

Zeitschrift: Verhandlungen der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft = Actes de la Société Helvétique des Sciences Naturelles = Atti della Società Elvetica di Scienze Naturali

Herausgeber: Schweizerische Naturforschende Gesellschaft

Band: 121 (1941)

Rubrik: Discours d'introduction du Président annuel et Conférences principales

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 23.11.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

A.

Partie scientifique

Discours d'introduction du Président annuel
et Conférences principales

Communications faites aux séances de sections

Wissenschaftlicher Teil

Eröffnungsrede des Jahrespräsidenten
und Hauptvorträge

Vorträge, gehalten in den Sektionssitzungen

Partita scientifica

Discorso inaugurale del Presidente annuale
e Conferenze principali

Comunicazioni fatte alle sedute delle sezioni

Eröffnungsrede des Jahrespräsidenten der S.N.G.

zur 121. Jahresversammlung, in Basel

Von

Prof. Dr. FRIEDRICH FICHTER, Basel

Hochgeehrter Herr Zentralpräsident,
Hochgeehrte Ehrengäste,
Liebe Mitglieder und Freunde der
Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft,
Meine Damen und Herren,

Vor allem heisse ich Sie im Namen der Naturforschenden Gesellschaft Basel und im Namen der Bevölkerung Basels aufs herzlichste willkommen ! Wir rechnen es uns zur besonderen Ehre und Freude an, dass wir die Schweizerische Naturforschende Gesellschaft das *achte Mal* nach Basel einladen durften, und sogar entgegen dem alten Brauch im Jahre *nach* dem Ablauf der Amtszeit des letzten Basler Zentralpräsidenten, unseres verehrten und lieben Herrn Prof. Dr. G. SENN. Wir hoffen und wünschen, dass die Versammlung trotz der schweren Zeit einen erfolgreichen Verlauf nehme und sowohl der wissenschaftlichen Forschung als dem Gedankenaustausch unter den Fachgenossen aus dem ganzen Lande zugute komme. Denn wenn die Schweiz bisher inmitten der brandenden Kriegswogen und des traurigen Kriegselendes von Blutopfern und von Hunger verschont geblieben ist, so verlangt die Pflicht von uns Naturforschern, dass wir unsere idealen Güter weiter pflegen und die wissenschaftliche Arbeit nicht ruhen lassen.

* * *

Schon häufig beim Besuch unserer Jahresversammlungen habe ich als Chemiker Gefühle der Minderwertigkeit, ja des Neides

empfundener, wenn in den anderen Disziplinen die Verbundenheit mit dem Vaterland so schön zum Ausdruck kam. Die Geologie, die Mineralogie, die Paläontologie, die Botanik, die Zoologie finden ihre dankbaren Untersuchungsobjekte in der Heimat; die Chemie aber ist sozusagen vaterlandslos, die Professoren stellen ihre Forschungen meist ohne jede Bindung lokaler oder nationaler Art an. So stellte sich mir immer wieder die Frage: Gibt es eine schweizerische Chemie?

Bei näherem Zusehen zeigt sich nun, dass die schweizerische chemische Industrie viel inniger mit dem Boden verwachsen ist als die Chemie der Hochschulen.

Nehmen wir als Beispiel die Basler Farbenindustrie, so ist schon oft erzählt worden, dass neben dem kühnen Unternehmungsgeist einzelner weitblickender Männer die Patentgesetzgebung Frankreichs eine Vorbedingung für ihre Entwicklung war. In Frankreich besass der erste Erfinder eine Monopolstellung, weil sein *Produkt* geschützt war. Andere Erfinder, die denselben Stoff besser und billiger herzustellen wussten, wanderten darum in die in Beziehung auf Patentgesetze noch völlig freie Schweiz, und so entstanden in Basel, wo in der Stadt sowohl als in der Umgebung viel Textilindustrie getrieben wurde, in den sechziger Jahren des vorigen Jahrhunderts die ersten Farbenfabriken, die sich zu den heutigen Betrieben entwickelt haben.

Wenn nun die junge schweizerische Farbstoffindustrie nur darauf ausgegangen wäre, mit Erfindungen aus dem Ausland Geld zu verdienen, so würde sie den Ehrentitel einer schweizerischen Chemie nicht beanspruchen dürfen. In Wirklichkeit aber wurde schon damals und wird heute noch in unseren chemischen Fabriken Forschungsarbeit im grössten Stile geleistet, oftmals viel gründlicher und umfassender, als es in einem Hochschullaboratorium überhaupt möglich ist. Diese Forschungsarbeit, die Summe der Erfindungen, die in der Schweiz gemacht wurden, bildet eine echte schweizerische Chemie, entstanden auf Schweizerboden, geboren aus schweizerischem Geiste und der Schweiz dienend dadurch, dass sie nicht wie die meisten Ergebnisse der Hochschulforschung schutzlos in die Welt hinausgeworfen wird.

Erlauben Sie mir darum, Ihnen ein wenig zu erzählen von « Basler Erfindern ». Dabei muss ich mir freilich grösste Beschränkung auferlegen; denn erstens darf ich kaum von Lebenden reden,

so gewaltig auch die Versuchung dazu wäre, und zweitens kann ich aus der langen Reihe von erfolgreichen Basler Erfindern nur wenige besonders markante Männer herausgreifen; bei der Willkür einer derartigen Auswahl möge sich niemand daran stossen, wenn ein Name, der ihm unter allen hervorzuragen scheint, heute nicht genannt wird.

Eine derartige, halb geschichtliche, halb fachwissenschaftliche Betrachtung ist vielleicht bei unserer Jahresversammlung aus zwei Gründen am Platze: einerseits wird damit unseren Kollegen aus der übrigen Schweiz ein Stück Basel unter einem besonderen Gesichtswinkel gezeigt, und anderseits soll so eine Dankeschuld abgetragen werden gegenüber den Männern, die unserer Stadt und unserem Lande unschätzbare Dienste geleistet haben, und zwar fast ausnahmslos im verborgenen. Denn während die Dozenten die Früchte ihrer Forschungen so rasch wie möglich der mehr oder weniger staunend aufhorchenden Mitwelt verkünden, so ist es dem Erfinder in der chemischen Fabrik meist völlig versagt, die Ergebnisse seiner Untersuchungen unter seinem Namen bekanntzumachen; was davon veröffentlicht wird, kommt oft nur in Form von Patenten unter dem Namen der Firma heraus. Die schönsten Entdeckungen bleiben so anonym oder pseudonym, und so verharren auch die Mitbürger meist gänzlich in Unwissenheit dessen, was die einzelnen Chemiker in den Forschungslaboratorien der Basler Fabriken geschaffen haben. Verschiedene Strassen in Basel sind nach Professoren benannt worden, aber eine Traugott-Sandmeyer-Strasse fehlt noch immer, trotzdem die Anregung dazu den hohen Behörden verschiedentlich übermittelt wurde. Die Erfindungen in den chemischen Fabriken sind aber die Grundlage des Geschäftsgangs, und ihnen verdankt also auch der Jahresvorstand die ihm so freigebig zur Verfügung gestellten Mittel zur Durchführung unserer Jahresversammlung.

Was ist nun eine chemische Erfindung? Als Beispiel möge eine solche des eben genannten Dr. Sandmeyer, von dem noch mehr die Rede sein wird, dienen.

