Die Unterdrückung der Freiheitsbewegung in Malaya dient hauptsächlich dem Zweck, den Dollarerlös des dortigen Kautschuks Großbritannien zu erhalten.

Die erste Voraussetzung für eine erfolgreiche *Kautschuksynthese* war die Kenntnis des chemischen Aufbaus des Naturkautschuks. Der natürliche Kautschuk kommt in Form winziger Kügelchen im Milchsaft (*Latex*) des Kautschukbaumes (Hevea) vor. Dieser Baum ist eigentlich in den dampfenden Dschungeln um den Amazonasstrom heimisch. Die Regierung Brasiliens hatte im vorigen Jahrhundert die Ausfuhr von Kautschuksamen bei schwerer Strafe verboten, um ihr Monopol zu erhalten. Bekanntlich gelang es aber doch, den Kautschuk insgeheim nach den britischen, holländischen und französischen Kolonien Ostasiens zu verpflanzen. Von dort kommt heute unvergleichlich mehr Kautschuk als aus Brasilien, obwohl amerikanische Firmen (Ford) versucht haben, die brasilianische Kautschukgewinnung wieder zu beleben.

In der Sowjetunion, wo es für den Kautschukbaum zu kühl ist, pflanzt man statt dessen eine Löwenzahnart aus dem Gebirge Tien-Schan, die in der Sprache der dortigen Bevölkerung *Kok-Sagýs* heißt. Schon der Milchsaft unseres gewöhnlichen Wiesenlöwenzahns enthält Kautschuk; freilich nur in der winzigen Menge von 0,3 Prozent des Wurzelgewichtes. *Kok-Sagýs* dagegen enthält in seinen Wurzeln mehrere Prozent, in einzelnen Fällen bis zu 20 Prozent Kautschuk. Die Qualität ist der des Heveakautschuks mindestens ebenbürtig. Während des Krieges lieferte die Sowjetunion den Engländern und den Amerikanern Samen des *Kok-Sagýs* für Versuche.

Der jährliche Ertrag pro Hektar reicht an den einer tropischen Heveapflanzung nicht heran. Das ist größtenteils darauf zurückzuführen, daß *Kok-Sagýs* in gemäßigtem oder sogar in kühlem Klima gedeiht, zum Beispiel in der Ukraine und um Minsk, wo aller Pflanzenwuchs langsamer erfolgt. Andererseits erzielt man die Ernte schon nach sechs Monaten, während die Heveabäume erst nach Jahren Kautschuk liefern. Als Feldfrucht läßt sich *Kok-Sagýs* auch leicht

in eine geeignete Fruchtwechselfolge einfügen. Als Hauptvorteil erscheint aber der Umstand, daß der Bau, das Jäten und die Ernte des Kok-Sagys mechanisiert werden können.

Heute weiß man, wie das Molekül des Naturkautschuks aufgebaut ist. Es ist ein *Riesenmolekül* und kann zehntausendmal größer sein als die wohlbekannten Moleküle der Schulchemie, zum Beispiel das Molekül des Wassers. Trotz seiner Größe ist das Molekül aber doch verhältnismäßig einfach zusammengesetzt. In ihm wiederholen sich nämlich in ermüdender Eintönigkeit immer wieder — etwa 2000- oder 3000mal — die gleichen kleinen Bausteine, die wie die Perlen einer Kette aneinander gereiht sind. Jeder von ihnen besteht aus fünf Atomen Kohlenstoff und acht Atomen Wasserstoff und hat in der Chemie den Namen *Isopren*.

Aus dieser Art seines chemischen Aufbaus erklärt man auch die einzigartige Elastizität des Kautschuks. Die Atome, die das Molekül zusammensetzen, sind nämlich — so wie alle Atome — in heftiger Bewegung begriffen. Wenn man die Moleküle sozusagen sich selbst überläßt, nehmen sie auf Grund der regellosen Bewegung der Atome „am liebsten“ eine unregelmäßige Form an. Das faden- oder kettenförmige Riesenmolekül verknäuelte sich also ähnlich wie ein Wollfaden, mit dem man eine Katze spielen läßt. Um das Molekül aus der Verknäuelung zu befreien und zu strecken, muß man diese „Tendenz zur Unordnung“ überwinden. Das gelingt nur unter Anwendung einer Kraft. Sobald die Kraft aussetzt, schnellt das Molekül wieder in eine ungeordnete geknäuelte Form zurück: Ein aus solchen Molekülen bestehendes Band verkürzt sich; das ist die Grundlage der *Elastizität* des Kautschuks (*Abbildung 30*).

Es ist nun wirklich gelungen, synthetisch Moleküle aufzubauen, die in ihrer Struktur denen des Kautschuks überaus ähnlich — wenn auch nicht mit ihnen völlig identisch — sind. Praktisch verwendet man als Baustein statt des Isoprens einen nahen Verwandten dieses Stoffes, das *Butadien* — und auch dieses nicht für sich allein, sondern meist gemischt mit dem sogenannten *Styrol*. Der Name *Buna* ist aus „Bu“ (Butadien) und „Na“ (Natrium) zusammengesetzt. Das Metall Natrium befördert nämlich durch seine Anwesenheit bei einer bestimmten Ausführungsform des technischen Prozesses das Aneinander-

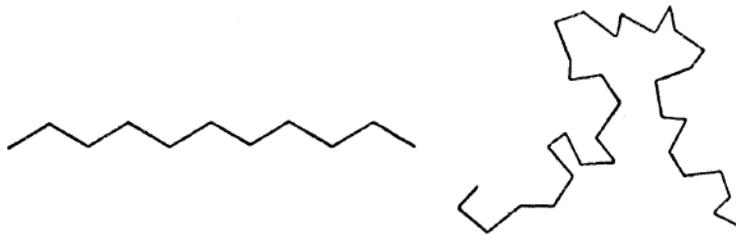


Abbildung 30

links: gestreckte
 rechts: geknäuelte
 Form des Moleküls eines kautschukartigen Stoffes.

kleben (die sogenannte *Polymerisation*) der einzelnen Butadien-Bausteine: es wirkt als Katalysator.

Am meisten verbreitet ist aber wohl die *Emulsions-Polymerisation*, bei der sich die zu polymerisierenden Bausteine in einer stabilisierten wäßrigen Emulsion befinden; sie sind dann in winzigen Tröpfchen im Wasser aufgeschlemmt. (Hier kann natürlich nicht das gegen Wasser unbeständige Natrium, sondern es müssen andere Katalysatoren verwendet werden.) Bei diesem Verfahren wird auch der fertige Kunstkautschuk direkt als Emulsion erhalten; sie ist dem natürlichen Latex nicht unähnlich und kann oft ebenso wie dieser direkt zur Herstellung von Kautschukgegenständen verwendet werden. (Aus Latex erzeugte Gegenstände zeichnen sich durch besonders hohe Qualität aus, weshalb seine Verwendung zunehmende Verbreitung findet.)

Kautschuk hervorragender Güte erhält man — freilich auf Kosten der Reaktionsgeschwindigkeit —, wenn man den Aufbau der Riesemoleküle bei ziemlich tiefer Temperatur, etwa bei 5 Grad Celsius, erfolgen läßt; meist aber arbeitet man bei 45 bis 50 Grad.

Das Butadien selbst kann durch verschiedene Verfahren hergestellt werden. In Deutschland geht man gerne vom *Azetylen* aus, das man seinerseits wieder durch Behandeln von *Kalziumkarbid* mit Wasser gewinnt. Das Karbid macht man aus Kalk, Kohle und Strom. Für Deutschland ist dieses Verfahren als rein *industrielles* Verfahren anziehend. Wirtschaftlicher ist es, vom *Gärungs-Alkohol* — also

letzten Endes von Kartoffeln, Weizen oder Mais — auszugehen, doch beansprucht man damit die Nahrungsmittelbasis des Landes. In der UdSSR und in den USA ist man schließlich dazu übergegangen, das Butadien aus *Erdgas* oder *Krackgas* (siehe Seite 166) zu erzeugen. Das Styrol ist auch ein chemisch umgewandeltes Erdgas- oder Erdölprodukt.

Wegen der höheren Qualität des Naturkautschuks kommt man noch immer nicht ganz ohne diesen aus. Es besteht aber kein Zweifel, daß über kurz oder lang der synthetische den Naturkautschuk an Qualität einholen, ja sogar übertreffen wird.

Woher nehmen wir diese Gewißheit? Niemand weiß, wozu die Pflanze Kautschuk macht und braucht. Aber sicher hat sich der Kautschukbaum im Laufe seiner Entwicklung in seiner Natur keineswegs der Aufgabe angepaßt, dem Menschen Material für Autoreifen und Gasschläuche zu liefern; selbst durch Züchtung wird man ihn immer nur bis zu einem gewissen Grad einer solchen, ihm von Natur aus fremden Aufgabe anpassen. Die Chemiker dagegen befassen sich zielsetzend mit der Verbesserung des Produktes und machen jedes Jahr Fortschritte. Die Struktur des Moleküls kann planmäßig so gestaltet werden, wie wir es haben wollen.

Auch kann man sich bei der Kautschuksynthese einer *Vielfalt* von Verwendungszwecken anpassen: Für Autoreifen zum Beispiel ist Abriebfestigkeit (auch bei tiefer und hoher Temperatur) besonders wichtig. Für Schlauchleitungen ist man oft besonders auf chemische Widerstandsfähigkeit, vor allem gegen Lösungsmittel, bedacht. In anderen Fällen verlangt man besondere Wetterfestigkeit und Lichtbeständigkeit. Schließlich kann auch die Fähigkeit zum Haften an Textilfasern, Leder oder Metall wichtig sein. Solche Anpassung kann zum Beispiel durch Ersatz des Styrols bei der Polymerisation durch andere Bausteine erreicht werden. Eine weit radikalere Veränderung des Kautschukmoleküls ergibt sich durch teilweisen Ersatz von Kohlenstoff durch das diesem verwandte Element *Silizium*. Der so erhaltene *Silikon-Kautschuk* ist besonders temperatur-, öl- und wetterbeständig und eignet sich daher für bestimmte Flugzeugbestandteile und zur Umhüllung von Kabeln.

Die verbleibenden Schwierigkeiten werden mit der Zeit gewiß

überwunden werden. Dann wird der Kunstkautschuk — was er zugegebenerweise heute noch nicht kann — den Naturkautschuk auf jedem Anwendungsgebiet an Qualität übertreffen.

Ein weiterer Grund für den unvermeidlichen Sieg des Kunstkautschuks liegt darin, daß nur ein kleiner Teil der Heveapflanze aus Kautschuk besteht. Der Hauptteil der Pflanze hat wenig Wert. Daß unter diesen Umständen der asiatische Naturkautschuk noch heute nicht nur in bezug auf die *Qualität*, sondern auch auf den *Preis* mit dem Kunstprodukt konkurrieren kann, ist weitgehend auf die Billigkeit der dortigen Arbeitskraft zurückzuführen. Nicht unbegrenzt aber werden sich die Kulis mit den gegenwärtigen Hungerlöhnen zufriedengeben.

Im Zeitalter der Kunststoffe

Haushaltsgegenstände oder Sportgeräte aus Kunststoffen, also aus *plastischen Massen* oder *Kunsthharzen*, sind uns zu einer Selbstverständlichkeit geworden. In leuchtenden Farben sehen sie uns freundlich an. Elektrotechnische Artikel aus Kunststoff, wie Telephone und Schalter, sind uns längst vertraut. Und doch ist die Industrie der Kunststoffe ein Kind der letzten Jahrzehnte. Während die ganze Weltproduktion an Kunststoffen noch um die Jahrhundertwende kaum 20000 Tonnen betrug, hat sie heute die Zwei-Millionengrenze überschritten. Während vor fünfzig Jahren die verfügbaren Arten an Kunststoffen an den Fingern einer Hand abzuzählen waren, gibt es jetzt wohl schon hunderterlei chemisch verschiedene Arten plastischer Massen.

Die erste plastische Masse im modernen Sinn des Wortes war das allbekannte *Zelluloid*, das mitten im vorigen Jahrhundert bei anders gerichteten Experimenten durch Zufall entdeckt wurde. Das Zelluloid besteht aus Nitrozellulose, die innig mit Kampfer vermischt ist. Die Nitrozellulose ist durch große Festigkeit gekennzeichnet, ist aber im reinen Zustand — besonders in der Kälte — recht spröde. Der Kampfer wirkt nun, wenn er in die Nitrozellulose eingeknetet wird, als „Weichmacher“, das heißt er macht die Nitrozellulose so richtig plastisch und geschmeidig und nimmt ihr die Sprödigkeit. Das Zelluloid hat sich bis zum heutigen Tage für einfache und billige Massenartikel, zum Beispiel für Käämme und Zahnbürsten, behauptet. Ein Nachteil ist natürlich seine gefährliche Brennbarkeit. Die verwendete Nitrozellulose ist schließlich eine ganz nahe Verwandte der Schießbaumwolle!

Zu den allgemeinen technischen Vorteilen der plastischen Massen gehört, daß sie schon bei leicht erhöhter Temperatur so bildsam

werden, daß man ihnen mit Hilfe von Formen die gewünschte Gestalt geben kann, die sie dann beim Erkalten beibehalten. Die Formen können beispielsweise aus Metall bestehen. Die Kunststoffe können gegossen, gepreßt oder gespritzt werden. Wenn gewünscht, lassen sie sich auch nach dem Erkalten mit Werkzeugmaschinen, zum Beispiel auf der Drehbank, bearbeiten; das ist aber meistens gar nicht nötig. Das *Nylon* und das *Perlon* werden bei der Garn-erzeugung in geschmolzenem Zustand durch Spinn-*düsen* gepreßt. Aus diesen beiden Kunststoffen werden bekanntlich auch Bürsten, Beutel und sonstige Gebrauchsgegenstände des täglichen Bedarfes erzeugt.

Manche plastische Massen, so das Zelluloid, erweichen beim neuerlichen Erhitzen ebenso wie bei der erstmaligen Erwärmung („thermoplastische Massen“). Andere wieder, so der bekannte *Bakelit*, unterliegen bei der ersten Erwärmung komplizierten chemischen Reaktionen, die nicht mehr rückgängig werden und die Masse für dauernd erstarren lassen. Solche „härtende“ Kunststoffe können nur einmal in ihrem „Leben“ geformt werden.

Ein anderer großer Vorteil der plastischen Massen ist ihr *geringes spezifisches Gewicht*. Sie sind natürlich unvergleichlich leichter als Eisen, aber auch noch ganz bedeutend leichter als Leichtmetall oder keramische Massen (Porzellan) und Glas. Die Kunststoffe bewähren sich daher insbesondere auch dort, wo Formstücke zwar kein vorbestimmtes Gewicht, aber eine vorbestimmte Größe (Volumen) haben; so ist ein Telephonapparat natürlich um so leichter, je kleiner die Dichte des Werkstoffes ist. In manchen Fällen kann man die Dichte noch weiter verkleinern, indem man die Kunststoffe mit Luftblasen erfüllt, also eine Art festen Schaum erzeugt. Durch ihre Leichtigkeit ersetzen die zwei Millionen Tonnen Kunststoff der Weltjahresproduktion ein viel größeres Gewicht an Metall oder Glas.

Das Wort „ersetzen“ soll aber ja nicht den Eindruck hervorrufen, es handle sich bei den Kunststoffen um (minderwertige) Ersatzmittel! Die Kunststoffe mit ihren vielfältigen interessanten Eigenschaften haben ihre eigenen Anwendungsbereiche, in denen sie den durch sie verdrängten herkömmlichen Werkstoffen in bezug auf

technische Qualität, also durch ihre chemische, mechanische und elektrische Widerstandsfähigkeit, ihre Schönheit und ihre Wirtschaftlichkeit durchaus überlegen sind. Wer würde heute noch eine Wohnung mit Lichtschaltern aus Porzellan ausrüsten?

Was sind nun die Kunststoffe vom Standpunkt der Wissenschaft? Das ist gar nicht so schwer zu erklären. Ihr entscheidendes Kennzeichen ist, daß es *organische* (also kohlenstoffhaltige) Stoffe sind, die in ihren Molekülen ganz enorme Mengen von Atomen enthalten — Hunderttausende oder sogar Millionen. Wie klein erscheinen uns im Vergleich zu den Molekülen dieser plastischen Massen die Moleküle altvertrauter organischer Stoffe, etwa des Aspirins (21 Atome im Molekül) oder des Rübenzuckers (45 Atome im Molekül)!

Während Stoffe mit kleinen Molekülen — wie eben das Aspirin oder der Zucker — krümelig und zerbrechlich sind, sind aus Riesenmolekülen zusammengesetzte Stoffe fest. Im Sinne der Atomlehre versteht man das so, daß die Kleinmoleküle bei mechanischer Beanspruchung, durch die auf sie Zug ausgeübt wird, leichter voneinander abgleiten als die Großmoleküle, die miteinander sozusagen besser verzahnt und verfilzt sind — ähnlich wie Baumwollgarne oder Papierblätter besonders fest sind, wenn sie aus langen Fasern bestehen.

Freilich soll das nicht etwa heißen, daß *jede* Substanz, die aus Riesenmolekülen besteht, ein Kunststoff ist. Manche dieser Stoffe haben gar keine technische Brauchbarkeit, anderen wieder, wie gewissen Faserstoffen (Zellulose) oder elastischen Stoffen (Kautschuk), mangelt die plastische Verformbarkeit, die definitionsmäßig für die Kunststoffe wesentlich ist. Ob ein großmolekularer Stoff diese kennzeichnende Eigenschaft besitzt oder nicht, hängt von den Einzelheiten des chemischen Baues der Moleküle ab.