Als im Jahre 1884 die ohne vorherige Beizung der Fasern auf Baumwolle färbenden Disazofarbstoffe aus Benzidin aufkamen, da stellte Sandmeyer auf einem bis dahin noch nicht beschrittenen, völlig neuen Wege das unsymmetrische Benzol-azo-o-toluol dar und gewann daraus durch Reduktion mit Zinkstaub — die Ver-

wendung von Zinkstaub als Reduktionsmittel stammt von Louis Durand aus St. Just, der 1865 nach Basel in die Clavelsche Fabrik kam und 1871 das Haus Durand & Huguenin gründete — die entsprechende Hydrazoverbindung, die er zum 2-Methylbenzidin umlagerte. Damit war nun eine neue Stammsubstanz geschaffen zur Darstellung von Direktfarbstoffen, die den aus Benzidin gewonnenen in allen Eigenschaften völlig entsprachen und die Basel eine überragende Stellung auf diesem Gebiete verschafft hätten, wenn nicht zwei grosse deutsche Firmen, die sich mit den Benzidinfarbstoffen befassten, das Sandmeyersche Verfahren erworben hätten. Man wende mir nun nicht ein, eine derartige, von wirtschaftlichen Erwägungen ausgehende Erfindung liege auf einem niedrigeren Plan als die aus reinem Forschungsdrang geborenen Erfindungen der Hochschullaboratorien. Die wissenschaftliche Bedeutung einer Erfindung messen wir nicht am Zwecke, dem sie dient, sondern an der geistigen Leistung, durch die sie hervor gebracht wurde. Und das Naserümpfen würde wohl sofort aufhören, wenn der Kritiker selbst die Lösung einer Aufgabe wie der eben geschilderten suchen müsste.

Eine chemische Erfindung verlangt, ausser umfassender Kenntnis des bisher Geleisteten und ausser chemischer Experimentierkunst, die Gabe der wissenschaftlichen Phantasie; sie allein befähigt den Erfinder, neue Wege auszudenken, um ein bestimmtes Ziel zu erreichen. Dann probiert er die neue Methode im Reagenzglas. Dabei muss er aber genau aufpassen, denn häufig führt der neue Weg nicht zum gewünschten Stoff, sondern läuft in einer ganz unerwarteten Richtung, und nur unvoreingenommene Beobachtung lässt die Natur der neuen Verbindung erkennen. Damit hat der Erfinder manchmal etwas entdeckt, das zwar mit dem vorgesteckten Ziel nicht zusammenhängt, aber in einem anderen Gebiete grosse Bedeutung erlangt.

Ich wähle wieder ein Beispiel aus Sandmeyers Arbeiten. Er liess 1889 salpetrige Säure auf Salicylsäure-methylester einwirken, in der Absicht, einen Nitrosokörper darzustellen. Statt eines solchen erhielt er überraschenderweise einen beizenziehenden Farbstoff, das Chromviolett, eine Verbindung, in der drei Salicylsäuremolekeln durch ein Kohlenstoffatom zusammengehalten waren; dieses Kohlenstoffatom stammte aus dem Methylester, der teilweise verseift und zu Formaldehyd oxydiert worden war. Diese

Erkenntnis erlaubte Sandmeyer, Schritt für Schritt diesen und ähnliche äusserst brauchbare Farbstoffe aufzubauen.

Nachdem so das Wesen einer chemischen Erfindung gekennzeichnet ist, wende ich mich zu einzelnen Erfindern und gehe dabei der Hauptsache nach chronologisch vor.

Der Name des Winterthurers ROBERT BINDSCHEDLER wird mit dem Indamin « Bindschedlers Grün », das zwar als Farbstoff keine Bedeutung besitzt, aber als Zwischenprodukt bei der Safraninfabrikation dient, in der Geschichte weiterleben. Er war ein wegener Pionier, der in der heute fast vergessenen Farbenfabrik von Ferdinand PETERSEN auf der Schweizerhalle, wo von 1862 an Fuchsin hergestellt wurde — heute noch ist dort das Terrain derart mit Fuchsin durchtränkt, dass der Veterinär einer kürzlich daselbst einquartierten Batterie in Unruhe geriet, weil die Pferde am Boden geknabbert hatten und roten Urin produzierten — seine Chemikerlaufbahn begann. Er gründete 1873 die Firma Bindschedler & Busch; nach deren Umwandlung 1884 in die Gesellschaft für chemische Industrie begann der immer noch unternehmungslustige Bindschedler 1893 unter dem Namen « Basler chemische Fabrik » ein neues Geschäft, in welchem 1897 ein eigenes Verfahren zur synthetischen Herstellung von Indigo ausgearbeitet wurde, zu dessen Verwertung der weitsichtige Leiter ein Fabrikgebäude in Monthey erwarb. Schliesslich ging auch die Basler chemische Fabrik samt Monthey in der Gesellschaft für chemische Industrie auf.

* * *

Ich komme nun zu einer Schilderung des Lebens und Werdegangs von ALFRED KERN. Geboren 1850 in Bülach als Sohn des Ratsschreibers, studierte Kern 1868—1872 Chemie am Eidgenössischen Polytechnikum, kam dann auf Empfehlung seines Lehrers Prof. Dr. Joh. Wislicenus in die Anilinfarbenfabrik von K. Öhler in Offenbach a. M. und erwarb sich während seiner dortigen Tätigkeit 1874 den Dokortitel in Giessen. In Offenbach lernte Kern auch seine nachmalige Gattin kennen.

Der unermüdliche und emsige Forscher, der immer wieder neue Probleme angriff, trat 1879 in Basel in die Fabrik von Bindschedler & Busch ein, wo ihm ein grosses Arbeitsgebiet übertragen wurde. Er erfand anfangs der 80er Jahre eine technische Methode

zur Darstellung des giftigen und gefährlichen Phosgens und arbeitete das Verfahren in einer Versuchsfabrikation mit bewundernswerter Ausdauer aus; diese Erfindung trug unmittelbar ihre sichtbare Frucht in der Fabrikation prachtvoll kristallisierten Methylvioletts, das 1883 auf der Landesaussstellung in Zürich das Interesse von H. Caro, eines führenden Chemikers der Badischen Anilin- und Sodafabrik, fesselte und zu einer Zusammenarbeit zwischen der noch in der Wiege liegenden Basler Farbenindustrie und ihrer mächtigen deutschen Schwester führte.

Leider musste Kern auf Veranlassung Bindschedlers bald aus der Firma austreten, der er alle seit 1879 gemachten schönen Erfindungen zu überlassen hatte.

Er verbrachte seine Karenzzeit bei seinem Studienfreund Prof. Dr. O. Billeter in Neuchâtel, dem Jahrespräsidenten der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft von 1920. Billeters wissenschaftliches Interesse galt damals dem Thioharnstoff, und er veranlasste seinen Assistenten Arnold Steiner, den wir heute noch die Freude haben, in Basel zu sehen, zur Darstellung des stechend riechenden Thiophosgens. Alfred Kern interessierte sich lebhaft für diesen Stoff; es gelang ihm nach seiner Rückkehr nach Basel, daraus das Schwefelanalogon des sogenannten Michlerschen Ketons, die Muttersubstanz des prächtig gelben Farbstoffs Auramin, zu bereiten, eines der ersten Produkte, das in der 1886 von Alfred Kern und Edouard Sandoz gegründeten neuen Fabrik, der Vorläuferin der heutigen Sandoz AG., erzeugt wurde.

Leider hatte die gewaltige geistige und körperliche Arbeitsleistung Kerns Gesundheit untergraben, so dass er schon 1893, kaum 44jährig, an einem Herzleiden starb.

* * *

Ein ähnlicher Studiengang wie der Kerns kennzeichnet den 1852 geborenen ROBERT GNEHM aus Stein a. Rh., der 1870—1872 am Eidg. Polytechnikum studierte und Assistent bei dem damaligen Technologieprofessor Emil Kopp wurde. Als Kopp 1875 starb, musste der 23jährige Gnehm vertretungsweise den ganzen Unterricht in technischer Chemie übernehmen, wobei er sich so vorzüglich bewährte, dass ihm der Professortitel verliehen wurde. Der Lehrstuhl ist dann durch Georg Lunge neu besetzt worden.

Gnehms Berührung mit der Farbstoffchemie begann mit der Entdeckung des Hexanitrodiphenylamins oder Dipikrylamins, dessen Ammoniumsalz den schönen gelbroten Farbstoff Aurantia bildet; die starke Reizwirkung auf die Haut verbot zwar seine praktische Anwendung in der Färberei, nicht aber seine Brauchbarkeit als Thema einer Dissertation, die Gnehm 1875 den Dokortitel eintrug. Damals erschienen aus Gnehms gewandter Feder in den Berichten der deutschen chemischen Gesellschaft Korrespondenzen über die Sitzungen der Zürcher chemischen Gesellschaft, die parallel mit denen aus der Académie des Sciences in Paris und aus andern gelehrten Gesellschaften abgedruckt wurden, und die schlagend zeigten, welche Bedeutung man in Deutschland der in der Schweiz geleisteten chemischen Forschungsarbeit beimass.

Zu jener Zeit war eine erste Tätigkeit in der Anilinfarbenfabrik von K. Öhler in Offenbach a. M. die Vorschule für den Erfolg als Chemiker in der Schweiz; denn auch Gnehm, wie Kern und Billeter, hat für kurze Zeit, 1877, dort gearbeitet, um von 1878—1880 in der Batikfabrik der Gebrüder Blumer in Schwanen die Stelle eines Chemiker-Koloristen zu bekleiden. Er kam dann zu Bindschedler & Busch in Basel, wo er 1885, nach der Umwandlung der Firma in die Gesellschaft für chemische Industrie, zum Direktor und 1892 zum Mitglied des Verwaltungsrates ernannt wurde. Man erinnert sich gerne in Basel an seine technischen Leistungen, von denen die Erfindung des Rhodamins S, eines Farbstoffs mit Bernsteinsäure als Basis, erwähnt sei, und an seine stille Art, Gutes zu tun, wo er nur konnte. Von 1894 an führte ihn seine Laufbahn wieder an das Eidg. Polytechnikum zurück, zuerst als vielverehrter Professor der organischen Technologie und von 1905 an bis kurz vor seinem 1926 erfolgten Tode als Präsident des Schweizerischen Schulrates, wo er die wichtige Umgestaltung des Polytechnikums zur Eidgenössischen Technischen Hochschule mit Promotionsrecht durchführte. Trotzdem er selbst die Repräsentation gar nicht liebte, musste er doch allerhand Ehrenämter annehmen; so war er 1887—1893 Präsident der Schweizerischen Gesellschaft für chemische Industrie, in der die industriellen Chemiker zusammengeschlossen sind.

Man hat schon verschiedene Spitznamen für uns Schweizer geprägt; man spricht oft vom « Volk der Hirten ». Mir scheint, dass wir sehr viel treffender gekennzeichnet würden als das « Volk

der Präsidenten ». Wer unter den heute hier Versammelten ist nicht gegenwärtiger, ehemaliger oder zukünftiger Präsident ?

* * *

Ein anderer Typus als die bisher besprochenen Basler Erfinder tritt uns entgegen in JOHANN WALTER, der 1856 in Böhmen geboren wurde, von 1880—1898 in Basel bei der 1859 gegründeten Firma J. R. Geigy & Cie. arbeitete und dann nach Genf zog, wo er vor einigen Jahren verstarb. Wohl seine wichtigste Erfindung, der Farbstoff Sonnengelb, stammt aus dem Jahre 1883. In der Absicht, das Natriumsalz der *p*-Nitrotoluol-*o*-sulfonsäure darzustellen, neutralisierte er diese Säure in der Wärme mit einem Überschuss von Natronlauge und beobachtete dabei intensive Rot- bis Gelbfärbung. An Stelle der einfachen Salzbildung war also offenbar ein verwickelterer Vorgang eingetreten, und Walter, der in hohem Masse mit dem Spürsinn des Chemikers ausgestattet war, fand zu seiner Überraschung, dass die neue Substanz Baumwolle ohne weiteres und echt gelb anfärbte — der erste Direktfarbstoff war damit entdeckt. Dieser grossen Leistung hat Walter später noch andere angereicht, doch nötigte ihn seine Stellung als technischer Leiter mehr zur Beschäftigung mit den Maschinen und vielfältigen Apparaten der chemischen Fabrikation, worüber er 1901 ein nützliches Buch herausgegeben hat.

Wie wichtig das unermüdliche Experimentieren unter Beobachtung auch scheinbar nebensächlicher Kleinigkeiten ist, zeigt deutlich diese Entdeckung des Sonnengelbs. Es sei mir gestattet, ein weiteres Beispiel aus der Frühzeit der Basler Farbenfabrikation aus den Jahren 1861—1862 anzuführen, wo die Herren CORNU und SIEBER in der Geigyschen Fabrik fanden, dass eine bestimmte Anilinsorte des Handels bei der Einwirkung auf Fuchsin ein reines Blau lieferte, während andere Marken violette Farbstoffe ergaben. Die genaue Untersuchung zeigte dann, dass jene erste Anilinsorte etwas Essigsäure enthielt — man darf nicht vergessen, dass die chemisch-technischen Produkte jener Epoche noch sehr unrein waren. Der damals in Basel entdeckte günstige Einfluss der Essigsäure wurde die Grundlage für das heute allgemein, allerdings mit Benzoesäure statt Essigsäure ausgeübte Verfahren zur Darstellung von Anilinblau oder Triphenylrosanilin.

Ein Zeitgenosse J. Walters, der Glarner CHR. RIS, baute, ebenfalls in der Geigyschen Fabrik, die Erfindung des Sonnen- gelbs weiter aus und fügte ihm unter anderem das Primulin *B* an, einen Farbstoff, der gleichfalls direkt auf Baumwolle zieht; dort aber wird er dann diazotiert und durch Kupplung mit Aminen und Naphtholen zu neuen Farbstoffen entwickelt.

* * *

Ein hochintelligenter Mann und besonders erfolgreicher Er- finder war JAKOB SCHMID, der von 1892—1918 als Nachfolger Gnehms die Gesellschaft für chemische Industrie leitete. Geboren 1862 in Suhr, zog er 1882 ans Eidg. Polytechnikum, erwarb 1885 das Diplom als Ingenieur-Chemiker und blieb noch zwei weitere Jahre als Assistent beim weltbekannten Prof. Dr. G. Lunge. Jene Zeit nützte er aus zu einer genauen Untersuchung des natürlichen Farbstoffes Fisetin; die Wahl des Themas, für einen Assistenten des Vertreters der anorganischen Technologie etwas ungewöhn- lich, zeigt die grosse Selbständigkeit J. Schmid, der auf Grund dieser Arbeit 1887 an der Universität Zürich den Dokortitel er- warb. Nun trat er in die Gesellschaft für chemische Industrie in Basel ein, und bald erschienen Patente, die von seiner emsigen Erfindertätigkeit zeugten, so dass er im Alter von nur 30 Jahren an die Spitze der Unternehmung gestellt wurde.

Unter den vielen neuen Verbindungen, die er erdacht und experimentell bearbeitet hat, kann ich nur wenige erwähnen. Die damalige Periode zeigt übrigens die Fruchtbarkeit des schweizeri- schen Erfindungsgeistes im hellsten Licht : im Jahre 1894 wurden in der ganzen Welt 142 neue Farbstoffe herausgebracht, von denen 15, d. h. mehr als ein Zehntel, aus der Schweiz stammten.

Im Gebiet der Triphenylmethanfarbstoffe erfand Schmid das Firnblau durch Einbau von äthyliertem *o*-Toluidin und von 2,5-Dichlorbenzaldehyd, während sich sein Säureviolett 6 *BN* durch eine *p*-Methoxygruppe und eine benzylierte *o*-Aminogruppe aus- zeichnet.