Allerdings zeigt gerade das Beispiel des Kautschuks, daß man durch geeignete chemische Behandlung Stoffen die erforderliche Formbarkeit verleihen kann. Im Urzustand, wie ihn die Natur uns liefert, ist der Kautschuk überhaupt nicht brauchbar. Die Riesenmoleküle des Kautschuks halten einander nur durch geringe Kräfte fest, gleiten daher bei Beanspruchung aneinander ab. Roher Kautschuk hat deshalb nur geringe Festigkeit. Eine gewisse teilweise

Bindung der Moleküle aneinander erzielt man durch Behandlung mit Schwefel, dessen Atome zwischen je zwei Einzelmolekülen des Kautschuks „Brücken“ schlagen und sie dadurch aneinander befestigen. Das ist die *Vulkanisation* des Kautschuks. Alle Auto- und Fahrradreifen, alle Spielbälle und Gummischläuche sind vulkanisiert. Wendet man nun aber eine größere Menge Schwefel an, so wird die Verknüpfung enger, die Moleküle nehmen starrere Lagen an, der Kautschuk verliert seine einzigartige Elastizität und auch seine Löslichkeit in Lösungsmitteln. Ein Kautschukgegenstand behält dann die Form, die man ihm vor der Vulkanisation gegeben hat. So entsteht der *Hartgummi*, eine Art Vorläufer unserer plastischen Massen.

Ihrer Entstehung nach gibt es *zwei Grundtypen* von plastischen Massen. Früher verwendete man zur Herstellung der Kunststoffe ausschließlich von der Natur vorgebildete Riesenmoleküle. Der Mensch veränderte höchstens diese Moleküle, aber er vergrößerte sie nicht weiter. Zu diesen Kunststoffen gehört der *Galalith*, dessen Name auf griechisch „Milchstein“ heißt. Er zeichnet sich durch seine warme weiße Farbe und seinen matten Glanz aus und wird zum Beispiel zur Herstellung von Dominosteinen verwendet. Er besteht aus dem *Kasein* (dem Käsestoff, also dem Topfen) der Milch, das durch Formalin gehärtet und gegen Wasser und Mikroben widerstandsfähig gemacht worden ist. Das Riesenmolekül des Kaseins, das zu den Eiweißkörpern gehört, ist aber schon in der Natur vorgebildet. Auch die *Nitrozellulose* für die Verwendung im *Zelluloid* enthält natürliche Riesenmoleküle, nämlich die der Zellulose; die Zellulose wird bloß mit Hilfe von Salpetersäure in die Nitrozellulose übergeführt, um sie wasserabstoßend zu machen. Das *Zellglas* (*Cellophan*) ist einfach Zellulose, die aufgelöst und dann wieder in Form einer Folie aus der Lösung ausgefällt wurde.

Nun sind aber gerade in den letzten Jahrzehnten Kunststoffe einer zweiten Type in den Vordergrund getreten, die auf den Namen Kunststoff in höherem Maße Anspruch haben als die etwas altmodischen Massen Galalith und Zelluloid. Das sind die *vollsynthetischen* Stoffe, die der Mensch herstellt, ohne von naturgewachsenen Riesenmolekülen Gebrauch zu machen. Man geht also von ganz

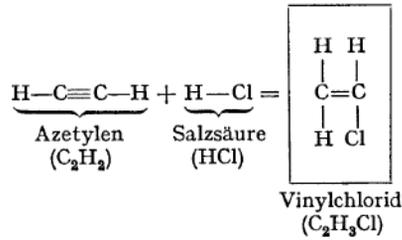
kleinen Molekülen aus, deren jedes nur relativ wenige Atome enthält, und baut aus ihnen erst in der Fabrik Riesenmoleküle auf. Der Vorgang ist also dem bei der Kautschuksynthese ähnlich. So werden beispielsweise bei der Herstellung des berühmten Nylon jeweils 150 bis 300, bei gewissen anderen Kunststoffen aber auch mehrere tausend kleine Moleküle zu einem Riesenmolekül verknüpft.

Der Grund für diese industrielle Tendenz zur Vollsynthese ist interessant. Die natürlichen Riesenmoleküle müssen wir so nehmen, wie sie uns vom Baum (Zellulose) oder von der Kuh (Kasein) geliefert werden. Aber die Kuh legt keinen Wert darauf, daß wir aus ihrer Milch gute Dominosteine machen können, und den Baum interessiert es nicht, ob der Zelluloidkamm elastisch ist. Die Natur hat sich natürlich dem Zweck des Menschen nicht angepaßt. Wir müssen ihre Riesenmoleküle im großen ganzen so nehmen, wie sie sie uns liefert; wir können nachträglich nur bis zu einem gewissen Grad modifizieren. Wenn wir dagegen das Riesenmolekül im Laboratorium selbst aufbauen, so können wir die Synthese von Anfang an mit viel besserer Annäherung in die Richtungen lenken, die uns genehm sind, wir können also die Natur überbieten. Man kann „nach Maß“ arbeiten. Daher ist unbedingt damit zu rechnen, daß die vollsynthetischen Kunststoffe ihre „halbsynthetischen“ Konkurrenten in weiter zunehmendem Maße verdrängen werden.

Einer der ältesten Werkstoffe dieser Art ist der praktische und billige, aber nicht besonders schöne braune oder schwarze *Bakelit*, ein „härtendes“ Kunstharz. Er wird aus *Phenol* (das aus dem Steinkohlenteer stammt und Spitalsbesuchern als *Karbolsäure* unangenehm bekannt ist) und *Formalin* aufgebaut. Der Bakelit besteht also aus zweierlei Bausteinen. Moderner ist beispielsweise das „thermoelastische“ sogenannte *Polyvinylchlorid* oder PVC. Der Ausgangsstoff des PVC ist das aus Kalziumkarbid zu gewinnende *Azetylen*. Das Azetylen wird zuerst mit Salzsäure zum sogenannten Vinylchlorid verbunden, und dieses wird dann zum Riesenmolekül aufgebaut (*Abbildung 31*). Das PVC besteht also nur aus Bausteinen einer einzigen Art, eben den Molekülen des Vinylchlorids. Das *Plexiglas* ist ein richtiges organisches Glas (vgl. Seite 185), das sich durch Durchsichtigkeit, Wetterbeständigkeit und Splitterfreiheit auszeichnet.

Erste Phase:

Erzeugung von Vinylchlorid aus Azetylen und Salzsäure



Zweite Phase:

Polymerisation von Vinylchlorid zum Kunststoff Polyvinylchlorid (PVC)

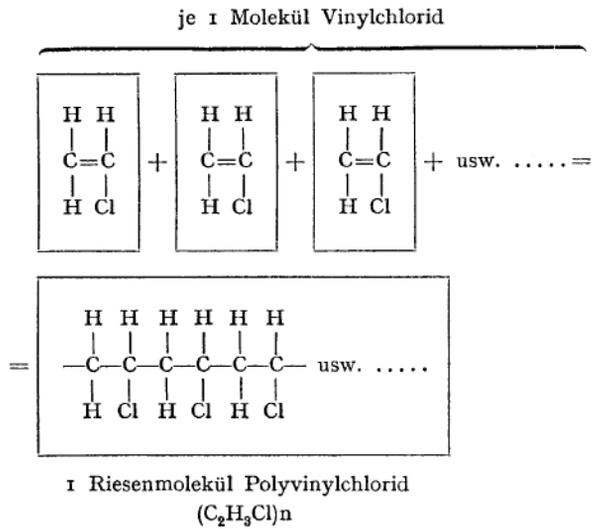


Abbildung 31

Aufbau des Riesenmoleküls eines modernen Kunststoffes (Polyvinylchlorid).

Auch manche einfache organische Moleküle, die in Erdöl und Erdgas enthalten sind, lassen sich ausgezeichnet zu Riesenmolekülen aufbauen. Die zur Verfügung stehenden Mengen sind natürlich enorm. Sehr bemerkenswerte Widerstandsfähigkeit in jeder Hinsicht weist das *Polyäthylen (Polythen)* auf, das bei 300 Grad Celsius und 1000 Atmosphären Druck aus dem Gas Äthylen gewonnen wird. Dem Erdöl und dem Erdgas entstammt auch zumeist das in der Radioindustrie beliebte *Polystyrol (Trolitul)*.

Wir stehen erst am Ausgangspunkt des Kunststoffzeitalters. Man experimentiert noch viel. Schon sind versuchsweise ganze Autokarosserien — die dann völlig in einem Arbeitsgang gepreßt werden können — hergestellt worden. Auch Bauteile, Boote, Sportgegenstände werden aus Kunststoff erzeugt. Man bemüht sich auch, Kunststoffe möglichst hitzefest zu machen. So hat man in letzter Zeit Kunststoffe hergestellt, die außer Kohlenstoff noch Atome des Elementes Fluor, aber keine Wasserstoffatome im Molekül enthalten. Solche Stoffe erweichen erst bei 350 Grad.

Besonders interessant ist schließlich der Versuch, davon abzugehen, daß das Gerüst des Riesenmoleküls unbedingt aus *Kohlenstoffatomen* bestehen muß. Man ersetzt den Kohlenstoff durch das ihm chemisch nächstverwandte Element, das *Silizium*. Man erhält auf diese Weise die sogenannten *Silikone*, die in verschiedener Hinsicht zu großen Erwartungen berechtigen. Die Silikone lassen sich je nach ihrem Aufbau als Sonder-Schmieröle, als Preßstoffe oder als Kautschuke verwenden. Ihnen allen ist ihre hohe chemische und elektrische Widerstandsfähigkeit sowie ihre Wärmebeständigkeit gemeinsam. Der Rohstoff der Silikone ist letzten Endes der gewöhnliche Sand, das Siliziumdioxid.

Im Bereich des Lebens

Wir leben von Licht und Luft

Wie zwerghaft muß uns noch immer die Produktion in den chemischen Fabriken gegenüber der chemischen Produktion in der Natur erscheinen — besonders gegenüber der sogenannten *Photosynthese* (Aufbau organischer Körperstoffe mit Hilfe des Sonnenlichtes) durch die grüne Pflanze! Das ist für die lebende Substanz die wichtigste aller chemischen Reaktionen. Viele bedeutende Gelehrte haben sich um ihre Aufklärung bemüht. Eine bemerkenswerte Gestalt unter ihnen war der Russe *K. A. Timirjasew*, der auch außerhalb seines engen Fachgebiets ein Vorkämpfer des Fortschritts war.

Über ungeheure Flächen erstrecken sich die dunklen Fichtenwälder des Nordens. Andere riesige Gebiete werden von dampfenden tropischen Urwäldern eingenommen. Im Süßwasser und in den Ozeanen recken sich die Wasserpflanzen zum Licht. Frei schwimmen unvorstellbare Mengen von Algen. Alle diese grünen Pflanzen entfalten zu jeder Stunde des Tages ihre chemische Tätigkeit. Sie nützen die Energie des Lichtes zum Aufbau von Körpersubstanz aus, von Zellulose, Eiweiß und Stärke.

Die Pflanzen vollbringen diese Aufbauleistung mit Hilfe ihres grünen Farbstoffes, des *Blattgrüns (Chlorophyll)*. Die Pflanzen enthalten viel weniger als ein Prozent an diesem Wunderstoff; das genügt aber, um das Sonnenlicht einzufangen und seine Energie der Pflanze nutzbar zu machen. Es handelt sich somit bei der Photosynthese — ähnlich wie bei der Schwärzung einer Photoplatte durch das Licht — um eine *Lichtreaktion*, also um eine *photochemische* Reaktion. Am wirksamsten ist im Falle der Photosynthese durch die Pflanze einerseits rotgelbes, andererseits blaues Licht. Mit Hilfe des Lichtes wird die Luftkohlendioxid (CO_2) — also das Verbren-

nungsprodukt des Kohlenstoffes — wieder in Kohlenstoff (C) und Sauerstoff (O) gespalten und der Kohlenstoff wird in den Kreislauf des Lebens zurückgeführt.

Das Chlorophyll ist eine verhältnismäßig einfache chemische Verbindung, deren Bau genau bekannt ist. Das Blattgrün-Molekül enthält neben Kohlenstoff, Wasserstoff, Sauerstoff und Stickstoff merkwürdigerweise ein Atom Magnesium. Das Blattgrün löst sich mit wunderschöner Farbe in Alkohol; jeder kann mit Gras den Versuch anstellen. Unsere Kenntnis des Blattgrüns verdanken wir hauptsächlich dem großen deutschen Chemiker *Richard Willstätter*, der als Jude von den Nazi verfolgt und in einen bitteren Tod getrieben wurde.

Die Leistung der Pflanzen ist wahrhaft gigantisch. So kann ein Hektar Zuckerrüben mit Hilfe der Sonnenenergie innerhalb eines Jahres der Luft 50 Tonnen Kohlenstoff entziehen! Das entspricht fünf Eisenbahnwaggon Steinkohle. Man hat eine Schätzung versucht, wieviel Kohlenstoff die gesamte Landpflanzendecke der Erde alljährlich der Luft entnimmt. Eine solche Schätzung ist natürlich äußerst schwierig und grob. Denn noch niemand hat gemessen, wieviel Kohlensäure ein Kaktus, eine Palme, ein Grashalm oder eine Fichtennadel verarbeiten kann. Immerhin schätzt man, daß die Landpflanzen alljährlich 20 Milliarden Tonnen Kohlenstoff umsetzen. Das entspricht einem Zehntel des gesamten Kohlensäuregehaltes der Luft über den Landflächen und dem Zehnfachen der jährlichen Weltkohlegewinnung.

Ist schon der Kohlenstoff-Umsatz durch die Photosynthese der Landpflanzen schwer abzuschätzen, so ist eine entsprechende Schätzung für die Wasserpflanzen überhaupt kaum mehr möglich. Gleichwohl meinen manche Forscher, daß die Gesamtleistung der Wasserpflanzen jene der Landpflanzen noch um das Zehnfache übertrifft. Allerdings bilden die Ozeane auch ein besonders großes Reservoir von Kohlensäure, von der sie ungefähr hundertmal mehr enthalten als das Luftmeer. Dies kommt zu geringem Teil von der guten Wasserlöslichkeit der Kohlensäure (erinnern wir uns an das Sodawasser!), zum größeren Teil aber von dem Gehalt des Meerwassers an gelösten kohlensauren Salzen.

Über den *Mechanismus* der Photosynthese war bis in die letzte Zeit sehr wenig bekannt. Man kannte zwar viele der oft kompliziert gebauten Stoffe, die die Pflanze unter dem Einfluß des Lichtes bilden kann. Aber man konnte unmöglich annehmen, daß die Pflanze diese Stoffe sozusagen auf einen Schlag aus so einfachen Bestandteilen wie der Kohlensäure und dem Wasser aufbaut.

Zwar weist zum Beispiel das Molekül eines einfachen Zuckers, der *Glukose* (Traubenzucker), der in Pflanzen allgegenwärtig ist, eine Zusammensetzung auf, als wäre er aus Kohlenstoffatomen und Wassermolekülen aufgebaut. Wie die Chemiker sagen, ist seine Formel: $C_6H_{12}O_6$ ($=6 C + 6 H_2O$). Doch müssen die 24 Atome des Traubenzuckers in ganz bestimmter, komplizierter Weise miteinander verknüpft sein. Eine solche Verknüpfung kann offenbar nur durch *stufenweisen Aufbau* erreicht werden, indem die Atome eines nach dem anderen aneinandergesetzt werden, so wie der Mensch eine Maschine baut, indem er sorgsam der Reihe nach die Bestandteile zusammenfügt. Über welche Zwischenstufen nun aber der Aufbau bei den Pflanzenstoffen verläuft, wußte man nicht. Im Gegenteil, die ursprünglich aufgestellten Hypothesen haben sich im Lichte der neuesten Forschung sämtlich als unhaltbar erwiesen.

Erst nach dem letzten Krieg begann man die Aufbauwege der Pflanze kennenzulernen. Auch hier bewährte sich die *Radioaktivität* als Wegweiser. Man stellte das folgende Experiment an. Man brachte Pflanzen zunächst im Dunkeln in einem geschlossenen Gefäß in eine Atmosphäre, die *radioaktive Kohlensäure* enthielt. Diese Kohlensäure verhält sich in bezug auf ihre chemischen und auch ihre biochemischen Reaktionen ebenso wie die gewöhnliche inaktive Kohlensäure. Aber der in ihr enthaltene Kohlenstoff kann durch seine Strahlung erkannt und von inaktivem Kohlenstoff unterschieden werden.

Nun wurde das Gefäß für kurze Zeit belichtet. Nach einigen Sekunden oder Minuten wurde die Pflanze getötet und chemisch aufgearbeitet. Sodann wurden die Substanzen, die bei der Aufarbeitung in reiner Form gewonnen worden waren, einzeln auf Radioaktivität geprüft. Erwies sich beispielsweise das Blattgrün als radioaktiv, so mußte man schließen, daß es unter Verwendung radioaktiver Kohlensäure aufgebaut worden war. Das konnte aber nur in dem

Zeitraum geschehen sein, während dessen das Blatt in Anwesenheit von Radiokohlensäure belichtet worden war.

Indem man nun die Belichtungszeit systematisch immer weiter verkürzt, nähert man sich immer mehr der ausschließlichen Erfassung der *Primärprodukte* der Photosynthese. Zu diesen ursprünglichen Produkten der Photosynthese gehören, wie sich dabei zeigt, einfache organische Verbindungen, wie Glyzerinsäure und Äpfelsäure, die nur mehr drei oder vier Kohlenstoffatome im Molekül enthalten. (Immerhin braucht die Pflanze zur Bildung des recht komplizierten Rohrzuckers, der 45 Atome im Molekül enthält, nur wenige Minuten — eine sehr beachtliche synthetische Leistung. Dem Menschen ist die *Synthese des Rohrzuckers* erst in allerletzter Zeit geglückt!)