Ein einfaches, von C. KUSSMAUL 1888 in der Gesellschaft für chemische Industrie erfundenes Verfahren zur Darstellung von *m*-Aminophenol lieferte J. Schmid das Material zu Studien im Ge- biete der basischen, prachtvoll fluoreszierenden Rhodamine; er

erkannte die Natur der in La Plaine entdeckten Anisoline P. MONNET's als Carbonsäureester, und es gelang ihm 1892 die Darstellung des heute noch verwendeten Rhodamins 6 G, die gleichzeitig von Prof. Dr. A. Bernthsen in der Badischen Anilin- und Sodafabrik aufgefunden wurde.

J. Schmid glückte es 1888, ein neues Aminonaphthol, das 7-Amino-naphthol-(2), zu entdecken. Wenn man bedenkt, dass nicht weniger als 14 isomere Aminonaphthole möglich sind, so ersieht man die Schwierigkeit der Erkenntnis des Aufbaus eines neuen Vertreters dieser Körperklasse. Aber gerade derartige heikle Gebiete beherrschte Schmid meisterhaft, und die Fruchtbarkeit seiner Ideen geht auch hervor aus den vielen von ihm synthetisch gewonnenen Basen, die, wie das Benzidin, direkt ziehende Azofarbstoffe lieferten, wobei aber die leidige Kostenfrage die technische Verwertung ausschloss.

Im Azofarbstoffgebiet sind vor allem die Rosanthrene wichtig geworden, über die Schmid 1910 auf der Versammlung der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft in Basel vortrug. Es handelt sich dabei um direkt färbende Monoazofarbstoffe, die sekundär auf der Faser nochmals diazotiert und gekuppelt werden und so rote Färbungen von hervorragender Echtheit erzeugen. Von den vielen denkbaren Variationen gibt die Patentschrift mit ihren 44 Beispielen einen Begriff.

Wieder einer andern Farbstoffgruppe gehören die gelben bis braunen Patentphosphine und Brillantphosphine an, die zum Färben von Leder dienen. Bei ihrer Durchforschung erfreute sich Schmid der ausgezeichneten Mitarbeit von Dr. KARL JEDLICKA (1868 bis 1928). Trotz seines fernöstlich klingenden Namens stammte Jedlicka als biederer St. Galler aus dem nächsten Osten; viele unter uns sehen ihn heute noch vor sich im Schlapphut, mit der ewigen Zigarre im Mund und dem ebenso unvermeidlichen Regenschirm in der Hand. Er hatte sich zu Hause einen Zettelkatalog über alle Farbstoffpatente angelegt, der heute das Rückgrat des Patentregisters der Gesellschaft für chemische Industrie bildet.

Im Gebiet der Schwefelfarbstoffe erfand J. Schmid 1899 eine neue Art der Schwefelung in alkoholischer Lösung im Autoklaven, und er erzeugte so prachtvoll kristallisierte blaue Schwefelfarbstoffe, womit die wissenschaftliche Erforschung dieser Körperklasse eingeleitet wurde.

An Untersuchungen mit dem Ziel, *rote* Schwefelfarbstoffe durch Einbau von Disulfidgruppen in Azofarbstoffe zu gewinnen, durfte auch der Sprechende sich ein wenig beteiligen.

Leider konnten in der knappen Aufzählung viele Erfindungen Schmid's gar nicht erwähnt werden; dafür sei ein kurzes Wort der Persönlichkeit dieses ungewöhnlichen Mannes gewidmet. Selbst unermüdlich tätig, erwartete Schmid auch von seinen Mitarbeitern emsigstes Schaffen, und an kritischen Tagen, wie etwa nach der Basler Fastnacht, kam er schon um 7 Uhr früh in die Fabrik zur peinlichen Überraschung allfälliger Nachzügler. Aber unter der kraftvollen Leitung des grossgewachsenen, imponierenden Mannes entwickelte sich die Gesellschaft für chemische Industrie gewaltig durch Ausdehnung ihrer Werke in der Schweiz, durch Erwerbung und Errichtung von Werken im Ausland, durch Steigerung des Aktienkapitals auf das Siebenfache und durch Festigung ihrer Stellung auf dem Weltmarkt auf Grund des Abschlusses einer Interessengemeinschaft mit den Schwesterfirmen Geigy und Sandoz.

Als warmer Patriot förderte Schmid alle Unternehmungen, welche unsere Landesversorgung an Säuren, an Soda, an Teerprodukten sichern; aber auch dem Gebiete der geistigen Landesverteidigung galt sein lebhaftes Interesse, und seiner freigebigen Initiative ist die finanzielle Grundlage der *Helvetica chimica acta* zu verdanken.

In seinem schönen Hause am unteren Rheinweg entfaltete sich ein reiches Familienleben, wo Jakob Schmid in den spärlich bemessenen Mussestunden sich seinen Söhnen widmete und wo er in der Pflege der Kunst Erholung fand. Leider wurde er seinen Angehörigen, seinen zahlreichen Freunden und seinem grossen Arbeitsfeld schon im Alter von 56 Jahren durch eine nach einer gut verlaufenen Blinddarmoperation unerwartet eintretende Komplikation jäh entrissen.

* * *

MELCHIOR BÖNIGER, geboren 1866 in Nidfurn (Glarus), studierte am Eidg. Polytechnikum unter Prof. Dr. A. HANTZSCH, wo er eine Doktorarbeit über Abkömmlinge des Succinylobernsteinsäureesters ausführte. Schon 1889, nach kaum beendetem Studium, trat er als Chemiker in die Farbenfabrik von Kern & Sandoz ein. Damals

begann die Arbeitszeit der Chemiker um 7 Uhr morgens; für einen Ausflug auf den Urirotstock war ein Spezialurlaub nötig, um schon am Samstagnachmittag abreisen zu dürfen, und die dabei verlorenen Arbeitsstunden mussten durch noch früheres Aufstehen in der folgenden Woche nachgeholt werden. Bei dieser angestregten Arbeitsweise brachte Böniger eine erstaunliche Anzahl von neuen Erfindungen zur Reife und durfte 1895 zusammen mit Dr. Arnold Steiner die technische Leitung übernehmen.

Im Jahre 1893 publizierte Böniger eine Arbeit über die 1-Aminonaphthol-(2)-sulfonsäure-(4), die als «Böniger-Säure» seinen Namen in der Literatur fortleben lässt, und die nicht nur in Basel, sondern weit herum das Interesse der technischen Chemiker erregte. Sie war auf gewöhnliche Art mit salpetriger Säure nicht diazotierbar, sondern wurde so zur 1,2-Naphthochinonsulfonsäure-(4) oxydiert; es blieb dem genialen Experimentator Sandmeyer vorbehalten, den Kunstgriff zu finden, der die glatte Umwandlung zur Diazoverbindung erlaubte und damit zur Herstellung der Eriochromschwarz-Marken führte.

Eine besonders wichtige Erfindung Bönigers war der Pyrazolonazo-Farbstoff Xylengelb. Dass Pyrazolonverbindungen zur Herstellung von Azofarbstoffen äusserst brauchbar sind, hatte J. H. ZIEGLER schon 1884 in Basel entdeckt durch Darstellung des heute noch geschätzten gelben Wollfarbstoffes Tartrazin aus Dioxyweinsäure und Phenylhydrazinsulfonsäure, das zuerst in der Gesellschaft für chemische Industrie fabriziert wurde.

Recht verwickelt gebaute, direkt ziehende Azofarbstoffe hat Böniger unter dem Namen Trisulfonfarbstoffe gewonnen; es gehört grosse Geschicklichkeit und Erfahrung dazu, um etwa fünf verschieden substituierte Benzol- und Naphthalinkerne durch stufenweise Kupplung von Diazoverbindungen zusammenzuschweissen.

Schöne Erfolge waren Böniger auch im Schwefelfarbstoffgebiete beschieden; seine echt färbenden Thionalgrün und Thionalbraun fanden allgemeine Anerkennung.

Mittlerweile war Böniger Basler Bürger und Zunftschreiber zu Weinleuten geworden und in ein Alter gekommen, wo öffentliche und Ehrenämter den erfolgreichen Chemiker belasten und ihn mehr und mehr vom Laboratorium fernhalten. Als Präsident der Schweizerischen Gesellschaft für chemische Industrie organisierte er 1925 bei Gelegenheit der Binnenschiffahrtsausstellung eine äus-

serst gelungene Jahresversammlung in Basel und Rheinfelden, deren glänzender Verlauf allen Teilnehmern in Erinnerung bleiben wird.

Neben der Chemie hatte aber Böniger noch eine zweite grosse Liebe : die Musik. Sie pflegte er mit seiner Gattin in dem 1892 gegründeten Ehestand und in der Basler Liedertafel, die er von 1901—1908 präsidierte. Sein gastfreies Haus stand allen Musikfreunden offen, und mit dem Basler Komponisten und Kapellmeister HERMANN SUTER verband ihn eine innige Freundschaft.

Leider war das Übermass von Arbeit zu gross für seine Gesundheit, und im Juli 1929 wurde er aus diesem Leben abberufen.

* * *

Schon am Anfang meiner Ausführungen brachte ich Beispiele chemischer Erfindungen, die von TRAUGOTT SANDMEYER stammten; das geschah fast unwillkürlich, denn unter allen Basler Erfindern ist Sandmeyer der fruchtbarste und originellste gewesen, er möge darum jetzt die ganze Reihe abschliessen und krönen.

Sein Werdegang vom Mechanikerlehrling zum Meister der synthetischen Chemie und zum Leiter des Forschungslaboratoriums einer grossen Farbenfabrik erinnert an den MICHAEL FARADAY's vom Buchbinderlehrling zum Professor und Leiter der Royal Institution.

Traugott Sandmeyer kam 1854 im Seminar Wettingen zur Welt als Sohn des Lehrers für Naturkunde und Landwirtschaft, der selbst am Tage nach der Geburt dieses jüngsten seiner sieben Kinder starb. Die Witwe übernahm dann in Aarau eine Stelle als Lehrerin an der Töcherschule, und der junge Traugott besuchte die Elementarschule und die Bezirksschule. Angeregt durch die Bücher seines Vaters interessierte er sich für Physik, aber eigentümlicherweise hauptsächlich für ihre apparative Seite, und anstatt in die Kantonsschule einzutreten, ging er zu einem Feinmechaniker in die Lehre. Nach Übersiedlung seiner Mutter nach Zürich richtete er dort eine kleine Werkstätte ein, in der er gelegentlich Apparate für die chemischen Laboratorien des Eidg. Polytechnikums herstellte. Dadurch wurde Prof. VICTOR MEYER auf ihn aufmerksam und veranlasste 1882 seine Anstellung als ständiger Vorlesungsassistent. In dieser Stellung erwarb nun der junge Mechaniker, der dem Vortrag des Professors mit mehr Eifer folgte

als mancher mit einem Maturitätszeugnis ausgestattete reguläre Student, gewissermassen als Autodidakt so gründliche Kenntnisse in Chemie, dass er bald selbständige Untersuchungen auszuführen vermochte.

Dieser einzigartige Vorlesungsassistent hat Victor Meyer den rechten Weg für die aufsehenerregende Entdeckung des Thiophens gewiesen. Gewöhnliches Benzol gibt mit Isatin und konz. Schwefelsäure eine intensive Blaufärbung. Als Victor Meyer diese Reaktion mit reinstem, aus Benzoesäure bereitetem Benzol in der Vorlesung zeigen wollte, misslang sie; Sandmeyer reichte ihm eine Flasche mit technischem, aus Steinkohlenteer gewonnenem Benzol, mit dem die Farbreaktion sofort glückte, und äusserte nach der Vorlesung die völlig zutreffende Vermutung, dass im Teerbenzol ein bisher unbekannter Körper — eben das Thiophen — stecke, der seinerseits der Träger der Farbreaktion sei.

Die bekannteste Entdeckung Sandmeyers aus der Zürcher Zeit ist jedem Chemiestudenten geläufig und trägt seinen Namen in die Jahrhunderte hinaus. Er wollte 1884 Acetylen an Benzol anlagern durch Einwirkung von Kupferacetylid auf Benzoldiazoniumchlorid; eine lebhafte Gasentwicklung setzte ein, aber die Reaktion nahm einen ganz andern Verlauf als beabsichtigt; nicht Acetylen, sondern Chlor war in den Benzolkern eingetreten, und der scharfsinnige Beobachter erkannte sofort nicht nur die Natur des entstandenen Öls, sondern auch die eigenartige Rolle der Verbindungen des einwertigen Kupfers als Katalysatoren. Als grosser Vorzug dieser Austauschreaktion erscheint ihre Ausführung bei niedriger Temperatur und in wässriger Lösung; diese technisch so wichtige Vermeidung aller gewaltsamen Hilfsmittel ist ein allgemeines Kennzeichen der Sandmeyerschen Arbeitsweise.

Es ist nicht verwunderlich, dass die Direktionen verschiedener Farbenfabriken auf den hochbegabten Erfinder aufmerksam wurden und sich seine Mitarbeit zu sichern suchten. Er entschied sich für das Haus J. R. Geigy & Cie. in Basel und hat dort gerade die Arbeitsbedingungen gefunden, deren er bedurfte. Denn Sandmeyer war äusserst schüchtern, ja fast menschen scheu. Er konnte beispielsweise kein Schriftstück unterzeichnen, solange jemand neben ihm stand; wenn ihm ein neu eintretender junger Chemiker vorgestellt wurde, so zitterte nicht der Neuling, sondern der verdiente Leiter der wissenschaftlichen Laboratorien. Die an der

Spitze stehenden Herren kannten diese Eigentümlichkeiten und nahmen ihm alle Repräsentationspflichten ab, wofür er äusserst dankbar war.

Noch bevor die Verhandlungen mit Geigy & Cie. zum Abschluss gekommen waren, wurde ihm von der Geschäftsleitung ein Muster des eben in England von ARTHUR G. GREEN 1887 entdeckten neuen Farbstoffs Primulin vorgelegt mit der Frage, was wohl die Natur dieser interessanten Substanz sei, die mit gelber Farbe auf der Faser aufzog und sich dort diazotieren und mit beta-Naphthol zu einem schönen Rot entwickeln liess. Innerhalb weniger Tage hatte Sandmeyer das Rätsel gelöst, indem er bei der Destillation mit Zinkstaub aus dem Farbstoff Thiotoluidin gewann, und beim schwarzen Kaffee schrieb er seinem erstaunten zukünftigen Chef die Thiazolformel auf das Marmortischchen, um sie allerdings sofort wieder auszuwischen. Das Produkt wurde dann unter dem Namen « Polychromin » in Basel fabriziert.

Bei der Überfülle der Sandmeyerschen Erfindungen — etwa 70 Patente stammen von ihm — stehe ich wieder vor der schweren Aufgabe, das Charakteristischste herauszugreifen, wobei ich mir bewusst bin, dass meiner Auswahl viel Willkür anhaftet.

Als erstes Beispiel erwähne ich die Umwandlung von *p*-Nitrotoluol in *p*-Aminobenzaldehyd, zu deren Verwirklichung Sandmeyer das Dischwefeltrioxyd S_2O_3 benützte. Diese Verbindung hat mich als Lehrer der anorganischen Chemie stets interessiert, denn obwohl es sich um einen wohlkristallisierten, schön blauen Stoff handelt, wurde ihm zu der Zeit, als die Wogen der Kolloidchemie alles zu überfluten drohten, die selbständige Existenz aberkannt. Sandmeyer verwandte den Stoff in seiner natürlichen Rolle als Reduktionsmittel, denn Nitrotoluol weist ein Sauerstoffatom mehr auf als Aminobenzaldehyd.