Ein Teil des Kohlenstoffes, der von den Pflanzen aus der Luft assimiliert, das heißt, in Körpersubstanz umgewandelt worden ist, kehrt in die Luft zurück, indem die Pflanzen von Tier und Mensch als Nahrung verzehrt werden und durch deren „Verbrennung“ im tierischen beziehungsweise menschlichen Organismus wieder Kohlenensäure frei wird. Zum Beispiel „haucht“ allein die Menschheit jährlich 500 Millionen Tonnen Kohlenensäure aus!

Ein weiterer (kleiner) Teil der assimilierten Kohlenensäure wird von den Pflanzen selbst nach Verbrennung eigener Körpersubstanz wieder ausgeatmet; die Verbrennung überwiegt des Nachts, wenn die Pflanze wegen Lichtmangels nicht assimiliert. Auch bei der Verwesung von Mensch, Tier und Pflanze entsteht — meist unter Mithilfe von Kleinlebewesen — Kohlenensäure.

Unter Umständen aber bleibt Pflanzen- und Tiersubstanz nach dem Tode noch lange erhalten: So sind in der Vorzeit einerseits die Torf- und die Kohlenlager, andererseits die Öllager entstanden.

Unsere Nahrung verdanken wir letzten Endes fast ausschließlich der Photosynthese durch die Pflanze. Darum haben sich die Forscher schon lange gefragt, ob man der Natur bei der Photosynthese nicht etwas nachhelfen könnte. Dabei ist der Gedanke aufgetaucht, das Sonnenlicht durch künstliches Licht zu ergänzen. Tatsächlich ist es unter gewissen Bedingungen üblich, Pflanzen in Gewächshäusern künstlich zu beleuchten. Das ist aber eine kostspielige Angelegenheit,

weil die Pflanze außerordentlich viel Licht braucht. Man hat gefunden, daß beispielsweise Getreide auf freiem Feld erst bei einer Beleuchtungsstärke von 30000 Meterkerzen am besten assimiliert. Das entspricht der Beleuchtung durch fünfzehn 1000-Watt-Lampen aus einer Entfernung von einem Meter. Diese Glühlampen verbrauchen aber alltäglich (in zwölf Stunden) 180 Kilowattstunden elektrischer Energie! Leuchtstoffröhren wären allerdings etwas genügsamer.

Eine zweite Möglichkeit zur Intensivierung der Photosynthese besteht in der *Kohlensäuredüngung*. Die atmosphärische Luft enthält sehr wenig Kohlensäure, nämlich nur zwischen einem Fünfundzwanzigstel und einem Fünfzigstel eines Prozents. Man hat versucht, über den Beeten oder Feldern Kohlensäuregas ausströmen zu lassen, das man zum Beispiel aus Feuerungen oder Kalkbrennöfen billig gewinnt. Das Vorhaben wird dadurch erleichtert, daß die Kohlensäure schwerer als Luft ist. Sie kriecht daher den Boden entlang, solange kein Wind herrscht. Tatsächlich nimmt die Geschwindigkeit des Pflanzenwachstums bis zu einem gewissen Grad mit zunehmender Kohlensäurekonzentration zu.

Experimente anderer Art zur Steigerung der Assimilation sind mit einzelligen *Algen* durchgeführt worden. Höhere, vielzellige Pflanzen (Getreide) können nämlich nicht unbegrenzt weiterwachsen, das heißt ihren Zellenbestand endlos vergrößern, da sie an ihre art eigene Form und Größe gebunden sind. Die Algen aber, die durch Spaltung immer wieder identische freilebende Einzeller liefern, unterliegen keiner solchen Beschränkung. Sie können ihre Zellen unbegrenzt vermehren. So hat man zum Beispiel in Japan versuchsweise diese freischwebenden Pflänzchen (Durchmesser: 2 bis 10 tausendstel Millimeter) in nährsalzhaltigem Wasser gezüchtet. Man hat sie unter Glas in einer Atmosphäre, die 5 Prozent Kohlensäure enthielt, um starke Lichtquellen herumgepumpt. Auf diese Weise erreicht man eine starke Beschleunigung der Bildung von organischer Substanz. Laufend können Algen abgezogen und kann neue Nährlösung zugeführt werden. Es handelt sich also um einen kontinuierlichen Prozeß, was technisch vorteilhaft ist. Man denkt daran, die Algen, deren Trockensubstanz volle 50 Prozent Eiweiß oder (andere Arten) bis zu 85 Prozent Fett enthalten kann, als Viehfutter zu verwenden.

Die tüchtigen Algen können 2·5 Prozent der Energie des auftreffenden Sonnenlichtes verwerten — zehnmal mehr als Weizen, wenn man dessen Winterruhe berücksichtigt.

Auf diese Weise könnte man gewiß zusätzliche Futterquellen und damit letzten Endes mehr Nahrung für die Menschheit gewinnen — den Weltuntergangs-Unkenrufen der Anhänger des englischen Pastors *Malthus* (1766 bis 1834) zum Trotz, nach deren Meinung die Erde der Menschheit zu eng wird. Die Frage ist allerdings noch keineswegs aktuell. Ungeheuer sind noch immer die Landflächen, die unter den Bedingungen der Rückständigkeit, die den Völkern durch das Kolonialsystem aufgezwungen wird, brachliegen oder doch nur mangelhaft ausgenützt werden. Erst wenn eines Tages aller Boden der Erde zweckmäßig ausgenützt ist, werden unsere Kindeskinde der Einführung neuer Methoden der Photosynthese ernsthaft näher-treten.

Vitamine und Antivitamine

In jener zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts, als das Bürgertum meinte, die von ihm geschaffene Ordnung der Dinge werde in alle Ewigkeit währen und alles sei nun im Grunde in endgültiger Weise und aufs beste geordnet, machte sich auch in der Wissenschaft ein merkwürdiger Geist der Selbstzufriedenheit geltend. Manche — wenn auch nicht die größten — Wissenschaftler äußerten die Ansicht, die wichtigsten Entdeckungen seien bereits gemacht. Der weitere Fortschritt der Wissenschaften bestehe wohl hauptsächlich im „Kampf um eine weitere Dezimale“. Ihre Aufgabe liege also vornehmlich in der weiteren Verfeinerung der Meß- und Rechenmethoden. Die Entdeckung von etwas grundsätzlich Neuem sei kaum mehr zu erwarten.

Diese Einstellung machte sich auch in dem als Wissenschaft von der *Ernährung* zu bezeichnenden Zweig der *Biochemie* breit. Viele Fachleute glaubten gewiß zu sein, daß alles Wesentliche über den Nahrungsmittelbedarf des Menschen bereits bekannt sei. Man hatte in umfangreichen Versuchsreihen den täglichen Bedarf an *Eiweiß* bestimmt, der den Menschen bei guter Gesundheit erhält; man hatte dabei Werte zwischen 50 und 100 Gramm erhalten. Man wußte auch, daß der Mensch Energie und Wärme (also „Kalorien“) braucht, die am besten durch die Verbrennung von *Kohlehydraten* (Stärke und Zucker) oder von *Fett* zu erhalten sind. Es hatte sich gezeigt, daß ein Erwachsener bei leichter Arbeit im Mittel mit 3000 Kalorien täglich auskommt — das sind 0,73 kg Zucker oder 1,1 kg Brot oder 0,33 kg Fett. Schließlich braucht man natürlich *Mineralstoffe* wie Kalk, Eisen usw. Mit diesen Ergebnissen war man recht zufrieden.

Aber so, wie die Physik um die Jahrhundertwende durch die Entdeckung der Röntgenstrahlen und der Radioaktivität wieder

in raschen Fluß gebracht wurde, so hatte die Entdeckung der *Vitamine* weittragende Folgen für die Wissenschaft, für die Biochemie. Es zeigte sich nämlich durch Versuche von *Lumin*, *Eijkman* und *Hopkins*, daß Versuchstiere verkümmerten und schließlich starben, wenn man sie auf eine Diät von sorgfältig gereinigtem hochwertigem Eiweiß, von chemisch reinem Kohlehydrat, ebenso reinem Fett und von Mineralstoffen gesetzt hatte. Die Tiere brauchten außerdem das, was man später als Vitamine bezeichnete.

Tier und Mensch sind mit Wärmekraftmaschinen verglichen worden. Der Vergleich hinkt natürlich auf drei von vier Füßen. Immerhin stimmt es, daß der Mensch ebenso wie der Benzinmotor Brennstoff braucht, wenn er sich bewegen und Arbeit leisten soll. Es stimmt auch, daß der Mensch ebenso wie der Motor aus „Werkstoffen“ besteht, die sich unvermeidlich abnutzen und daher ersetzt werden müssen. Die Kalorien, die das Benzin dem Motor liefert, liefern dem Menschen Kohlehydrat und Fett; den neuen Kolbenringen, Ventilen und Kugellagern, die der Motor von Zeit zu Zeit braucht, entspricht beim Menschen das Eiweiß, aus dem die Körperorgane laufend erneuert werden.

Aber der Motor braucht zu seinem Betrieb noch eine Kleinigkeit, wie schon mancher Motorfahrer zu seinem Leidwesen zu spät bemerkt hat: er braucht Schmieröl, damit die bewegten Teile ordentlich „miteinander auskommen“. Analog brauchen Mensch und Tier Vitamin. Genauer gesagt: sie brauchen eine ganze Anzahl verschiedener Vitamine, die chemisch miteinander gar nicht verwandt sind.

Der Verbrauch an Schmieröl ist viel kleiner als der an Benzin. Ebenso brauchen wir viel weniger Vitamin als Kohlehydrat. Die Vitamine werden eben nicht selbst zum Zweck der Energielieferung verbrannt, sondern sie vermitteln nur als sogenannte *Katalysatoren* (Beschleuniger chemischer Reaktion) den richtigen Ablauf der Körperfunktionen. Daß die Vitamine überhaupt immer von neuem dem Körper zugeführt werden müssen, kommt bloß daher, daß der Arbeitsprozeß des Körpers nicht verlustlos verläuft. Von manchen Vitaminen genügen uns einige millionstel Gramm (tausendstel Milligramm) im Tag. Dagegen benötigen wir von dem berühmten antiskorbutischen

Vitamin C viele Milligramm pro Tag — möglicherweise 50 —, um bei bester Gesundheit zu bleiben.

Mangel an Vitamin C hat in vergangenen Jahrhunderten vielen Menschen das Leben gekostet. Auf den langen Segefahrten nach fremden Kontinenten, auf den Polarexpeditionen mit Überwinterungen — überall begannen die Menschen müde und lustlos zu werden. Ihr Zahnfleisch begann zu bluten, sie verloren die Zähne und fielen leichten Infektionen widerstandslos zum Opfer. Das ist das gefürchtete Krankheitsbild des *Skorbuts*.

Im 18. Jahrhundert fand man in England, daß Zitronensaft vor Skorbut schützt. Im Jahre 1804 wurde den Kriegsschiffen die Mitnahme von Zitronensaft vorgeschrieben. Zunächst glaubte man, daß die Zitronensäure selbst vor Skorbut schütze. Erst in den Zwanzigerjahren unseres Jahrhunderts wurde gefunden, daß der Zitronensaft seine Heilkraft einer besonderen Verbindung verdankt, die jetzt als *Ascorbinsäure* bezeichnet wird. Diese Verbindung — eben das Vitamin C — ist nicht nur in Südfrüchten, sondern unter anderem auch in Gemüsen enthalten.

Praktisch wichtige Quellen dieses Vitamins sind Zitronen, Orangen, Johannisbeeren (Ribisel), Hagebutten (Hetschepetsch), Salat, Tomaten, Paprika, in der Sowjetunion auch Fichtennadelextrakt. Fleisch ist im allgemeinen keine gute Quelle, obwohl Innereien (Leber) ziemlich viel Vitamin C enthalten können. Kartoffeln weisen eine bedeutende Menge an dem Vitamin auf; wir decken daher einen großen Teil unseres Bedarfes durch die Kartoffel. Ihr verdankt man, daß in manchen Ländern — wie Irland und dem alten Polen — trotz großer Armut nie Skorbut ausgebrochen ist.

Leider zersetzt sich das Vitamin C ziemlich leicht, so daß der Gehalt bei langem Kochen und sogar beim Lagern der Lebensmittel ständig abnimmt. Außerdem verliert man einen großen Teil des Vitamins mit dem Kochwasser. Deshalb tritt als Folge eines gewissen Vitamin-C-Mangels bei vielen Menschen „Frühjahrsmüdigkeit“ auf. Der Einkauf von Südfrüchten in genügender Menge stellt für kinderreiche Familien allerdings ein schwieriges Problem dar.

Nicht jedes Tier braucht Zufuhr von Vitamin C. Die meisten Säugtiere können es selbst aus Zucker herstellen. So zeigen Hund und Katze

keine Neigung, Orangen oder Salat zu verschlingen. Auch die Ratten sind Selbstversorger. Tierexperimente müssen an Meerschweinchen angestellt werden. Wenig geklärt ist die Frage, wie die Polar- und Hochgebirgsvölker ihren Vitaminbedarf decken. Übrigens wird das Vitamin C, dessen chemische Formel bekannt ist, heute auch industriell durch Synthese hergestellt.

Wie sein Vorkommen in Obstsäften und der Verlust mit dem Kochwasser zeigen, ist das Vitamin C in Wasser löslich. Auch die Vitamine der sogenannten *B-Gruppe* sind wasserlöslich. Ursprünglich glaubte man, es da mit einem einzigen Vitamin zu tun zu haben, das man in Analogie zum Vitamin A und Vitamin C eben *Vitamin B* nannte. Später stellte sich heraus, daß das vermeintliche Vitamin B in Wirklichkeit eine Mischung der verschiedensten Einzelvitamine ist, die miteinander chemisch nicht verwandt sind. So sind zum Beispiel Vitamin B₁, B₂ usw. wohlbekannt und werden auch schon synthetisch hergestellt. Gut untersucht ist auch das Vitamin B₁₂, dessen Fehlen die *perniziöse Anämie* hervorruft. Dieses Vitamin ist insofern merkwürdig, als es knallrot ist und Kobalt enthält.

Die Vitamine der B-Gruppe kommen in wechselnden Mengen in vielen Naturstoffen vor, wie in der Milch, im Getreidekeimling, daher auch im Brot, das aus stark ausgemahlenem Mehl erzeugt ist, weit weniger aber im feinen weißen Brot. Zu den durch das Fehlen von B-Vitaminen hervorgerufenen Mangelkrankheiten gehören die *Beriberi*, die *Pellagra* usw. Es ist eine Schande, daß trotz unserer Kenntnis der Vitamine die Pellagra noch immer unter der Negerbevölkerung der USA wütet; im Staate Mississippi gehen alljährlich Tausende an Pellagra zugrunde. In den von Amerika beherrschten Philippinen starben im Jahre 1947 nicht weniger als 24 000 Menschen an Beriberi.

Zu den wasserunlöslichen, aber dafür fett- und öllöslichen Vitaminen zählen die Vitamine A, D, E und K. Das *Vitamin D* ist anläßlich des *Fortedolskandals* in den Mittelpunkt des Interesses getreten. Seine Überdosierung, die in diesem Fall infolge der Nachlässigkeit der Behörden erfolgt ist, führt nämlich schwere Schädigungen in Blutgefäßen und Nieren und in krassen Fällen den Tod herbei.

Die spezifische Rolle des Vitamin D besteht in seiner *antirachiti-*

schen Wirkung. Das Vitamin fördert die Ablagerung von Kalk in den Knochen. Offenbar ist diese Wirkung besonders für heranwachsende Kinder von entscheidender Bedeutung. Bei Vitaminmangel bilden sich die Zähne und Knochen nicht richtig aus. Die Knochen krümmen sich, statt sich zu strecken; in extremen Fällen wird der Körper völlig verkrüppelt. Da in den Industriestädten Englands, die unter den furchtbaren Bedingungen des Frühkapitalismus entstanden, die Rachitis besonders verbreitet war, wurde sie auch als „englische Krankheit“ bezeichnet.

Chemisch gehört das Vitamin D zu den sogenannten *Sterinen*, zu denen zum Beispiel die in tierischen Fetten bzw. in der Hefe vorkommenden Stoffe Cholesterin und Ergosterin gehören. Das Ergosterin läßt sich durch Bestrahlung mit *ultraviolettem Licht* in Vitamin D überführen, so daß Nahrungsmitteln, die an sich kein Vitamin D enthalten, durch Bestrahlung ein Vitamingehalt verliehen werden kann. Auch im tierischen und im menschlichen Körper selbst — und zwar natürlich nur in der Nähe der Körperoberfläche — wird das dort stets vorhandene Ergosterin durch das Sonnenlicht in Vitamin D umgewandelt. Deshalb brauchen auch Menschen, die im Sonnenlicht leben und arbeiten, weniger Vitamin D als etwa die im Halbdunkel der Zinskasernen der Großstadt aufwachsenden Kinder. Man weiß auch, daß die Katze beim Lecken ihres Fells bedeutende Mengen Vitamin D zu sich nimmt. Die Entdeckung, daß durch Licht aus dem „Provitamin“ Ergosterin das Vitamin D entsteht, hat verschiedene rätselhafte Befunde aus der Frühzeit der Vitaminforschung aufgeklärt.

Zu den natürlichen Quellen des Vitamin D gehören vor allem Milch und Butter, wobei bezeichnenderweise die Einwirkung von Sonnenlicht auf die Kuh und ihre Nahrung vorteilhaft ist. Auch Eidotter enthält ziemlich viel Vitamin D. Im Tierkörper ist die (fettige!) Leber stark vitaminhaltig. Besonders reich sind Fischleberöle. Schon der gewöhnliche Lebertran, der aus dem Dorsch (Kabeljau) gewonnen wird, enthält hundertmal mehr Vitamin als Butter. Heilbutt- und Thunfischleberöl können aber noch hundertmal reicher sein als Dorschleberöl. Wir wissen nicht, woraus das schwedische Präparat *Fortedol* erzeugt wird. Aber offenbar darf schon ein Ersatz von Dorsch-

leberöl durch das Leberöl anderer Fische nur unter großen Vorsichtsmaßregeln vorgenommen werden und ein Tropfen muß eventuell einen Eßlöffel ersetzen.

Das *Vitamin A* tritt oft — aber keineswegs immer — in Gesellschaft des *Vitamin D* auf. Das *Vitamin A* ist unter anderem für das normale Wachstum des Menschen und die klaglose Funktion seines Gesichtsinnes unentbehrlich. Bei mäßigem Mangel an diesem *Vitamin* tritt *Nachtblindheit* auf, bei anhaltendem und starkem Mangel aber sind viel ernstere und nicht wieder gutzumachende Schäden am Auge die Folge (vgl. Seite 249). So erblindeten viele Kinder während des Ersten Weltkrieges sogar im reichen Dänemark, als die Butter teuer ans Ausland verkauft wurde und die Kinder dafür vitaminfreie Margarine erhielten.

Immerhin: Damals wußte man noch nichts Näheres über die Vitamine. Aber heute, wo man sehr wohl Bescheid weiß, dürfte es nicht geschehen, daß in den Kolonien und Halbkolonien alljährlich Tausende von Kindern durch Vitaminmangel erblinden müssen. In Indien ist Vitaminmangel die häufigste Ursache von Blindheit. In gewissen Provinzen Mexikos leidet jedes fünfte Kind an Xerophthalmie („vertrockneten Augen“).

Vitamin-A-wirksam sind außer den Fischlebern Milch, Butter, Eier, Leber, grüne Gemüse und Karotten. Nicht immer beruht die Wirksamkeit unmittelbar auf dem *Vitamin*, manchmal vielmehr auf dem „Provitamin“ *Karotin*, aus dem der Körper selbst sein *Vitamin* herstellen kann.

Auch durch extreme Überdosierung von *Vitamin A* können, wie bei *Vitamin D*, Schäden bewirkt werden. So haben die Eskimos, die sonst jedes Stückchen Fleisch verwerten, offenbar durch Erfahrung gelernt, daß man keine Eisbärleber essen soll. Ohne etwas von Vitaminen zu wissen! Hierzulande brauchen wir allerdings nicht zu fürchten, zuviel *Vitamin A* zu uns zu nehmen. So viel Butter oder Karotten oder Salat kann auch ein Rekordesser nicht vertilgen, daß er dadurch in die Gefahrenzone kommt!

Das *Vitamin E* spielt für die Fortpflanzung eine noch nicht geklärte Rolle. Sehr interessant ist auch die Funktion des *Vitamin K*. Dieses *Vitamin*, das billig kiloweise synthetisch erzeugt werden kann,

ermöglicht die Bildung eines Wirkstoffes, der Blutungen verhindert. Es wird daher gegebenenfalls als Heilmittel verabreicht.

Am Vitamin K läßt sich die Wirkungsweise der sogenannten *Antivitamine* studieren. Man hat in gewissen Arten des Klees einen Naturstoff gefunden, der das Vitamin K biologisch neutralisiert, seine Wirkung zunichte macht. Dieser Klee hat in der Viehzucht in Amerika ernststen Schaden gestiftet, indem die Tiere schon bei geringfügigen Verletzungen verbluteten.

Bei näherer Untersuchung hat sich die interessante Tatsache herausgestellt, daß diesem Naturstoff *Dikumarol* ein chemischer Aufbau eigen ist, der dem des Vitamins zwar sehr ähnlich ist, mit ihm aber natürlich nicht gänzlich übereinstimmt. Man nimmt nun an, daß die Ähnlichkeit den tierischen Körper „täuscht“, daß also der Körper das *Dikumarol* in die Organe zieht, die auf das Vitamin angewiesen sind; dort verdrängt das Antivitamin das Vitamin, ohne jedoch dessen physiologische Leistungen vollbringen zu können. Der Doppelgänger erzeugt also die Erscheinungen des Vitaminmangels viel drastischer, als bloßer Mangel an Vitamin es vermöchte. Heute erzeugt man dieses Antivitamin industriell als Ratten- und Mäusegift. Die Nagetiere sterben dann an den Blutungen, die durch die Verdrängung des Vitamins verursacht werden. Auch das Antivitamin wird gelegentlich als Heilmittel verwendet, wenn nämlich allzu leichte Gerinnung des Blutes zu vermeiden ist.

Ein viel großartigeres Beispiel der Antivitaminwirkung geben aber die Heilmittel auf *Sulfonsäurebasis*. Auch Bakterien brauchen nämlich gewisse Vitamine. Zu ihnen gehört die sogenannte *Aminobenzoessäure*. Die Sulfonsäureverbindungen, die heute in größtem Maßstab zur Bekämpfung von Infektionskrankheiten wie Lungenentzündung und Syphilis verwendet werden, verdrängen nun wieder kraft ihrer chemischen Ähnlichkeit die Aminobenzoessäure aus dem Bakterienleib. So werden die Bakterien an Wachstum und Fortpflanzung gehindert. Man darf wohl erwarten, daß man bei zielbewußter Suche nach ähnlichen Antivitaminen noch manches wertvolle Heilmittel finden wird.

Das Krebsgift in der Butter

Die natürliche *gelbe Farbe* der Butter und des Käses rührt vom *Karotin* her. Das Karotin ist in den frischen Pflanzen enthalten, die die Kühe auf der Weide finden, und wird von ihnen auf die Milch übertragen. (Seinen Namen hat das Karotin von den Karotten, die ihm ihre Farbe verdanken.) Das Karotin ist nicht in Wasser, wohl aber in Fetten und Ölen löslich. Daher ist es in der Milch in den Fettkügelchen konzentriert und geht bei ihrer Verarbeitung in die Butter und nicht in die Magermilch über.

Das Karotin ist ein äußerst wertvoller Stoff. Es ist, wie die Biochemiker sagen, ein Provitamin A. Das bedeutet, daß der menschliche Körper imstande ist, das Karotin in das lebensnotwendige *Vitamin A* umzuwandeln. Die Menschheit weiß noch nicht lange von Vitaminen. Aber die Hausfrauen haben offenbar durch Erfahrung im Laufe von Jahrtausenden die gelbe „Wiesenbutter“ der bleichen „Stallbutter“ vorzuziehen gelernt.

In ihrem Wunsch, ihrer Familie ein vollwertiges Nahrungsmittel zu bieten, können nun die Hausfrauen von gewissenlosen Lebensmittelfabrikanten betrogen werden, die Butter, Käse und Margarine in den Handel bringen, die zwar die gewünschte schöne gelbe Farbe aufweisen, aber nicht das Provitamin enthalten, sondern statt dessen einen völlig vitaminunwirksamen Farbstoff, der spottbillig künstlich erzeugt wird. Dieser eigens zum Zweck der Täuschung der Öffentlichkeit hergestellte *Farbstoff* heißt sinnigerweise *Buttergelb*.

Ein anheimelnder Name! Aber leider verbirgt sich hinter dem „Buttergelb“ der Anilinfarbstoff *Dimethylamino-Azobenzol*, der aus Bestandteilen des Steinkohlenteers gewonnen wird. Der Laie kann seine Farbe von der des Karotins nicht unterscheiden. Da die Anilin-

farbe ebenfalls fettlöslich ist, wird sie von der Butter gut aufgenommen. Die Hausfrau glaubt, ein vollwertiges Nahrungsmittel gekauft zu haben, und hat doch statt des Provitamins eine Anilinfarbe erhalten!

Das allein dürfte von der Gesetzgebung nicht geduldet werden. Es kommt aber noch viel schlimmer. Japanische Forscher haben nämlich in den Dreißigerjahren gefunden, daß das Buttergelb ein überaus wirksames *krebserregendes Mittel* (ein *Karzinogen*) ist. In Versuchen an Ratten fanden sie, daß das Buttergelb Leberkrebs erzeugt. Leberkrebs ist übrigens eine besonders schlimme Krebsform, da an Heilung durch Operation oder Bestrahlung vorläufig nicht zu denken ist. Die Ergebnisse der japanischen Forscher wurden seither in mehreren Kontinenten in vielen Versuchsreihen wiederholt und vollkommen bestätigt.

Man glaube nicht vielleicht, daß das Buttergelb an den Versuchstieren nur gelegentlich Krebs erzeugt. Im Gegenteil — es erzeugt den Krebs mit größter Sicherheit. Die Krebsforscher interessieren sich daher sehr für dieses Mittel. Es gestattet ihnen, in experimentell sehr sauberer Weise an ihren Tieren Krebs hervorzurufen. So hat Professor *Druckrey* in Freiburg mit mehreren tausend Ratten experimentiert. Er hat gefunden, daß für die Krebserzeugung durch Buttergelb ein überraschend einfaches Gesetz gilt. Die Gesamtmenge, die das Tier einnehmen muß, damit ein Krebs ausbricht, ist stets die gleiche. Je kleiner also die tägliche Dosis, desto größer ist die „Latenzzeit“ bis zum Ausbruch. Offenbar *summiert* sich die Wirkung der Tagesdosen auch im Laufe längerer Zeit. Diese einfache Beziehung ist mit großer Genauigkeit erfüllt.

Vom Standpunkt des Experimentators ist auch erfreulich, daß der Krebs stets an der *gleichen Stelle* auftritt, so daß bei allen Versuchen wirklich vergleichbare Bedingungen vorliegen. Es sind natürlich neben dem Buttergelb noch viele andere krebserzeugende Substanzen in Natur und Technik bekannt — mehrere hundert. Einige dieser Stoffe werden ebenfalls im Tierexperiment verwendet. Zu ihnen gehören besonders gewisse aus dem Steinkohlenteer stammende Kohlenwasserstoffe mit hohen Siedepunkten. Diese Stoffe dienen zur Erzeugung von Hautkrebs, indem man sie auf die Haut reibt

oder ihre Lösungen auf die Haut tropft. Aber man kann sich vorstellen, daß die von der Haut des Einzeltiers unter diesen Verhältnissen tatsächlich aufgenommene Menge starken Schwankungen unterworfen ist und daß daher verschiedene Tiere trotz scheinbar gleicher Tages- oder Wochendosis nach ganz verschiedenen Zeiträumen erkranken können. Das Buttergelb zeigt diesen Mangel nicht, da es als Nahrungsbestandteil gut aufgenommen wird.

Die Frage, ob auch manche andere Anilinfarbstoffe, die in größtem Maßstab zum Färben von Bonbons, Schnäpsen, Limonaden, Teigwaren usw. verwendet werden, ebenso wie das Buttergelb Krebs erregen können, ist noch nicht hinreichend untersucht. Es ist möglich, daß sie harmlos sind, weil sie im Gegensatz zum fettlöslichen Buttergelb wasserlöslich sind und daher leicht ausgeschieden werden. Das ist aber nicht wirklich bewiesen und keineswegs sicher.

Das Buttergelb ist theoretisch auch deshalb interessant, weil die Entstehung des Buttergelb-Krebses durch die sonstige Ernährungsweise stark beeinflußt wird. Daß Krebs durch verfehlte Ernährung mindestens begünstigt wird, ist ja oft behauptet und auch wahrscheinlich gemacht worden. Ein besonders klarer Fall liegt aber beim Buttergelb vor. Der Buttergelb-Krebs bricht um so leichter und schneller aus, je ärmer an einem der B-Vitamine (Riboflavin) die Nahrung ist.

Wie viele Fälle von Leberkrebs bisher am Menschen durch die Praktiken der Lebensmittelfabrikanten hervorgerufen worden sind, ist schwer zu sagen. Man kann ja nachträglich nicht unterscheiden, ob ein Krebs durch den Genuß gefärbter Butter hervorgerufen wurde, oder ob er auch sonst ausgebrochen wäre. Eine besonders häufige Krebsform ist der primäre Leberkrebs in Europa — im Gegensatz zu manchen überseeischen Ländern — allerdings nicht. Doch sollte man meinen, daß die Gesetzgeber alle Faktoren ausschalten müßten, die zu der bedrohlich ansteigenden Krebssterblichkeit beitragen.

Dieser Aufgabe ist der Gesetzgeber in den Ländern, in denen ein privates finanzielles Interesse an der Färbung von Lebensmitteln

besteht, bisher nicht immer nachgekommen. Zwar wurde das Buttergelb vor einigen Jahren in der Schweiz, in Frankreich und in der Deutschen Demokratischen Republik verboten. Nicht verboten ist das Buttergelb aber nach wie vor beispielsweise in Großbritannien und in Österreich. In Österreich hat der zuständige Minister in Beantwortung einer parlamentarischen Anfrage sogar ausdrücklich zugegeben, daß das Verbot mit Rücksicht auf „gewichtige Stimmen aus Kreisen der Wirtschaft“ nicht erlassen worden ist.

Diese Weigerung des Ministers ist um so merkwürdiger, als er selbst in der gleichen Anfragebeantwortung die Stellungnahme der bedeutendsten Fachleute in der folgenden Weise zusammenfaßt: „Für die Erlassung der Verordnung sprach u. a. auch das Forschungsergebnis von Prof. Dr. Bauer*, nach dem das sogenannte Buttergelb, ein Teerfarbstoff, nur zur Schönong der Butter diene, aber auf Grund einwandfreier experimenteller Forschung bei entsprechender Menge zwar nicht heute oder morgen, aber nach einer Latenzzeit Krebs erzeuge. Das letzte Abbauprodukt dieses Farbstoffes sei ein schweres Zellgift. Auch der deutsche Nobelpreisträger für Chemie, Prof. Dr. Adolf Butenandt, hat im Februar 1950 erklärt, daß die Farbstoffe, die zur Färbung der Butter verwendet werden, krebsfördernde Eigenschaften besitzen. Ihre Anwendung sollte energisch unterbunden werden. In dem Zusammenhang erklärte er, daß die Farbstoffe Azoverbindungen seien, die selbst in den geringsten Quantitäten gefährlich seien. Prof. Butenandt bezeichnete den Mangel an Aktion von Seiten der Gesundheitsbehörden, die Verwendung von Azofarbstoffen in der Butterproduktion nicht zu verbieten, als unverantwortlich.“**

Um dann zu begründen, warum das österreichische Ministerium dennoch nichts unternehmen wolle, hat der Minister das erstaunliche Argument ins Treffen geführt, man habe bisher die krebserregende Wirkung des Buttergelbs nur an *Tieren*, nicht aber am *Menschen* eindeutig nachgewiesen. Als ob man die Krebserregung direkt am

*K. H. Bauer, Heidelberg, Ehrenmitglied der Österreichischen Gesellschaft zur Erforschung und Bekämpfung der Krebskrankheit.

** Das Deutsch dieser Anfragebeantwortung stammt vom Minister, nicht vom Verfasser dieses Buches!

Menschen anders als im Konzentrationslager nachweisen könne!
Auch sonst wird doch in medizinischen oder hygienischen Fragen
der Tierversuch als maßgeblich angenommen. Überdies müßte von
der Regierung gefordert werden, daß sie im Zweifelsfall die größte
Vorsicht übt und nicht in Fragen der Volksgesundheit auf den Profit
der Fabrikanten Rücksicht nimmt.

Der lichtempfindlichste Stoff der Welt

Der große deutsche Physiker *Hermann von Helmholtz* (1821 bis 1894), der sich in vieler Hinsicht unsterbliche Verdienste um die physiologische Optik erworben hat, soll angeblich einmal gesagt haben: „Wenn ein Handwerker mir ein so unvollkommenes Instrument wie das menschliche Auge liefert, werde ich ihm die Türe weisen.“ Je weiter wir die Arbeitsweise unseres Auges erforschen, um so unberechtigter erscheint uns diese hochmütige Äußerung. Hoffen wir, daß sie in Wirklichkeit nie gemacht wurde!

Hier soll nicht von dem bewundernswerten Mechanismus die Rede sein, mit dessen Hilfe sich das Auge durch seine stauchbare Linse dem Sehen in größere und kleinere Entfernungen anpassen kann. Wir wollen uns vielmehr mit jenem Teil des Auges befassen, in dem die Lichteindrücke aufgezeichnet werden — mit der *Netzhaut*, der *Retina*. Die Linse wirft die Lichtstrahlen auf die Netzhaut und erzeugt auf ihr das Bild der Außenwelt (*Abbildung 32*).

Der Vergleich der Netzhaut mit der *Photoplatte*, auf der auch ein solches Bild entsteht, hat sich schon lange aufgedrängt. Auf der Netzhaut wie auf der Platte muß das Licht chemische Reaktionen in Gang bringen, *photochemisch* wirksam sein. Freilich war es von Anfang an klar, daß die Netzhaut der Photoplatte in mehrfacher Hinsicht technisch überlegen sein muß. Allerdings gibt es Photoplatten erst seit hundert Jahren, Netzhäute aber seit hunderten Millionen Jahren!