In einem andern Falle übrigens, beim Tetramethyldiaminodiphenylmethan, bewährte sich das Dischwefeltrioxyd als Mittel zur Einführung von Schwefel als Ringglied.

Sandmeyer hat sich viel mit der Darstellung neuer Aldehyde beschäftigt, die er zum Aufbau von bisher unbekannten Triphenylmethanfarbstoffen verwandte; dabei gewann er die grundlegende Erkenntnis, dass ein zum verbindenden Methankohlenstoffatom orthoständiger Substituent die Echtheit steigert. Auch der einfachste aller Aldehyde, der Formaldehyd, wurde in seiner ge-

schickten Hand zum Eckstein beim Aufbau des Triphenylmethanfarbstoffes Helvetiablau.

Das Mechanikergeschick Sandmeyers kam zur Geltung bei der Fabrikation des prächtigen gelben Auramins. Der Farbstoff war, wie oben erwähnt, schon von Kern fabriziert worden; Sandmeyer zeigte nun, wie es möglich ist, durch Einwirkung von Ammoniak und Schwefel auf das mit Ammoniumchlorid und Kochsalz vermischte Tetramethyldiaminodiphenylmethan Auramin mit fast theoretischer Ausbeute darzustellen in einem von ihm erdachten Apparat mit Zirkulationspumpe und Rührvorrichtung, wo der Ammoniakstrom immer wieder durch die Reaktionsmischung streicht, nachdem er vom mitgerissenen Schwefelwasserstoff befreit ist. Diese Methode hat sich in der Praxis vorzüglich bewährt und hat alle andern Verfahren verdrängt; die geschilderte Apparatur ist nur ein Beispiel für viele von Sandmeyer selbst konstruierte Maschinen und Apparate. Alles wollte er persönlich ausführen, die Hilfe von Laboranten war ihm zuwider, ja er hat seine Glasgefässe immer selbst gereinigt. Ebenso wenig waren ihm Assistenten erwünscht; er fühlte sich am wohlsten, wenn er unbelauscht seine Versuche anstellen konnte. Seine geradezu divinatorische Beobachtungsgabe liess ihn dabei Zusammenhänge und Möglichkeiten ahnen, die jedem andern entgangen wären.

Wohl der schlagendste Beweis für die wissenschaftliche Phantasie und die einzigartige Kombinationsgabe Sandmeyers sind seine Indigo- und Isatin-Synthesen. Es gab schon verschiedene technisch brauchbare Synthesen des Indigos, dieses Königs der Farbstoffe, als Sandmeyer vor die Aufgabe gestellt wurde, eine völlig neue Methode zur technischen Herstellung von Indigo zu finden. Er ging aus von einem auf den ersten Blick unnötig komplizierten Ausgangsmaterial, dem Thioamid aus Hydrocyanarbo-diphenylimid; dieses ergab mit warmer Schwefelsäure alpha-Isatinanilid, und daraus lässt sich nach Belieben mit Mineralsäuren Isatin, oder mit Schwefelwasserstoff alpha-Thioisatin und Indigo gewinnen. Das originelle Verfahren, das Sandmeyer 1899 in weniger als drei Monaten konzipiert und ausgearbeitet hatte, ist allerdings für die technische Darstellung von Indigo zu kostspielig und wird darum nach einer kurzen Blüte nicht mehr ausgeübt; aber für die Darstellung von Isatin hat es, sowie ein weiteres 1918 erfundenes Verfahren, grosse Bedeutung erlangt, seitdem durch die

Bromierungen in der Indigogruppe ein ganzer Regenbogen solider Küpenfarbstoffe entstanden ist, zu deren Aufbau Isatin neben andern Stoffen dient.

Aber ich verliere mich im Labyrinth der synthetischen Chemie, anstatt Ihnen vom Menschen Sandmeyer zu berichten. Der bescheidene Forscher wurde 1891 Ehrendoktor der Universität Heidelberg und 1915 Ehrendoktor der Eidg. Technischen Hochschule; er wurde zum Direktor und zum Mitglied des Verwaltungsrates seiner Firma ernannt, aber diese Beförderungen musste man ihm, wie auch die Gehaltserhöhungen, förmlich aufzwingen. Seit 1892 in glücklicher Ehe vermählt, führte er ein zurückgezogenes Leben; Kinder waren dem Paar nicht beschieden, doch begleitete sie ein anhänglicher Hund auch in die Ferien, und der Aufenthaltsort wurde so ausgesucht, dass auch der treue Vierbeiner gut aufgehoben war.

Sandmeyers gerader, offener und wahrheitsliebender Charakter spiegelt sich in seiner Arbeitsmethode wider. Die simpelsten Ausgangsmaterialien, Formaldehyd, Schwefeldioxyd, Hydroxylamin, dienten ihm zum Aufbau seiner Zwischenprodukte und Farbstoffe. Sein Laboratorium war aufs einfachste eingerichtet, aber stets sauber, und er verstand es, mit billigsten Mitteln die höchsten Leistungen hervorzubringen.

Er trat 1919 in den Ruhestand, nach 31 Jahren fruchtbarster Tätigkeit bei seiner Firma, zog nach Zürich und begann wieder in seiner Werkstätte zu hantieren. Leider durfte er sich der wohlverdienten Erholung nicht lange erfreuen, denn ein Herzleiden raffte ihn 1922, zwei Jahre vor seinem siebzigsten Geburtstag, dahin.

* * *

Ich bin am Ende meiner Reihe von Basler Erfindern angelangt und möchte noch allen danken, die mir wertvolle Winke für diese kleine Studie geliefert haben. Sie aber, verehrte Zuhörer, werden mir nun sofort einwenden, dass meine *Basler Erfinder* insgesamt gar *keine Basler* waren; Schweizer, ja, zum grössten Teil, aber als Basler könnten nur die wenigen gelten, die im Verlauf ihrer hiesigen Tätigkeit Basler Bürger wurden.

All dies gebe ich gerne zu; aber es scheint mir kein Grund dagegen zu sein, die genannten Männer als Basler Erfinder zu

preisen. Was sie erfunden haben, ist innerhalb unserer Mauern erdacht und erarbeitet worden; dass sie hierher berufen wurden, ist das Verdienst der Oberleitungen der Basler Fabriken, die es von jeher vorzüglich verstanden haben, unter den jungen Bewerbern die fähigsten Köpfe heranzuziehen. Und erscheint es uns am heutigen Tage nicht geradezu als selbstverständlich, dass die Forscher aus der ganzen Schweiz nach Basel strömen? Sind nicht Sie selbst, verehrte Mitglieder der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft, in hellen Scharen von Osten, von Süden und von Westen zu uns gekommen? Wir danken Ihnen herzlichst dafür und wünschen, dass die Vorträge und Mitteilungen, die Sie uns für die drei Arbeitstage mitgebracht haben, ebenso vollwichtige Goldstücke im wissenschaftlichen Schatz unseres Landes werden mögen wie die Forschungen der Basler Erfinder.

Damit erkläre ich die 121. Jahresversammlung der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft für *eröffnet*!

Les origines de l'humanité et les bases préhistoriques de la civilisation

par

le Prof. D^r EUGÈNE PITTARD, Genève

Qui sommes-nous ? D'où venons-nous ? Comment se représenter la succession des événements préhistoriques de l'Europe et les images de ceux qui les créèrent ?

Pouvons-nous discerner les auteurs des principales révolutions sociales qui, dans ces périodes lointaines, traversèrent nos destinées ?