Erstens kann die Photoplatte nur ein *einziges Mal* in ihrem „Leben“ ein Bild aufzeichnen. Wenn das Bild einmal entwickelt ist, hat die Photoplatte ihr nutzbares Leben beendet. Dagegen muß die Netzhaut immer von neuem aufnahmebereit sein, sie muß dem Tier oder dem Menschen ohne Unterlaß dienen können. Denken

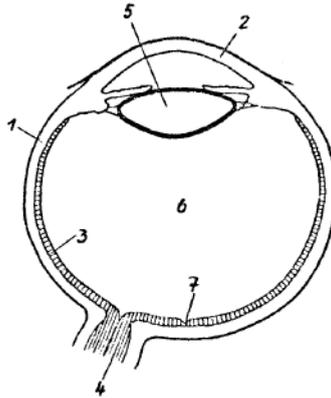


Abbildung 32

Horizontalschnitt durch das menschliche Auge.

- | | | |
|------------------|--|-------------------|
| 1 ... Lederhaut, | 3 ... Netzhaut, | 5 ... Linse, |
| 2 ... Hornhaut, | 4 ... Sehnerv, | 6 ... Glaskörper, |
| | 7 ... Gelber Fleck mit Mittelgrübchen. | |

wir doch daran, wie viele Eindrücke die Netzhaut eines Autolenkers oder eines Lokomotivführers im Laufe einer einzigen Sekunde aufnehmen muß! Das Auto bewegt sich innerhalb der Sekunde zwanzig oder dreißig Meter weiter. Zahllose Gegenstände tauchen auf und verschwinden wieder. Alle diese Eindrücke muß das Auge mit großer Sicherheit aufzeichnen; die Aufzeichnungen müssen aber in dem Moment wieder verschwinden, in dem sie nicht mehr gebraucht werden.

Zweitens muß sich die Netzhaut einem enormen Bereich von verschiedenen *Helligkeiten* anpassen können. Im Vollmondlicht sind die Gegenstände, wie physikalische Messungen ergeben haben, etwa ein halbmillionstel so hell beleuchtet wie im Mittags-sonnenlicht. In einer sternklaren Nacht oder gar einer mondlosen Wolkennacht ist die Helligkeit noch weitaus geringer. Trotzdem verlangen wir von unserem Auge, daß es uns bei Nacht wie bei Tag mit hinreichender Sicherheit leite.

Zu einem kleinen Teil erfolgt die dazu erforderliche Anpassung durch Vergrößerung oder Verkleinerung der *Pupille*, also durch Öffnen

und Schließen einer Blende. Aber die dadurch bewirkte Veränderung der auftretenden Lichtmenge ist für sich allein völlig ungenügend. Ähnlich könnte niemand eine photographische Kamera konstruieren, mit der man nach Wahl zu Mittag oder um Mitternacht unter Einhaltung der gleichen Belichtungszeit photographierte, indem man einfach die Blende weitgehend schließt oder öffnet. Der Photograph hilft sich, indem er die Belichtungszeit verändert. Gerade das können sich aber Tier und Mensch mit ihrem Auge nicht leisten, denn wir müssen auf neue Situationen schnell reagieren können!

Die erste wie die zweite Forderung wird von der Netzhaut in wunderbarer Weise erfüllt. Schon diese Tatsache zeigt, wie ungerade das (hoffentlich ohne Grund!) Helmholtz zugeschriebene abfällige Urteil sein muß.

Ebenso wie die Photoplatte muß die Netzhaut einen Stoff besitzen, der durch Licht chemisch verändert — zersetzt — wird, also einen *lichtempfindlichen* Stoff. In der Photoplatte verwendet man das *Bromsilber*, aus dem beim Auftreffen von Licht eine winzige Menge metallisches Silber entsteht. Diese Menge wird dann beim Entwickeln vervielfacht, so daß die Platte in der bekannten Weise geschwärzt wird.

Die Veränderung der Netzhaut durch das Licht wurde zum erstenmal von einem Physiologen namens *Boll* im Jahre 1876 beobachtet. *Boll* bemerkte, daß frisch präparierte tierische Netzhäute eine rotviolette Färbung zeigen, die bei Einwirkung von Licht rasch verblaßt. Die Netzhäute müssen Tieren entnommen werden, die vorher eine Weile — zum Beispiel eine halbe Stunde — im Dunkeln gehalten worden sind. Auch die Gewinnung der Netzhaut aus dem getöteten Versuchstier muß — ähnlich wie das Entwickeln einer Photoplatte — im Dunkeln oder bei karminrotem Licht erfolgen. Solches Licht ist photochemisch wenig wirksam.

Die rotviolette Substanz der Netzhaut wurde in der Folge von dem genialen Physiologen *Kühne* Jahrzehnte hindurch untersucht und ist als *Sehpurpur* bekannt. Sie ist an sich in Wasser löslich, wird aber in der Netzhaut an die Zellen gebunden. Die Gewinnung reiner Sehpurpurlösungen aus den zerstörten Sehzellen gehört zu den schwierigeren Aufgaben der Physiologie. Auch ist die Ausbeute enttäuschend klein. Aus einem Dutzend Frösche — man verwendet

ohnehin schon die großen Balkanfrösche — wird kaum ein Milligramm Sehpurpur gewonnen; gerade genug, um ein Proberöhrchen mit purpurner Lösung zu füllen.

Überaus eindrucksvoll ist der Anblick, wenn man mit dem Röhrchen aus der Dunkelkammer ins Tageslicht tritt. Die Bleichung verläuft so schnell, daß man innerhalb weniger Sekunden statt einer purpurnen Lösung etwas in der Hand hat, was genau wie Leitungswasser aussieht. Die Arbeit von Tagen ist dann vergeblich gewesen, und zwölf Frösche sind umsonst gestorben. Die gesuchte photochemische Reaktion, die der Schwärzung des Bromsilbers entspricht, besteht offenbar in einer Bleichung.

Der Sehpurpur ist die lichtempfindlichste von allen bekannten natürlichen oder künstlichen Substanzen. Man hat auch Gründe für die Annahme, daß Stoffe von noch größerer Lichtempfindlichkeit, als sie dem Sehpurpur zukommt, wahrscheinlich gar nicht mehr existenzfähig sind. Die Natur hat also ganz gute „Werkstoffe“ zum Bau des Auges verwendet!

Obwohl der Sehpurpur nur in äußerst kleiner Menge gewonnen werden kann, ist in den letzten fünfzehn Jahren doch einiges über seine chemische Zusammensetzung bekanntgeworden. Man weiß, daß das Molekül des Sehpurpurs ziemlich groß ist und daß der Hauptteil des Moleküls von einem Eiweißkörper eingenommen wird. An dem Eiweiß hängt dann noch ein Molekülteil, der eine enge Verwandtschaft mit dem sogenannten *Karotin* aufweist. Karotin ist der Farbstoff der Karotte. Er ist einer der vielen Vertreter einer ganzen Klasse von organischen Verbindungen, die nach ihm „Karotinoide“ heißen, und denen im biochemischen Geschehen eine große Rolle zugeschrieben wird. Andere bekannte Karotinoide sind der Farbstoff des Safrans, mit dem in alter Zeit die Butter gefärbt wurde, bevor man noch das krebserregende „Buttergelb“ erfunden hatte, schließlich auch die schönen Farbstoffe der Tomate und des roten Paprikas.

Zu den Karotinoiden gehört auch das lebensnotwendige Vitamin A, das in Milch, Butter, Fettkäse und in der Leber (auch in Fischlebertran) enthalten ist. Seit alter Zeit ist bekannt, daß unzureichende und besonders qualitativ schlechte Ernährung gewisse Störungen im Sehvermögen bewirkt. Später erkannte man, daß die Störungen

meistens eine Folge des Mangels an Vitamin A sind. Die sogenannte *Nachtblindheit*, also die Unfähigkeit des Auges zur Anpassung an die nächtlichen Beleuchtungsverhältnisse, bildet das erste Symptom für Vitamin-A-Mangel. Diese Störung wird daher in der Medizin zur Erkennung dieses Mangels verwendet. (Es gibt allerdings auch eine angeborene Form der Nachtblindheit, gegen die selbst Injektionen des reinen Vitamins nicht helfen.)

Wie stark die Sehtüchtigkeit zur Nacht von der Vitaminzufuhr abhängt, sei auf folgende Weise veranschaulicht. Menschen, denen man das Vitamin einen Monat lang entzogen hatte, wiesen eine hundertmal höhere „Reizschwelle“ für Licht auf als normal ernährte Menschen. Das heißt, daß ein Lichtfleck hundertmal heller sein mußte, um zur Nacht von der Versuchsperson wahrgenommen zu werden, als er sein mußte, um von gesunden Beobachtern gesehen zu werden.

Offenbar braucht das Auge das Vitamin A, um aus ihm den Karotinoid-Teil des Sehpurpurs zu fabrizieren. Diese Umwandlung verläuft erstaunlich schnell. Ein Biochemiker namens *Wald* hat an sich selbst durch Mangeldiät experimentell Nachtblindheit erzeugt. Sodann gab er sich eine Vitamininjektion in den Oberarm. Innerhalb von acht Minuten war das normale Sehvermögen wiederhergestellt.

Bekanntlich fressen *Katzen* Leber besonders gern. In ihrer Gier nach Fischen und deren Leber sind sie sogar bereit, ins sonst verhaßte Wasser zu springen. Der Verfasser konnte am Keutschacher See eine Katze beobachten, die jeden Abend erfolgreich fischen ging. Die Katzen wissen nicht, warum sie Leber und Fische lieben. Aber wir wissen es: sie brauchen für ihre nächtliche Jagd das Vitamin A.

Allmählich können wir uns nun ein Bild der Vorgänge bei der Einwirkung von Licht auf die Netzhaut machen. Das Licht wandelt den Sehpurpur chemisch um, bleicht ihn. Die Umwandlungsprodukte reizen den Sehnerv, der in zahllosen Ästchen zur Retina führt. Der Reiz wird dem Gehirn zugeleitet, wodurch wir schließlich ein Bild der Gegenstände erhalten. Sobald der Lichtstrahl ausgeschaltet wird, wandelt sich das bleiche Zersetzungsprodukt des Sehpurpurs unter dem Einfluß von Fermentsystemen des Auges wieder in den ursprünglichen Sehpurpur um. Der Farbstoff ist dann regeneriert und von neuem aufnahmebereit.

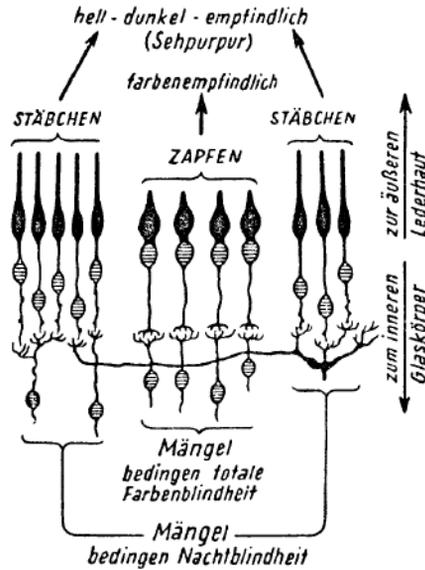


Abbildung 33

Querschnitt durch die Netzhaut des Auges: Stäbchen-Zapfen-Schicht (schematisch).

Man hat im Tierversuch durch direkte Betrachtung der im Dunkeln präparierten Retina auf ihr das gebleichte Bild gefunden, das das Tier unmittelbar vor seinem Tod empfangen hatte. In einem Buch des Romanschriftstellers *Jules Verne* wird sogar ein Mörder durch sein Bild auf der Netzhaut seines Opfers erkannt!

Wir verstehen jetzt schon zum Teil, worin die so wichtige *Anpassung* an Licht und Dunkelheit besteht. Nach starker Belichtung liegt der größte Teil des vorhandenen Sehpurpurs im gebleichten Zustand vor, das Auge ist daher relativ unempfindlich. Im Dunkeln dagegen ist praktisch der ganze vorhandene Sehpurpur für die photochemische Reaktion verfügbar, die Empfindlichkeit daher maximal. Die Netzhaut verhält sich also wie eine Photoplatte mit je nach Bedarf veränderlichem Bromsilbergehalt.

So einfach sind aber die Dinge in Wirklichkeit nicht. Es gibt

nämlich noch einen weiteren Mechanismus zur Anpassung an Licht und Dunkel. Die Netzhaut enthält ein *zweites lichtempfindliches System*, das im Gegensatz zum Sehpurpursystem überhaupt erst bei hohen Lichtstärken — also am hellen Tag — in Funktion tritt. Während der Sehpurpur in den sogenannten *Stäbchen* der Netzhaut lokalisiert ist, ist der zweite Stoff oder die zweite Gruppe von Stoffen (bisher unbekannter Natur) in den *Zapfen* der Netzhaut konzentriert (*Abbildung 33*).

Das Zapfensystem unterscheidet sich vom Sehpurpursystem nicht nur durch seine geringere Lichtempfindlichkeit, durch die es erst bei Tage funktioniert, sondern auch dadurch, daß sein Empfindlichkeitsmaximum nicht an der gleichen Stelle des Lichtspektrums liegt wie das des Sehpurpurs. Beispielsweise liegt das Maximum der Empfindlichkeit des Sehpurpurs im Grün, das des bisher unbekanntes Stoffes der Zapfen im Gelbgrün (*Abbildung 34*). Dieser Unterschied ist die Ursache der Verschiebung der „Helligkeitswerte“ in der Dämmerung — die Ursache dafür, daß der blaue Rittersporn in der Dämmerung, aber nicht bei Tage, heller erscheint als die rote Rose. Das ist das nach seinem tschechischen Entdecker so benannte berühmte *Purkyně-Phänomen*, das schon *Goethe* viel zu denken gab.

Ausschließlich das auf den Zapfen beruhende System vermittelt das *Farbensehen*. Daher können wir Farben nur bei Helligkeit erkennen — „in der Nacht sind alle Katzen grau“. Das in den Stäbchen lokalisierte Sehpurpursystem, so empfindlich es ist, erzeugt doch nur Hell-Dunkel-Empfindungen. Ein weiterer Unterschied der beiden Sehsysteme liegt darin, daß die Zapfen in der Mitte der Netzhaut, die Stäbchen aber am Rande konzentriert sind. Daher ist unser Sehfeld bei Nacht größer als bei Tage: Wir können in der Dunkelheit seitlich gelegene Dinge verhältnismäßig besser wahrnehmen als in hellem Licht.

Zum Schluß wollen wir noch die Frage stellen, wie groß die *absolute Empfindlichkeit* unseres Auges ist. Diese Frage hat die Forscher gerade in den letzten Jahren stark beschäftigt. Sie haben das Problem in der folgenden Form aufgeworfen: Nach der Auffassung der neueren Physik besteht das Licht aus einzelnen, teilchenartigen „Quanten“. Ein Quant ist die kleinste Menge Licht, die es überhaupt

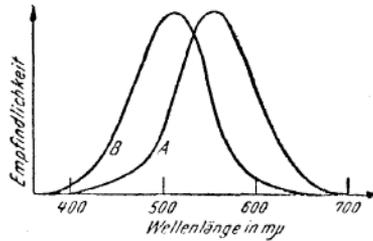


Abbildung 34

Empfindlichkeit des menschlichen Auges für

A: Tagesehen (Zapfen),

B: Dämmerungssehen (Stäbchen).

(Die Scheitelpunkte der beiden Kurven sind der Deutlichkeit halber in gleicher Höhe gezeichnet, obgleich tatsächlich die Kurve A für Tagesehen viel niedriger verläuft als die Kurve B für Dämmerungssehen.)

gibt — ähnlich wie die Bestandteile der Atomkerne die kleinsten Teilchen sind, die es nach unserer gegenwärtigen Kenntnis gibt. Man fragt nun: Wie viele Quanten sind notwendig, um einen Licht-eindruck hervorzurufen?

Um die Frage experimentell zu beantworten, muß man natürlich die besten Versuchsbedingungen herstellen. Man wählt junge, gesunde Beobachter in gutem Ernährungszustand, man läßt die Beobachter sich eine Stunde lang an die Dunkelheit gewöhnen, man wählt Licht jener Farbe, die sich am wirksamsten erweist (also grün), und man richtet den Licht-, „Strahl“ auf jenen Teil der Netzhaut, der als der empfindlichste bekannt ist (das Mittelgrübchen im sogenannten „gelben Fleck“). Derartige Experimente sind von dem verstorbenen Präsidenten der Akademie der Wissenschaften der UdSSR., *S. I. Warwilow*, und unabhängig von ihm in Amerika von dem ebenfalls verstorbenen Professor *Selig Hecht* ausgeführt worden. Das Ergebnis der Experimente war sehr eindrucksvoll. Es ergab sich übereinstimmend, daß ganz wenige Lichtquanten bereits zur Erzeugung eines lokalen Licht-eindrucks hinreichen. Mit anderen Worten: Das Auge ist annähernd so empfindlich, wie es der Natur des Lichtes nach überhaupt sein kann.

Hier irrte Goethe

Der *Sehpurpur* des menschlichen Auges ist die lichtempfindlichste Substanz der Welt. Mit seiner Hilfe nehmen wir noch die geringsten Helligkeiten wahr. Aber so unglaublich leistungsfähig der Sehpurpur auch ist, eines kann er uns nicht geben: eine Welt in *Farben*. Der Sehpurpur vermittelt nur Hell-Dunkel-, also Schwarz-Weiß-Unterscheidung. Wer sich auf den Sehpurpur allein verlassen muß, kennt die Schönheit der Welt nicht. Sehr selten gibt es Menschen, denen dieser Mangel angeboren ist. Diese Menschen sind *total farbenblind*. Sie wissen nicht, was eine *grüne* Wiese, ein *blauer* Enzian und eine *rote* Tomate ist.