De tels problèmes méritent de nous retenir. Jusqu'à des moments assez rapprochés de nous, seules les activités humaines étaient enseignées dans les Universités. L'Homme lui-même semblait en dehors de nos soucis intellectuels. Il paraissait oublié ou méconnu comme si aucun rapport ne pouvait exister entre l'être physique et ses préoccupations psychologiques ! Ces temps, heureusement, sont révolus. Des enseignements d'anthropologie, de préhistoire, d'ethnographie se sont créés partout dans le monde. La Suisse est restée un peu en retard, mais il semble qu'elle veuille rattraper le temps perdu. La chose lui est facile. Nous sommes riches de documents de toutes sortes pour les éventuelles démonstrations. Présentement, nous sommes réunis dans une ville (Bâle) où certaines catégories de ces recherches, par des auteurs dont plusieurs sont illustres, sont particulièrement importantes. Que mes collègues qui ne les connaissent pas encore aillent visiter le Musée d'Ethnographie, l'un des plus riches qui soient : ils seront informés de ce que, dans ce domaine, nous possédons.

Un grand naturaliste anglais, Thomas-Henri Huxley, a dit : « La question des questions, pour l'Humanité, celle qui est au fond de tous les problèmes et qui intéresse le plus, est la place de l'Homme dans la nature et ses relations avec l'ensemble des êtres. » Faisons nôtre cette pensée.

Il y a une dizaine de milliers d'années, les Hommes qui, par petits groupes — comme il convient à des individus exclusivement chasseurs — nomadisaient en Europe, assez misérablement semblait-il, ont assisté à l'agonie d'une civilisation qui durait depuis un nombre incalculable de siècles, depuis des vingtaines et peut-être des cinquantaines de milliers d'années. Ce moment, tragique dans l'ensemble de l'Histoire, c'est le Mésolithique. Deux mille ans plus tard, ils assisteront à l'aurore d'une révolution à nulle autre pareille : celle qui allait créer le monde moderne : c'est la période néolithique. C'est d'elle que dérive, en réalité, toute notre civilisation.

Le Paléolithique — l'âge de la pierre taillée — a été marqué — dans l'ordre géophysique — par des changements de climat : relativement chaud à la période chelléenne, glaciaire à la période moustérienne; et, aussi, par des modifications géographiques assez importantes. Au début — c'est la période chelléenne — la faune est celle qui caractérise un pays tropical ou subtropical : l'Eléphant antique, le Rhinocéros de Merck, l'Hippopotame occupent l'Europe moyenne. La flore renferme des espèces de pays relativement chauds, ne vivant plus chez nous à l'état spontané : le laurier des Canaries, l'arbre de Judée, etc. Puis viennent des invasions glaciaires. Dans la période post-glaciaire (Aurignacien, Solutrén, Magdalénien), un climat à caractère de steppe et de toundra s'établit. Nous en avons la preuve par la faune des Equidés et des Ruminants, surtout. A la fin du Magdalénien, changements importants, modification profonde du climat, humidité grandissante, entraînant la disparition ou l'émigration de nombreuses espèces.

Pendant que s'accomplissent ces modifications climatiques et biologiques, l'Europe transforme sa géographie. La Méditerranée était alors séparée en deux par un isthme tuniso-sicilien, la Corse et la Sardaigne n'étaient pas des îles, mais des pendentifs des montagnes italo-françaises, les Iles britanniques étaient reliées au continent et se prolongeaient beaucoup plus loin vers le nord; la mer Egée n'existait pas, non plus que la Marmara.

Que deviennent les hommes durant ces transformations capitales ? Et d'abord qui étaient-ils ? Quel est le continent qui peut être envisagé comme le berceau de l'Humanité ? Est-ce l'Europe ? Est-ce l'Afrique ? L'Amérique est encore considérée par certains

auteurs comme ne pouvant figurer parmi les « continents anthropogéniques », parce que, dit-on, elle ne possède pas de Singes anthropoïdes. Mais ce point de vue est un argument facilement discutable. Point n'est besoin d'invoquer les Anthropoïdes pour les inscrire dans la généalogie générale de l'Homme. D'ailleurs il est probable que certains territoires américains ont possédé des Singes anthropoïdes. La découverte, par notre compatriote François de Loys, d'un grand singe, dans les régions quasi impénétrables du Vénézuéla (dans les terres des Indiens Motilones) nous permettrait de le supposer.

Depuis vingt ans, depuis quarante ans, les découvertes relatives aux hommes fossiles se sont multipliées en Europe, en Afrique, en Asie. Plusieurs furent particulièrement intéressantes. Si nous sommes encore très insuffisamment renseignés sur les caractères des hommes à la période chelléenne, il n'en est plus de même dès la période moustérienne; alors les choses se présentent dans de meilleures conditions (documents nombreux et mieux conservés).

Jetons un coup d'œil rapide sur la succession des types humains de ces temps lointains.

A la période chelléo-acheuléenne, les restes de l'homme — avons-nous dit — sont rares : ce sont, en particulier, pour ce qui concerne l'Europe, la mâchoire de Mauer, rencontrée près de Heidelberg; le crâne de Piltdown (Angleterre méridionale); le crâne de Steinheim sur Murr (Wurtemberg). Il semble qu'à cette époque, très en arrière de nous, deux « races » humaines existaient déjà sur notre continent : l'une de construction extrêmement brutale : elle peut être considérée comme la souche de la race dite du Néanderthal (mâchoire de Mauer = *Homo Heidelbergensis*); l'autre, de morphologie plus évoluée (Piltdown et Steinheim); celle-là pouvant être envisagée comme étant la souche de l'*Homo sapiens*. Une telle constatation porte en elle, déjà, l'un des plus graves problèmes concernant nos origines : celui d'un monogénisme primitif ou d'un polygénisme primitif. Et, de ce problème lui-même, nous en voyons surgir plusieurs autres tout aussi importants.

Nous l'avons déjà demandé : en quel lieu du monde l'Humanité est-elle apparue ? Que l'on soit monogéniste ou polygéniste, c'est là la question cardinale. Est-ce en Europe ? en Afrique ? en Asie ? Si cette première apparition pouvait être placée en Europe,

comment expliquer les variétés humaines fixées en Afrique noire, par exemple, ou en Mélanésie — ou encore les variétés « jaunes » (Boschimans) ou « rouges » (Peuhls) du continent africain ? Les transformations d'un type dans un autre, considérées par beaucoup comme dues aux milieux physiques et biologiques différents, ne paraissent pas, cependant, faciles à démontrer. On n'en conçoit pas le mécanisme. A la surface de la terre, l'homme est le seul être capable de ne pas subir intensément les influences du milieu, le seul à ne pas être dominé par ses actions, parce que, grâce à son intelligence, il peut les éviter ou les détourner à son profit. Les espèces animales, elles, sont obligées de subir ces emprises. Et nous ne pensons, pour le moment, qu'aux variétés humaines telles que nous les rencontrons dans les divers continents. Puis, il faudrait expliquer comment, du lieu de leur naissance, elles se seraient dispersées. Comment auraient-elles passé d'Europe en Afrique ou vice versa ? Par quels moyens ? Beaucoup de questions de cet ordre se présentent à notre esprit lorsque nous essayons d'imaginer nos origines et les premiers millénaires de l'existence humaine.

On a rapproché — chronologiquement parlant — les découvertes sensationnelles du *Pithecantropus* de Java et du *Sinanthropus* de Pékin de celles attribuées en Europe à la période chelléenne. Si une telle place doit être maintenue, les restes squelettiques de ces deux groupes humains, lorsque nous les comparons, nous placent devant de nouveaux mystères ; car les Asiatiques ne sont pas semblables aux Européens du même moment.

En Afrique orientale, le squelette d'Oldoway (et toujours en supposant cette trouvaille comme appartenant au Chelléen) ouvre aussi au problème de nos origines de nouvelles perspectives. Car cette antique sépulture, rencontrée en Pays Noir, ne contenait pas un squelette de Nègre.