Zum Glück besitzen weitaus die meisten Menschen neben dem Sehpurpur, der in den *Stäbchen* der Netzhaut konzentriert ist, noch eine bisher unbekannte Gruppe lichtempfindlicher Farbstoffe in den *Zäpfchen* der Netzhaut (*Abbildung 33*, Seite 250). Diese Stoffe vermitteln die Farbeindrücke. Große Mühe wurde von der Wissenschaft in den letzten anderthalb Jahrhunderten an die Erforschung des Farbensinns gewendet. Mit Recht! Denn wenige Themen können wichtiger und wissenschaftlich reizvoller sein als die Frage unseres Farbensinnes.

Auch ist die praktische Bedeutung der Farbenlehre gar nicht gering. Wir lernen Probleme der Beleuchtung, der Färberei, der Reproduktionstechnik, der Farbphotographie, des Farbfilms und des Fernsehens verstehen. Schließlich begreifen wir das Verhalten der Farbenblinden, die zum Beispiel als Autolenker oder Lokomotivführer *Unheil anrichten können*.

Einst bildete es eine Streitfrage, ob die Menschen schon immer den gleichen ausgeprägten Farbensinn hatten wie heute. Daß Dichter des Altertums, wie *Homer*, nur wenige Farben unterschieden, wurde

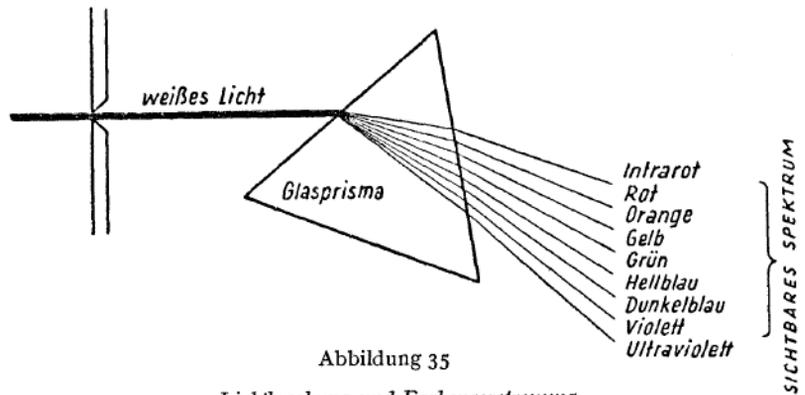


Abbildung 35
Lichtbrechung und Farbenzerstreuung.

als Hinweis darauf angesehen, daß damals der Farbensinn weniger entwickelt war als heute. Es wurde auch darauf hingewiesen, daß Naturvölker nicht viele Wörter für Farbtöne kennen. Wir sind aber heute überzeugt, daß es sich da nicht um physiologische Minderentwicklung handelt, sondern bloß darum, daß bei Naturvölkern offenbar kein besonderes Bedürfnis nach einer feinen Unterscheidung von Farbtönen besteht.

Wir wissen auch, daß viele Tiere einen lebhaften Farbensinn besitzen. Das kann man dadurch feststellen, daß man die Tiere bei der Verabreichung des Futters an Schalen bestimmter Farbe gewöhnt. Die Tiere finden dann bald selbständig die Schale mit der „richtigen“ Farbe. Derlei Experimente haben zum Beispiel auch ergeben, daß die *Bienen* Farben unterscheiden können, obwohl der Bau ihres Auges sich von dem des menschlichen Auges ganz wesentlich unterscheidet.

Die Grundlage zu unserer Farbenlehre hat bekanntlich der große *Isaac Newton* gelegt. Newton zerlegte mit seinen Glasprismen das weiße Sonnenlicht in ein farbiges Band, das *Spektrum* (Abbildung 35). Die einzelnen Farben des Spektrums unterscheiden sich voneinander durch die Wellenlänge des Lichtes. Wir alle kennen solche Farbenbänder. Ein solches Band ist zum Beispiel der Regenbogen. In der Schule lernt man, daß das Spektrum aus sieben Farben bestehe. In Wirk-

lichkeit kann man, wenn man will, auch zwei- oder dreimal so viele Farben unterscheiden. Aber die Sieben ist eben eine heilige Zahl! (Deshalb „durfte“ es in alter Zeit auch nur sieben Planeten geben.)

Wir wissen also seit Newton, daß sich das weiße Licht in Lichtarten verschiedener Farben zerlegen läßt; umgekehrt lassen sich die Arten des verschiedenfarbigen Lichtes, wenn sie im richtigen Anteilverhältnis stehen, auch zu Weiß zusammenmischen. Für unser Auge geht im Spektrum jede Farbe ganz unmerklich in die nächste über: Rot über Orange in Gelb, Gelb über Gelbgrün in Grün, Grün über Grünblau in Blau, Blau in Violett. Benachbarte Farben sind also irgendwie verträglich, während nicht benachbarte Farben unverträglich sind. Grün kann für unser Gefühl nicht in Rot und Blau kann nicht in Gelb übergehen.

Allerdings sind die beiden Enden des natürlichen Sonnenspektrums (Violett und Rot) physiologisch — also subjektiv — durchaus verträglich. Sie gehen für unser Gefühl auf dem Weg über eine merkwürdige Zwischenfarbe, nämlich *Purpur*, ohne weiteres ineinander über, obwohl doch Violett und Rot im Spektrum am weitesten voneinander entfernt sind und Purpur selbst überhaupt nicht im Spektrum enthalten ist! Physikalisch gesehen, hat Violett die kleinste und Rot die größte Wellenlänge unter allen Farben — aber eine dem Purpur entsprechende Wellenlänge gibt es gar nicht.

Dies ist eines der vielen Rätsel, die der Farbenlehre ihren merkwürdigen Zauber verleihen, der immer wieder auch die größten Physiker anzieht. Jedenfalls hat die erstaunliche Rolle der „unnatürlichen“ Farbe Purpur zur Folge, daß wir vom Standpunkt des Sinneseindruckes (nicht vom Standpunkt der Physik!) die Farben lieber statt in einem Band reigenartig in einem Kreis anordnen, wobei eben Rot und Violett durch Purpur miteinander verbunden sind (*Abbildung 36*).

Wenn man nun eine so kolorierte Farbscheibe, etwa auf dem Drehteller eines Plattenspielers, in rasche Umdrehung versetzt („*Farbenkreisel*“), so verschwimmen für unsere Gesichtsempfindung die einzelnen Farbeindrücke und die Scheibe erscheint uns weiß. Aber auch bloß je zwei auf der Kreisscheibe einander ungefähr gegenüberliegende Farben (Rot und Grün, Orange und Blau, Gelb und

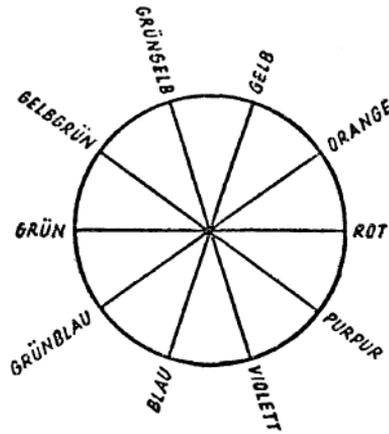


Abbildung 36
Farbenkreisel.

Violett, Gelbgrün und Purpur) ergänzen sich bei rascher Umdrehung der Scheibe zu Weiß, neutralisieren einander, wenn die Scheibe etwa je zur Hälfte mit den beiden Farben bemalt wurde.

Daß wir gewöhnlich glauben, Blau und Gelb zusammen ergäben Grün und nicht Weiß, kommt daher, daß zum Beispiel der Maler nicht farbige *Lichtsarten*, sondern farbige *Körper* (nämlich die pulverisierten Farbsubstanzen) mischt. Diese Körper senden in Wirklichkeit kein einheitliches farbiges Licht aus, sondern sie reflektieren bloß ein wildes Gemisch verschiedenfarbigen Lichtes. Von der Zusammensetzung der Gemische hängt dann der Gesamteindruck ab.

Zwei reine Farben, die miteinander Weiß ergeben, werden auch als „komplementär“ bezeichnet. Wir sehen also, daß das *Weiß* physikalisch gar nicht das Primäre, Ursprüngliche ist, sondern eine zusammengesetzte Farbe, eine *Mischfarbe*, die sich durch physikalische Geräte (Prismen) immer mindestens in Paare von komplementären Einzelfarben auflösen läßt. Das ist nun wieder äußerst merkwürdig, denn welcher Farbeindruck würde uns *subjektiv* (physiologisch) einfacher erscheinen als das reine Weiß des Schnees und des Lämmchens?

Natürlich muß dann auch das *Grau* als eine Mischfarbe betrachtet werden, denn Grau ist nichts anderes als ein weniger helles Weiß. Wenn man dem hellen Weiß, zum Beispiel durch Abblenden der Lichtquelle, immer mehr Licht entzieht, geht es über Grau in Schwarz über. Übrigens ist das „schwärzeste“ Schwarz für die Wissenschaft von Bedeutung, da „schwarze Körper“ theoretisch in bezug auf ihr Verhalten zum Licht besonders einfach zu behandeln sind. Dem ideal schwarzen Körper, der wirklich *alles* auffallende Licht verschluckt, kommt nicht etwa ein schwarzes Kätzchen und auch nicht chinesische Tusche am nächsten, sondern ein *Loch* in einer Hohlkugel; in diesem muß jeder einfallende Lichtstrahl, selbst wenn die Wände des Hohlraumes hinter dem Loch bunt wären, offenbar viele Male hin und her geworfen werden, bevor er den „Ausgang“ findet, also das Loch verlassen kann. Bei jeder Reflexion wird er aber geschwächt, so daß schließlich fast nichts von ihm übrigbleibt. Solche Löcher sind zum Beispiel in guter Annäherung tiefe Brunnen-schächte und die Pupille des Auges. Als der „weißeste“ Körper, also als der Körper, der jegliche Strahlung unter Zerstreuung am besten zurückwirft, gilt der Wissenschaft die *Magnesia*.

All das hat der große *Goethe* zeit seines Lebens für völligen Unsinn gehalten. Goethe war bekanntlich an der Naturwissenschaft leidenschaftlich interessiert und hat zu manchen ihrer Zweige namhafte Beiträge geliefert. Besonders die Farbenlehre beschäftigte Goethe; er meinte, seine Schriften „Zur Farbenlehre“ würden noch fortleben, wenn seine Dichtungen schon längst vergessen sein werden. Aber hier irrte Goethe. Wir können Goethe nicht folgen, wenn er Newton niemals glauben wollte, Weiß sei eine Mischfarbe!

Mit der merkwürdigen Rolle des Purpur, des Weiß und des Grau sind die Geheimnisse der Farben noch lange nicht erschöpft. Ein anderes viel behandeltes Problem ist das der *Sättigung* der Farben. Man kann nämlich jedes farbige Licht in wechselndem Verhältnis mit weißem Licht mischen. Dann erhält man eine Skala — beispielsweise vom hellsten Rosa, in dem man das Rot kaum mehr erkennt, bis zum „gesättigten“ reinen Rot. Im Bereich des Rot kann der Normalmensch etwa 20 Stufen durch ihren „Gehalt“ an Weiß unterscheiden, beim Blau und beim Grün sind es fast ebenso viele

Abstufungen, beim Gelb aber nur sieben. Das kommt daher, daß uns auch das reinste gelbe Licht, zum Beispiel das Licht einer Gasflamme, in die wir ein Körnchen Kochsalz halten, doch recht „ungesättigt“ erscheint, jedes Gelb also subjektiv von vornherein eine Menge Weiß zu enthalten scheint. Kleine Mädchen, die aus farbigen Glaskügelchen Muster sticken, werden, wenn ihnen die weißen Perlen ausgehen, gelbe zum Ersatz auswählen: Sie scheinen dem Weiß näherzukommen als rote oder grüne Perlen. Warum ist das so? Das ist eine der großen noch nicht restlos gelösten Fragen der Wissenschaft von den Farben.

Kehren wir zum bandförmigen Spektrum Newtons zurück! Was schließt sich an das rechte und was an das linke Ende des Spektrums, also an das Violett und an das Rot, an? Es ist unsichtbare Strahlung, die aber durch verschiedene physikalische Wirkungen, zum Beispiel die Wirkung auf eine Photoplatte, sehr wohl zu erkennen ist — einerseits die *ultraviolette*, andererseits die *ultrarote* (oder *infrarote*) Strahlung (vgl. die Skala der elektromagnetischen Schwingungen in Abbildung 6 auf Seite 26). Die ultraviolette Strahlung, die gewöhnliches Glas nicht, wohl aber Quarzglas durchdringt, trägt am meisten zur Bräunung der Haut bei, also zu einer photochemischen Reaktion des Haut-Eiweißes, die ultrarote Strahlung zu unserer Erwärmung im Sonnenschein.

Ist *Ultraviolett* wirklich nicht sichtbar? Doch, in bescheidenem Maße. Neuere Versuche haben gezeigt, daß man in einem ganz weiten Spektralbereich Ultraviolett eindeutig sehen kann. Unser Auge ist aber dafür unvergleichlich weniger empfindlich als für das sonst als „sichtbar“ bezeichnete Licht. Je nach der Wellenlänge ist unsere Empfindlichkeit für Ultraviolett tausend- bis hunderttausendmal kleiner als etwa für grünes Licht. Das Auge muß daher ausgeruht und ungestört sein, um das Ultraviolett überhaupt wahrnehmen zu können; es erscheint dann mit violetter Farbe. Man muß übrigens mit derlei Versuchen vorsichtig sein, denn intensives Ultraviolett schädigt das Auge. Man glaubt, darin den biologischen Grund dafür zu erblicken, daß Linse und Glaskörper des Auges den größten Teil des einstrahlenden Ultraviolett verschlucken und es nicht bis zur Netzhaut vordringen lassen; es handelt sich also um eine Schutzmaßnahme.

Einen Londoner Physiker traf das Unglück, bei einer Explosion im Laboratorium ein Auge ganz und vom zweiten Auge die Linse zu verlieren. Der arme Mann muß seither für sein verbleibendes Auge eine starke Brille tragen, die die verlorene Linse ersetzt. Aber von Stund an sieht er Ultraviolett ohne Schwierigkeit! Zum Erstaunen seiner Kollegen liest er nun die Zeitung durch ein Glas, das jedem anderen völlig schwarz erscheint.

Ähnlich wie mit dem Ultraviolett steht es mit dem *Ultrarot*. Auch hier kann der Mensch die angeblich „unsichtbare“ Strahlung sehen, wenn sie nur intensiv genug ist. Aber hier muß man ebenfalls sehr vorsichtig sein. Durch übergroße Intensität der Strahlung wird nämlich die Netzhaut gefährlich erwärmt. Wir wollen also lieber auf das Sehen des Ultrarot wie auch des Ultraviolett verzichten!

An der Grenze des Lebens

Die *Virologie* oder *Virusforschung* ist die Wissenschaft von den *Viren*, jenen winzigsten Krankheitserregern, die mit Hilfe des gewöhnlichen Lichtmikroskops wegen ihrer Kleinheit selbst bei stärkster Vergrößerung nicht mehr sichtbar gemacht werden können. Nicht nur das medizinische, tiermedizinische und land- und forstwirtschaftliche Interesse an den Viren ist ungeheuer groß, ihre Erforschung verspricht auch über die tiefsten Fragen der Kunde vom Leben entscheidende Aufschlüsse zu geben.

Wie ein roter Faden zieht sich durch die Virologie die Arbeit mit dem berühmtesten aller Viren, dem Virus der *Mosaik-Krankheit* des *Tabaks*. Die entscheidenden Fortschritte der Virologie sind bei der Arbeit mit diesem Virus erzielt worden. Es wurde als erstes entdeckt und war auch das erste Virus, das in chemisch reiner Form *kristallisiert* werden konnte. Warum?

Das Tabakmosaikvirus zeichnet sich gegenüber anderen Viren grundsätzlich nicht durch besondere Eigenschaften aus. Es ist eben ein Virus unter vielen. Aber es kommt in den erkrankten Pflanzen in besonders großer Konzentration angesammelt vor und ist außerdem sehr widerstandsfähig. Daher kann die reine Virussubstanz leicht in wägbarer Menge (grammweise!) dargestellt und dann untersucht werden.

Das Mosaikvirus wurde im Jahre 1892 von dem russischen Forscher *Iwanowski* aufgefunden, als er Tabakblätter untersuchte, die an der damals schon wohlbekannten Mosaikkrankheit litten. Diese überaus ansteckende Krankheit erkennt man an einer charakteristisch unregelmäßigen Vergilbung der Blätter. Allein schon die Berührung einer gesunden Pflanze, nachdem man vorher mit einer kranken zu tun hatte, genügt, die gesunde zu infizieren. Man hat auch schon

beobachtet, daß Gärtner, die infizierten Tabak rauchten, ihre Pflanzen angesteckt haben. Die Mosaikkrankheit befällt übrigens nicht nur den Tabak, sondern auch andere Nachtschattengewächse, wie Tomate und Kartoffel.

Iwanowski beobachtete nun, daß der Preßsaft aus kranken Blättern auch dann noch infektiös blieb, wenn er sehr sorgfältig filtriert worden war — so sorgfältig, daß Bakterien nicht durch das Filter hindurchgegangen sein konnten, also der Preßsaft frei von Bakterien sein mußte. Man muß daher annehmen, daß die infektiösen Teilchen kleiner als Bakterien sind. Sie müssen andererseits doch imstande sein, sich in einem geeigneten Kulturmedium — eben dem lebenden Tabakblatt — zu vermehren. Es müssen also Teilchen sein, die trotz ihrer Kleinheit wesentliche Merkmale des Lebens zeigen.

Bakterien sind hunderttausendbillionenmal kleiner als der Mensch. Aber sie bestehen doch noch aus *Zellen*, während das höhere Lebewesen sogar einen organisierten Verband einer ungeheuren Vielheit und Vielfalt von Zellen darstellt. Alle Zellen besitzen bestimmte Organe, die an gewissen Stellen der Zelle lokalisiert sind. So haben fast alle Zellen mindestens andeutungsweise einen sogenannten *Zellkern*. Anders verhält es sich nach den neueren Forschungen mit den Viren. Sie bestehen nicht mehr aus Zellen, sondern sind als *Riesenmoleküle* aufzufassen (*Abbildung 37*).

Man fand, daß man Iwanowskis Preßsaft aus mosaikkranken Tabakblättern verschiedenen chemischen Reinigungsverfahren unterwerfen konnte und der Saft dennoch seine Ansteckungskraft behielt. Schließlich konnte man die Reinigung so weit treiben, daß die Lösungen überhaupt nur mehr eine einzige Art von Molekülen enthielten. Trotzdem waren die Lösungen noch immer infektiös. Daraus mußte man offenbar schließen, daß das Virus bereits lebens- und vermehrungsfähig ist, wenn es nur mehr eine einzige Art von Molekülen enthält. Mit anderen Worten: Das Tabakmosaikvirus besteht aus einer chemisch einheitlichen, wasserlöslichen Substanz.

Ihre Krönung erfuhren diese Forschungen, als *Stanley* 1935 das Mosaikvirus zur Kristallisation brachte. Kristallisieren kann man — von besonders gearteten Ausnahmen abgesehen — nur *einheitliche* Stoffe. Denn Kristallbildung erfordert völlige Regelmäßigkeit der

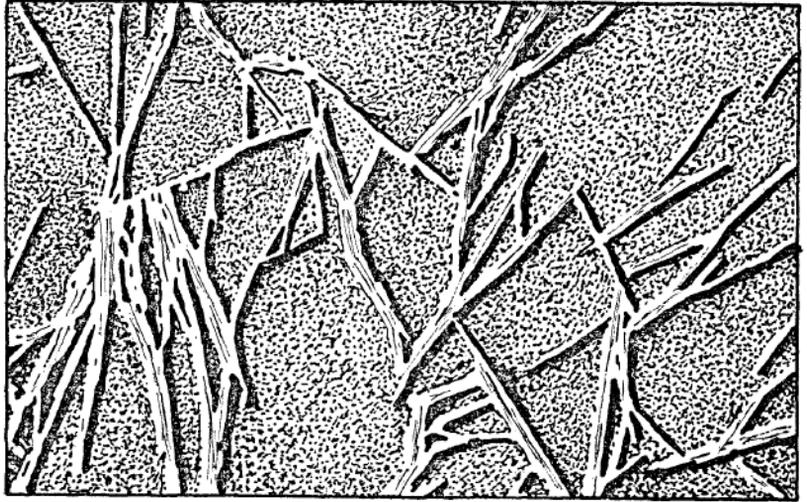


Abbildung 37

Virus der Tabakmosaikkrankheit im Elektronenmikroskop bei 50 000facher Vergrößerung.

Raumausfüllung. Eine solche Regelmäßigkeit ist zumeist nur dann möglich, wenn die Bausteine des Kristalls alle identisch sind. Wenn also ein Virus kristallisieren kann, so ist das unter den gegebenen Bedingungen ein neuer Beweis dafür, daß es aus Molekülen einer einzigen Art besteht.

Das sind unerhörte Gedanken. Man stelle sich doch nur vor: *ein kristallisiertes Lebewesen!* Ein Lebewesen, das Kristalle mit glatten Grenzflächen und scharfen Kanten bildet, so wie das Steinsalz, der Kandiszucker oder das Kupfervitriol. Und doch haben alle Nachprüfungen zum gleichen Ergebnis geführt. Es ist seither gelungen, auch viele andere Viren zu kristallisieren.

Der nächste Schritt war natürlich die chemische Untersuchung der Kristalle. Wenn sie nur aus Molekülen einer einzigen Art bestehen — welcher Art sind dann diese Moleküle? Das Ergebnis war nicht unerwartet. Die Moleküle bestanden aus *Eiweiß*. Das mußte

ja so sein, denn ohne Eiweiß gibt es kein Leben. Das Viruseiweiß vermehrt sich, wenn es auf den geeigneten Nährboden gebracht wird. Aber wenn wir das nicht wüßten, und uns nur die Kristalle des Virus bekannt wären, so würden wir gar nicht auf den Gedanken kommen, diese Eiweißkristalle als belebt anzusprechen!

Tatsächlich kann man die Kristalle praktisch unbegrenzt lange im Fläschchen aufbewahren, ohne daß sie irgendwelche Lebenserscheinungen zeigen — genau so wie wir die Kristalle des Blutfarbstoffes oder des Insulins oder eines anderen Eiweißkörpers aufbewahren können. Erst wenn sie auf ihr liebes Tabakblatt kommen, „erinnern“ sich die Viruskristalle daran, daß sie doch eigentlich Lebewesen sind, und beginnen sich zu vermehren.

Offenbar verbinden die Viren wirklich in unheimlicher Weise die Eigenschaften unbelebter und belebter Materie. Wir haben es also hier mit einer besonders primitiven Form des Lebens zu tun. Freilich ist damit nicht gesagt, daß es sich auch um eine besonders altertümliche oder ursprüngliche Form des Lebens handelt. Im Gegenteil: die Viren sind ja alle „obligate Parasiten“. Das heißt, sie gedeihen und vermehren sich nur auf anderen Lebewesen. Eine Zucht von Viren auf einem unbelebten Nährboden ist bisher nie gelungen. Die Viren setzen also zu ihrem Leben die Existenz anderer, höherer Lebewesen voraus: sie brauchen einen *lebenden Wirt*. Viren im heutigen Sinne kann es also erst gegeben haben, nachdem schon vorher höhere Lebewesen entstanden waren. Die Unfähigkeit zu einem anderen Leben als dem eines Parasiten hängt mit der Kleinheit der Viren zusammen. Im relativ kleinen Molekül des Virus können gewissermaßen nicht die Werkzeuge zur selbständigen Bewältigung aller Lebensfunktionen untergebracht werden.

Die Kleinheit der Viren sei in folgender Weise veranschaulicht. Wenn wir das Gewicht des Wasserstoffatoms gleich 1 setzen, wiegt ein Wassermolekül 18, ein Molekül des menschlichen roten Blutfarbstoffes (Hämoglobin) 69000, des Tabakmosaikvirus 43 Millionen Einheiten. Ein einziges Bakterium wiegt dann aber schon hunderte Milliarden, ein Mensch 40 Quadrilliarden Einheiten (*Abbildung 38*).

Die Welt der Viren ist äußerst bunt und vielfältig. Zahllose Viren schädigen unsere Kulturpflanzen: Gemüse, Obstbäume und Sträucher

Teilchen	Durchmesser bzw. Länge × Breite in millionstel Millimeter	Relatives Gewicht
Rotes Blutkörperchen des Menschen	7500	170 Billionen
Bacillus prodigiosus (eines der kleinsten Bakterien)	750	170 Milliarden
Virus der Papageienkrankheit . .	275	8·5 Milliarden
Kuhpocken-Virus	175	2·3 Milliarden
Tollwut-Virus.	125	800 Millionen
Grippe-Virus	120	700 Millionen
Virus der Tabakmosaikkrankheit	430 × 12·3	43 Millionen
Virus des Gelben Fiebers	22	4·3 Millionen
Virus der Kinderlähmung	12	700 000
Molekül des roten Blutfarbstoffes	2·8 × 0·6	69 000
Atom des Elementes Uran. . . .	0·6	238
Atom des Wasserstoffs (kleinstes aller Atome)	0·25	1
Elektron	?	$\frac{1}{1837}$

Abbildung 38

Vergleichende Zusammenstellung der Größen und der relativen Gewichte von mikroskopischen und von submikroskopischen Teilchen.

(Hauptsächlich nach *Oparin*)

erkranken. Der Zuckerertrag von Rübenfeldern kann durch Viruskrankheiten auf die Hälfte herabgesetzt werden. Der Virusbefall der englischen Kartoffeln macht alljährlich die Einfuhr von 40000 Waggon Saatkartoffeln aus Schottland und Irland notwendig, wo die Saug-Insekten fehlen, die das Kartoffelvirus übertragen. Andere Pflanzenviren, zum Beispiel das Tabakmosaikvirus, werden nicht durch Saugen, sondern durch Berührung übertragen.

Zu den tierischen und menschlichen Viruskrankheiten gehören die *Kinderlähmung*, die *Tollwut*, die *Pocken* (Blattern), die *Influenza* und das *Gelbe Fieber*. Diese und viele andere Infektionskrankheiten werden also *nicht* durch Bakterien hervorgerufen. Als nützlich betrachtet man in Australien das *Myxomatose-Virus*. Man hat die dortigen verwilderten Kaninchen, die enormen Schaden stiften, absichtlich mit dem Virus infiziert, das man aus Südamerika importiert hatte. Die Sterblichkeit der befallenen Kaninchen kann 99% und mehr betragen. In großen Teilen Australiens wurde so die Kaninchenplage gewaltig eingedämmt. Andere Tiere — ausgenommen in besonderen Fällen Feldhasen — werden von Myxomatose nicht befallen. In den letzten Jahren haben Landwirte — ohne offiziellen Auftrag oder amtliche Erlaubnis — infizierte Kaninchen auch in Frankreich und in England ausgesetzt, so daß die Krankheit sich unaufhaltsam über ganz Europa ausbreitet.

In der Forstwirtschaft von Bedeutung sind die *Polyederviren*, die auf Insekten parasitieren. Bekanntlich gibt es Schmetterlinge, die die Wälder quadratkilometerweise vernichten können: die „Nonnen“. Aber zu manchen Zeiten erkranken die Raupen der Nonnen an einer ansteckenden Krankheit. In den meisten ihrer Körperzellen stauen sich merkwürdig geformte lichtbrechende vieleckige Körperchen (Polyeder), die im Mikroskop gut sichtbar sind. Die Krankheit wird durch ein Virus hervorgerufen, das in bisher ungeklärter Weise diese Polyeder zur Entstehung bringt. Man kann die Nonnen absichtlich mit dem Virus infizieren.

Schließlich gibt es noch Viren, die Bakterien angreifen. Das sind die sogenannten *Bakteriophagen*, das heißt Bakterienfresser, wertvolle Bundesgenossen im Kampf gegen bakteriell verursachte Krankheiten (*Abbildung 39*). Medizin und Tiermedizin der Zukunft werden



Abbildung 39

Viren als Bakterienfresser (Bakteriophagen).

Die kaulquappenähnlichen Bakteriophagen haben ein Ruhrbakterium befallen, das dadurch der Auflösung verfällt.

(Elektronenmikroskopische Vergrößerung: 20000fach.)

von den Phagen mehr Gebrauch machen; bisher kennt man ihre Lebensgesetze zu wenig.

Nur ganz kurz soll hier auf das wichtige Problem „Krebs und Virus“ hingewiesen werden. Man hat natürlich oft vermutet, daß der *Krebs* durch besondere Kleinlebewesen hervorgerufen wird. Heute weiß man nun mit Sicherheit, daß der Krebs *nicht* durch Bakterien verursacht ist. Nicht so sicher ist man in bezug auf eine Erregung des Krebses durch Viren.

Seit langem ist bekannt, daß man Krebse durch Überimpfen von *Krebszellen* von einem Versuchstier auf ein anderes übertragen kann, wobei unter Umständen schon eine einzige Zelle zur Krebserregung genügt. Aber vor einem halben Jahrhundert fand *Rous*, daß gewisse

Krebse bei Hühnern auch *zellfrei*, nämlich durch filtrierte Preßsäfte aus dem erkrankten Gewebe auf andere Hühner übertragen werden können. Dieses Verfahren zur Infektion mit Krebs gleicht also dem wohlbekannten Verfahren zur Infektion eines gesunden Tabakblattes durch den Preßsaft aus einem mosaikkranken Blatt. Tatsächlich hat man in den krebserzeugenden Preßsäften aus krankem Hühnergewebe ein charakteristisches Virus aufgefunden.

Später hat man ähnliche Viruskrebse bei einem Säugetier, nämlich beim Kaninchen, entdeckt. Einen besonders interessanten Viruskrebs hat man auch an Mäusestämmen festgestellt. Diese Mäuse übertragen ihren Viruskrebs durch die Milch, die von den Jungen aufgenommen wird. Wenn diese heranwachsen, erkranken sie selbst — und zwar nur die *weiblichen* Mäuse, da es sich um einen Brustkrebs handelt, der nur in den Weibchen den richtigen vollentwickelten Nährboden vorfindet. Mäuse aus gesunden Stämmen können durch die Milch kranker Weibchen angesteckt werden.

Damit ist natürlich nur über einen kleinen Bruchteil aller bei Hühnern, Kaninchen oder Mäusen vorkommenden Krebse etwas ausgesagt. Beim Menschen ist bisher kein einziges Beispiel eines Viruskrebses bekanntgeworden. Die Frage, ob Viren beim menschlichen Krebs eine Rolle spielen können, muß deshalb vorläufig noch offen bleiben.

Wird es künstliches Leben geben?

Den Satz „*Leben ist die Daseinsweise der Eiweißkörper*“ hat *Friedrich Engels* ausgesprochen. Engels hat sich bekanntlich nicht nur gemeinsam mit seinem Freund *Karl Marx* mit Fragen der Philosophie, Geschichte, Nationalökonomie und Arbeiterpolitik befaßt, sondern wir verdanken ihm auch eingehende Studien zu den Fragen der Naturwissenschaft, an denen er zeit seines Lebens brennendes Interesse nahm.

Tatsächlich könnte man sich auch heute, nach weit mehr als einem halben Jahrhundert, keine treffendere Kennzeichnung des Lebens durch einen einzigen, kurzen Satz vorstellen. Engels' Ausspruch ist durch die weitere Entwicklung der Wissenschaft nicht nur nicht überholt worden, sondern sein Wahrheitsgehalt springt heute geradezu in die Augen. Zu seinem Verständnis ist natürlich eine Vorstellung notwendig, was Eiweißkörper eigentlich sind.

Die meisten Menschen denken beim Wort „Eiweiß“ an die Substanz, die dieser ausgedehnten Stoffgruppe ihren deutschen Namen gegeben hat, an das *Eiklar*, dem wir auch als Füllung von Schaumrollen begegnen. Ähnliche Gedankenverbindungen entstehen wahrscheinlich aus den analogen slawischen Bezeichnungen für das Eiweiß. Dagegen entspringen die englischen und französischen Bezeichnungen einem anderen Wortstamm: In diesen Ländern wird das Eiweiß als *Protein* bezeichnet. Das Wort ist vom griechischen „*protos*“ (der Erste, der Ursprüngliche) abgeleitet. Das Wort schon weist auf die enorme Bedeutung hin, die man dem Eiweiß (dem Protein) mit Recht zuschreibt.

Tatsächlich ist das Eiklar ein Eiweißkörper. Aber es ist eben nur einer unter den vielen. Das Eiklar oder das *Ei-Albumin*, wie die Wissenschaft es nennt, hat seine ganz bestimmten chemischen,

physikalischen und biologischen Eigenschaften. Andere Eiweißkörper haben andere Eigenschaften, die von denen des Ei-Albumins stark abweichen können. Denken wir an das *Kasein* der Milch, das wir in leidlich reiner Form als Topfen (Quark) kennen, an den roten Blutfarbstoff (das *Hämoglobin*), an das *Insulin*, das sich die Zuckerkranken injizieren müssen, an die *Muskelfaser*, die zum Beispiel das Kalbsschnitzel ausmacht, dann aber auch an die Fasern der *Seide*, aus der Abendkleider hergestellt werden, und an die der *Wolle*, aus der Skisocken bestehen... Das sind alles Eiweißkörper. Die Eiweißkörper zeigen so unglaubliche Verschiedenheit, daß es auf den ersten Blick schwerfällt, überhaupt an eine tiefgreifende Gemeinsamkeit zu glauben.

Und doch existiert diese Gemeinsamkeit! Es ist berechtigt, ja notwendig, die Eiweißkörper wissenschaftlich zu einer einzigen Gruppe von Stoffen zusammenzufassen. Vom chemischen Standpunkt aus wurde die Begründung dazu durch *Emil Fischer* in Berlin geliefert. Fischer zeigte um die Wende des Jahrhunderts zunächst, daß alle Eiweißkörper *hochmolekulare* Verbindungen sind, daß also die Moleküle aus sehr vielen Atomen bestehen und unvergleichlich größer sind als einfache Moleküle, beispielsweise die Moleküle des Wassers oder der Schwefelsäure. Solche hochmolekulare Stoffe geben hochviskose (zähe) Lösungen, die als *kolloidale Lösungen* bezeichnet werden. Andere hochmolekulare Stoffe sind die Zellulose und der Kautschuk.

Andererseits sind die Eiweißkörper durch eine besondere Zusammensetzung dieser Riesenmoleküle gekennzeichnet. Während jedes Molekül der Zellulose sich aus vielen hundert Molekülen der Glukose (des Traubenzuckers) zusammensetzt, besteht das Molekül eines jeden Eiweißkörpers aus Hunderten von Einzelbausteinen, die *Aminosäuren* genannt werden.

In der Molekülkette der Zellulose sind die Glukosebausteine so verknüpft, daß jeweils ein Glukosemolekül das nächste mit seinem Kopf „in den Schwanz beißt“. Ganz analog steht es bei den Eiweißkörpern. Nur handelt es sich hier eben nicht um Glukosemoleküle, sondern um Aminosäuremoleküle. Was eine Aminosäure ist, das wollen wir nicht besprechen, sondern den Fachleuten überlassen.

Es ist jedenfalls ein einfach gebautes Molekül, das unter anderem — im Gegensatz zum Zucker — Stickstoffatome enthält. Es gibt in der Natur mehr als zwanzig verschiedene Arten von Aminosäuren; der Aufbau jeder einzelnen von ihnen ist den Chemikern wohlbekannt.

Es erhebt sich nun die Frage, wie die enorme Vielfalt der Eiweißkörper auf Grund der Auffassung Fischers verstanden werden kann, wenn es doch so wenige verschiedene Aminosäuren gibt! Wodurch unterscheiden sich denn dann das Eiklar, der Topfen, das Hämoglobin, die Muskelfaser, die Seide, die Wolle und die vielen, vielen anderen Eiweißstoffe, die nur den Fachleuten bekannt sind?

Die Antwort Fischers, die ihre Gültigkeit vollauf behalten hat, ist die folgende: Im (sehr großen) Eiweißmolekül können die zwanzigerlei Bausteine in verschiedenen Mengenverhältnissen und in verschiedener Anordnung vorkommen. Es steht damit ähnlich wie mit dem Aufbau der Wörter, ja der Sätze und ganzer Bücher aus nur zwei Dutzend verschiedener Buchstaben. Bloß indem wir immer die gleichen Buchstaben verschieden anordnen, können wir mit ihnen entweder die Werke Homers oder ein Schundheft „aufbauen“. Die Möglichkeiten der Kombination der Buchstaben zu Büchern sind praktisch unbegrenzt. Ebenso sind auch die Möglichkeiten der Kombination der Aminosäuren zu Eiweißarten unbegrenzt.

Die Kompliziertheit der Eiweißkörper hat bewirkt, daß die Chemiker trotz lebhaften Anstrengungen und immensem Fleiß bis heute noch nicht einmal in einem einzigen Fall die *exakte Struktur* eines Eiweißmoleküls in dem Sinne erkannt haben, daß sie wirklich wissen, wo eigentlich jedes einzelne Atom sitzt! Man hat zwar in den letzten Jahren in dieser Richtung enorme Fortschritte gemacht; man kennt in vielen Fällen auch schon die ungefähre Größe der Eiweißmoleküle; oft weiß man auch, in welchem ungefähren Verhältnis sie sich aus den verschiedenen Aminosäurebausteinen zusammensetzen; aber bisher ist es noch nicht gelungen, die genaue Zahl und Reihenfolge der Bausteine in einem solchen Molekül ausfindig zu machen.

Dennoch wäre die Behauptung töricht, daß auch in Zukunft nicht gelingen werde, was bisher noch nicht gelungen ist. Im Gegenteil. Sicher wird unsere Generation den Tag erleben, an dem zum

erstmals eine Gruppe von Wissenschaftlern in einer Fachzeitschrift berichten wird, daß ihr die totale Aufklärung der Zusammensetzung eines Eiweißkörpers gelungen ist; die Aufgabe übertrifft allerdings die Leistungskraft des Einzelmenschen.

Sobald die Struktur einmal aufgeklärt ist, können die Chemiker darangehen, das Molekül zu *synthetisieren*, künstlich herzustellen. Und es kann kein Zweifel bestehen, daß ihre Bemühungen dann früher oder später auch von Erfolg gekrönt sein werden.

Wir kommen nun zu der Frage, deren Beantwortung wir durch den Titel dieses Kapitels in Aussicht gestellt haben. Bedeutet die Synthese eines jeden Eiweißkörpers gleichzeitig schon unmittelbar die Synthese lebender Substanz? Engels meint: „Überall, wo wir Leben vorfinden, finden wir es an einen Eiweißkörper gebunden, und überall, wo wir einen nicht in Auflösung begriffenen Eiweißkörper vorfinden, da finden wir ausnahmslos auch Lebenserscheinungen.“ Meint nun Engels, daß jeder einzelne Eiweißkörper schon für sich allein — in Isolierung betrachtet — die Erscheinungen des Lebens zeigt?

Nein, das wäre eine grobe Vereinfachung! Jeder natürliche — und daher auch jeder mit ihm identische, künstlich hergestellte — Eiweißkörper kann zwar *gemeinsam mit den anderen Eiweißstoffen* das Leben erhalten und weitertragen, wenn er an der richtigen Stelle im lebenden Gewebe eingesetzt wird. So werden zum Beispiel die Moleküle des roten Blutfarbstoffes, des Hämoglobins, wenn man sie früher oder später einmal künstlich aufgebaut haben wird, ihre Rolle innerhalb des lebenden Organismus tadellos spielen können. Das heißt, daß das Kunstprodukt, richtig verwendet, sich genau wie der natürliche Blutfarbstoff bewähren wird: er wird den eingeatmeten und von der Lunge aufgenommenen Sauerstoff auf die hungrigen Zellen des Körpers übertragen. Insofern wird er an den Lebenserscheinungen *teilhaben*. Der Blutfarbstoff (natürlich oder künstlich) weist aber — trotz seiner Eiweißnatur — *für sich allein* bestimmte andere Lebenserscheinungen, etwa die der Vermehrung, noch nicht auf. Er zeigt also *in Isolierung* kein Leben.

Das kommt daher, daß der Blutfarbstoff einen Bestandteil von hochentwickelten Lebewesen bildet, die nicht nur *innerhalb* ihrer

einzelnen Zellen — und *außerhalb* ihrer Zellen — eine Vielfalt von Eiweißkörpern enthalten, sondern auch aus einer großen Zahl *verschiedener* Zellen bestehen, die miteinander zusammenwirken müssen, wenn das Leben erhalten und fortgepflanzt werden soll. Nur wenig „günstiger“ steht es in dieser Hinsicht mit *Einzellern*, wie Bakterien oder Hefen, die noch immer in ihren Zellen eine große Zahl verschiedener Eiweißkörper enthalten. Zur „Synthese des Lebens“ in Form solcher Wesen wäre es also Voraussetzung, zuerst *alle* in ihnen enthaltenen Eiweißkörper einzeln herzustellen, und zweitens diese Körper in der natürlichen räumlichen Anordnung zusammenzusetzen.

Der *unabhängigen* Existenz einzelner Eiweißkörper als Lebewesen kommen wir in gewisser Hinsicht näher, wenn wir die als Krankheitserreger berüchtigten *Viren* betrachten. Die einfachsten Viren, zum Beispiel das Virus der Mosaikkrankheit des Tabaks, sind bestimmt nichts anderes als — wenn auch große und kompliziert zusammengesetzte — *Eiweißmoleküle*. Diese Viren bestehen also nicht aus Zellen, sondern aus chemisch einheitlicher Substanz. Sobald es einmal gelungen sein wird, die Atome in der gleichen Weise zu einem Eiweißmolekül zusammenzusetzen, wie es im natürlichen Virus der Fall ist, wird man mit künstlichen Mitteln eine lebende Substanz geschaffen haben. „Die einfachsten lebenden Wesen, die wir kennen, sind eben nichts als einfache Eiweißklümpchen, und sie zeigen schon alle wesentlichen Lebenserscheinungen“, sagte *Engels* schon lange vor der Entdeckung der Viren im Jahre 1892.

Freilich ist auch das Virus nach dem heutigen Stand unseres Wissens noch insofern auf die „Zusammenarbeit“ mit sonstiger lebender Substanz angewiesen, als es anscheinend außerhalb des *belebten Nährbodens* (Wirtsorganismus) weder wachsen noch sonst seine Lebendigkeit unter Beweis stellen kann. So dient dem Tabakvirus als Nährboden das *lebende Tabakblatt* — das allerdings bei dieser „Zusammenarbeit“ zu Schaden kommt.

Aus diesem Grunde wird man die Synthese des Virus, das ohne Zweifel das erste Lebewesen sein wird, dessen Herstellung der Mensch meistern wird, nur als eine Art *Teilsynthese des Lebens* betrachten dürfen. Von der Beschränkung darauf, daß die Lebenserscheinungen

die gleichzeitige Anwesenheit sonstiger lebender Substanz (eines Wirtes) erfordern, wie dies für das Virus zutrifft, wird man sich doch erst mit der Herstellung höherer Lebewesen frei machen. Nur diese können, wie man heute glaubt, auf Nährböden leben, die selbst unbelebt sind, ja sogar niemals einen Bestandteil belebter Substanz gebildet haben. So leben Bakterien bekanntlich fröhlich auf Lösungen von Alkohol (und bilden Essig). Sie setzen also bei ihrem Gedeihen weder die gleichzeitige noch die vorherige Existenz anderer Lebewesen voraus. Erst ihre Synthese bedeutet daher eine *Totalsynthese des Lebens*.

Die Aufgabe der Synthese der Viren und noch viel mehr die der tausend- oder zehntausendmal größeren und unvergleichlich komplizierter gebauten Bakterien erscheint natürlich äußerst schwierig. Sie ist es auch wirklich. Man soll aber doch nicht verzagen. Schließlich gibt es überhaupt erst seit zwei Jahrhunderten eine wissenschaftliche Chemie, und erst vor einem halben Jahrhundert haben wir die ersten groben Kenntnisse über den Aufbau der Eiweißkörper geschöpft. Der bisherige Fortschritt war also gar nicht so langsam. *Vor der Menschheit* liegen aber noch Millionen und Abermillionen Jahre.

Nun wird aber der Leser fragen, warum wir die Herstellung künstlichen Lebens als eine so ungemein wichtige Aufgabe der Wissenschaft betrachten. Gerade Viren und Bakterien gibt es doch, so muß es dem Laien scheinen, ohnehin mehr als genug! Die Antwort liegt darin, daß der Synthese lebender Substanz außerordentlicher *Erkenntniswert* zukommen wird.

Die Menschheit hat immer wieder gefunden, daß die Richtigkeit ihrer Auffassungen und Vorstellungen vom Naturgeschehen sich durch die *Praxis* erweisen muß. Erst wenn wir versuchen, unsere Umwelt im Einklang mit unseren Vorstellungen von ihr umzugestalten, erkennen wir in wirklich schlüssiger Weise, bis zu welchem Grade diese Vorstellungen richtig sind, also der Wirklichkeit der Außenwelt entsprechen.

So dürfen wir auch annehmen, daß wir die entscheidenden Erkenntnisse über das Leben erst dann schöpfen werden, wenn wir über die theoretische — wenn auch durch zahllose Experimente unterstützte — Betrachtung der Lebenserscheinungen hinaustreten

können, wenn also die Zeit für die Inangriffnahme der praktischen Synthese lebender Substanz reif sein wird. Unsere Erfolge und Mißerfolge werden uns dann lehren, in welcher Weise wir unsere Vorstellungen zu berichtigen haben.

Allerdings werden sich diese Ergebnisse der Wissenschaft zweifellos auch zum praktischen Nutzen des Menschen auswirken. Die Vertiefung unseres Verständnisses der Lebensvorgänge wird die Medizin in ungeahnter Weise befruchten und dem Kampf gegen Krankheit und Alter, für die volle Entfaltung der Kräfte des Menschen neue Wege weisen.

Rückblick und Ausblick

Der Verfasser hofft, daß mancher Leser ihm auf dem Wege von der Milchstraße bis zum Sehpurpur und zum Tabakvirus gefolgt ist. Auf diesem Wege wird der Leser die mannigfachen Wechselbeziehungen erkannt haben, die zwischen den verschiedensten Erscheinungen der Natur bestehen. Wieder einmal zeigt sich, daß man keinen Teil der Natur in strenger Isolierung behandeln kann, daß vielmehr alle Teile lebhaft ineinandergreifen.

Daß in dem vorliegenden Buch ähnliche Dinge an verschiedenen Stellen erwähnt werden mußten, ist daher nicht nur die Folge des Bestrebens, dem Leser die Lektüre leicht zu machen. Die Wiederholungen bringen vielmehr auch zum Ausdruck, daß die gleichen Objekte und die gleichen Gesetzmäßigkeiten den verschiedensten Gebieten der Naturkunde ihren Stempel aufdrücken.

So hat uns die Atomlehre nicht nur den Schlüssel zum Verständnis der Eigenschaften der irdischen Rohstoffe und der Erzeugnisse des Chemikers gegeben. Sie hat uns auch die Energielieferung durch die Sonne und — in einer ganz anderen Richtung — das Verhalten der einfachsten lebenden Substanz verstehen lassen. So hat auch die Radioaktivität nicht nur zur Entdeckung der Atomenergie, der Energiequelle der Zukunft, geführt. Sie ermöglicht es uns auch, den Krebs zu bekämpfen, Metallteile auf ihre Festigkeit zu prüfen und das Alter der Mumien in den Pyramiden Ägyptens zu errechnen.

Der Verfasser hat nach Möglichkeit vermieden, rein anekdotisches, beziehungsloses Wissen im Sinne der Frage „Haben Sie schon gewußt, daß . . .“ zu geben. Er hat sich auf die Erkenntnisse konzentriert, die ihm bedeutungsvoll erscheinen. Sie sind bedeutungsvoll, wenn sie das Walten der allgemeinen Naturgesetze im konkreten Einzel-

fall veranschaulichen. Die meisten dieser Erkenntnisse stammen aus der jüngsten Zeit, aus den letzten Jahrzehnten oder gar Jahren.

Die letzten Jahrzehnte haben der Menschheit mehr Erkenntnis der Natur gebracht als alle vorangegangenen Jahrtausende. Die Menschheit steht aber erst am Beginn ihrer Entwicklung! Es kann daher kein Zweifel bestehen, daß in Zukunft die Erkenntnis der Umwelt Fortschritte machen wird, die wir heute nicht einmal ahnen können.

Es hat immer wieder — selbst unter Wissenschaftlern von Rang und Namen — Propheten der Ignoranz gegeben. Sie haben gepredigt, die Naturerkenntnis werde stets begrenzt bleiben. Sie haben behauptet, gewisse Bereiche des Wissens würden dem Menschen stets entzogen bleiben. Auch der menschlichen Tätigkeit zur Beherrschung der Natur seien Grenzen gesetzt. „Ignorabimus“ („Wir werden niemals wissen!“), rief im Jahre 1872 einer der berühmtesten Physiologen seiner Zeit aus. Es ist erstaunlich, wenn Wissenschaftler selbst die Leistungsfähigkeit der Wissenschaft so kurzfristig leugnen.

So wurde einst behauptet, der Mensch könne niemals organische Stoffe (Kohlenstoffverbindungen) aus anorganischen Stoffen erzeugen. Diese Behauptung brach zusammen, als im Jahre 1828 Wöhler aus anorganischem Ausgangsmaterial den organischen Harnstoff darstellte. Seither sind tausende und abertausende organische Stoffe synthetisiert worden. Es wurde behauptet, nie werde der Mensch das Entstehen der zahllosen Arten der Pflanzen und der Tiere begreifen, die ihrer Umwelt so wunderbar angepaßt sind. Aber im Jahre 1859 erschien *Charles Darwins* Werk über die „Entstehung der Arten“, durch das nahezu mit einem Schlage die Entwicklung der belebten Natur verständlich gemacht wurde. Es wurde behauptet, nie werde man etwas über den Bau ferner Gestirne oder über den Bau der Atome erfahren. Heute lernen über beides schon die Kinder in der Schule.

Die Propheten der Ignoranz haben sich also immer wieder blamiert. Damit soll freilich nicht gesagt sein, daß die neuen Erkenntnisse sich immer Bahn brechen, ohne Widerstand zu finden. *Giordano Bruno* wurde von der Inquisition verbrannt, *Galilei* mußte in Rom seinen Überzeugungen abschwören, das Dritte Reich tat die Relativitäts-

theorie in Acht und Bann, und in so manchem Lande wird heute noch der Konflikt zwischen biblischer Schöpfungsgeschichte und Darwinscher Entwicklungslehre durch Verordnung zugunsten der ersteren „entschieden“. Aber allen Widerständen zum Trotz setzen sich die neuen wissenschaftlichen Erkenntnisse durch, weil sie *wahr* sind.

Die neuen Erkenntnisse haben der Menschheit auch neues, zielklares Handeln ermöglicht. Wer die Natur besser versteht, kann sie auch besser beherrschen. Wenn wir Öl und Gas aus den Tiefen der Erde fördern, wenn wir Pflanzen üppiger wachsen lassen, wenn wir durch Insulin, Penicillin und Radiokobalt zahllose Menschenleben retten, so sind dies Schritte aus dem „Reich der Notwendigkeit“ in das „Reich der Freiheit“, aus der „Vorgeschichte der Menschheit“ in die „bewußte Geschichte der Menschheit“, wie der große Denker *Friedrich Engels* die Abschnitte der Menschheitsentwicklung bezeichnet hat. Die im Dienste des friedlichen Erkenntnisfortschrittes stehende Wissenschaft schafft die Voraussetzungen dafür, daß die Menschheit einer Epoche entgegengeht, in der die Sorge um das tägliche Brot und der Kampf um ein menschenwürdiges Dasein der Vergangenheit angehören werden — einer Epoche, in der sich die Lebensfreude des Menschen vervielfachen wird.



ZBPH



+P9813202