La période moustérienne — généralement glaciaire — nous offre un contingent humain abondant et relativement homogène. La station dite du Néanderthal, découverte il y a longtemps déjà, est devenue la station éponyme de la race moustérienne. Les caractères morphologiques de l'*Homo Neanderthalensis* nous sont aujourd'hui bien connus. Ils peuvent être concrétés par l'analyse détaillée du squelette de la Chapelle-aux-Saints, faite par Boule. La race de Néanderthal (Heidelberg-Néanderthal) rencontrée à

Gibraltar, à Rome et en Galilée — son extension la plus méridionale — et en de nombreux points de l'Europe, est presque partout semblable à elle-même. Sa diagnose peut être exprimée ainsi : taille petite, musculature puissante, station verticale incomplète à cause des courbures vertébrales moins accentuées que chez l'homme actuel et, aussi, à cause de l'arrangement articulaire tibio-fémoral, crâne dolichocéphale, face puissamment constituée (le rapport masse faciale à masse cranienne marque nettement ce développement exceptionnel), platyrrhinie, prognathisme, mandibule énorme aussi grande que celle de Mauer (laquelle s'adapte parfaitement au crâne de la Chapelle-aux-Saints), maxillaire supérieur exceptionnellement développé (la surface de la voûte palatine est la plus grande connue), orbites arrondies, à cavités volumineuses. Ces caractères se retrouvent chez tous les squelettes humains appartenant à la période moustérienne, plus ou moins développés ou plus ou moins atténués (variations individuelles). Nous sommes donc en face d'une « race » telle que l'entend l'expression zoologique.

Fait à noter : à la fin des temps moustériens, ce type humain disparaît. Jusqu'à ce jour, aucune fouille pratiquée dans le Paléolithique supérieur n'a révélé sa survivance. Or, nous possédons un assez grand nombre de squelettes appartenant à ces moments-là, notamment à la période aurignacienne. Aucun d'entre eux ne pourrait figurer dans les rangs de l'*Homo Neanderthalensis*. C'est pourquoi Boule a pensé que l'on peut considérer cette race comme un « rameau flétri ».

Le Paléolithique supérieur, subdivisé, comme il a été dit, en périodes : aurignacienne, solutréenne, magdalénienne, va nous montrer deux types humains, différents l'un de l'autre, et aussi très différents de celui dont il vient d'être parlé. On a donné le nom de Cro-Magnon (abri sous roche aux Eyzies) à la race humaine de la période aurignacienne. Jamais l'Humanité, ni dans le temps, ni dans l'espace, n'a connu un homme aussi grand. Et cette taille gigantesque (1,82 m.) appartient à un être dont la musculature est admirablement développée. La station verticale est complète. Le crâne est dolichocéphale. Pour la première fois dans l'histoire de la morphologie humaine, on voit apparaître le menton. Les orbites, au lieu d'être arrondies comme chez l'*Homo Neanderthalensis*, sont quadrangulaires. Cette race magnifique, dont les restes abondants

ont été recueillis, en sépultures, dans les cavernes du massif calcaire des Baoussé-Roussé près de Vintimille (Italie septentrionale), semble se retrouver aujourd'hui, atténuée, chez quelques populations de la France du sud-ouest, chez certains Basques, chez les Berbères. Les Guanches des Canaries ont été considérés par les auteurs comme les meilleurs représentants actuels de cette vieille race aurignacienne.

De la période magdalénienne — c'est le moment où se développe si merveilleusement l'art préhistorique, où la peinture et le modelage s'ajoutent à la sculpture et à la gravure déjà inventées par les Aurignaciens — la race humaine — type de Chancelade — est encore très insuffisamment représentée. Elle ne montre plus les mêmes aspects morphologiques que la race de Cro Magnon. Les hommes de la race de Chancelade (ou de Laugerie-Chancelade) sont de petite taille. Leur tête osseuse est plus affinée que celle de leurs prédécesseurs immédiats; à la dolichocéphalie ils associent une face longue (type harmonique). Fait difficile à expliquer : alors que la période magdalénienne est beaucoup plus rapprochée de nous que les périodes moustérienne et aurignacienne, le nombre des squelettes appartenant à la race de Chancelade est extraordinairement restreint. Ce groupe humain a continué ses destinées au travers du Mésolithique — du Mésolithique français particulièrement. Dans la Bretagne, M. et M^{me} St-Just Péquart ont retrouvé ses sépultures; et les squelettes qui y étaient renfermés peuvent être considérés — malgré certaines petites divergences morphologiques — comme appartenant à la race classique du Magdalénien. Parmi les races humaines contemporaines, je pense que nous pouvons considérer le type de l'*Homo meridionalis*, cantonné principalement dans la Méditerranée occidentale (Italie du sud, Péninsule ibérique, quelques territoires français du Midi) comme les descendants de la race artiste du Magdalénien.

Dès la fin du Magdalénien, de profonds bouleversements s'apprêtent dans l'histoire humaine. Le climat jusqu'alors froid et sec s'adoucit. Il devient humide. La faune subit intensément ces transformations. Une partie des animaux qui furent les contemporains de l'homme disparaissent à tout jamais : le mammouth, l'ours des cavernes, le lion des cavernes, le rhinocéros laineux, l'hyène et le

loup des cavernes. Les animaux qui subsistent émigrent pour tenter de se maintenir dans leur climat habituel : migration vers le nord, du renne, du glouton, du bœuf musqué,¹ migration vers les hautes altitudes, du chamois, du bouquetin, de la marmotte, du lièvre alpin. Le compartimentage des faunes, tel que nous l'avons sous les yeux, s'accomplit graduellement. Les conditions pour la vie matérielle, offertes aux hommes, se modifient. Les grands troupeaux d'animaux sauvages se sont raréfiés. Les glaciers ont fondu, laissant libres de vastes espaces où s'éparpillent les espèces. L'art a disparu. Les outillages (silex et os) retrouvés n'ont plus la physionomie de ceux façonnés dans la période précédente. Pendant longtemps on a cru, devant le peu de renseignements fournis par cette période, aux changements si considérables, que l'Europe s'était vidée de ses habitants. Ceux-ci auraient suivi, vers les régions septentrionales, les migrations animales, et les Esquimaux pourraient être considérés comme leurs descendants. Gabriel de Mortillet avait institué un « hiatus » qui s'intercalait entre la fin du Magdalénien et le début du Néolithique. Et, pendant longtemps, beaucoup d'auteurs se rallièrent à cette hypothèse. Une telle notion, aujourd'hui, est à tout jamais périmée. Nous savons que la vie humaine a continué à s'exercer sur le continent européen. Déjà les fouilles de Piette, au Mas d'Azil, permirent d'établir, à cette période intermédiaire, l'existence d'un état de civilisation particulier qu'on a appelé Azilien : c'est l'époque des galets coloriés. A ce moment, les beaux harpons cylindriques en bois de renne, du Magdalénien, sont remplacés par des harpons plats en ramure de cerf (un tel objet est un fossile directeur pour cette période). Les fouilles de Piette furent suivies de nombreuses recherches en divers points du monde. Aujourd'hui on a intercalé une période dite Mésolithique entre le Paléolithique supérieur et le Néolithique. Et ce Mésolithique apparaît comme un des moments les plus importants de l'histoire humaine : il est comme un préambule, comme une introduction au plus grand bouleversement social que l'humanité ait connu. Les manifestations matérielles de la période mésolithique se rencontrent en beaucoup d'endroits en Europe et sous des aspects qui ne sont pas exactement les mêmes. A ces facies on a donné des noms : Azilien, Maglemosien, Sauveterrien, etc. Une

¹ Le Mammouth et le Rhinocéros tichorhinus ont aussi émigré vers le nord. Puis ils se sont éteints.

découverte, importante pour l'histoire de la civilisation, fut signalée dans le Mésolithique : la présence du chien domestique. Steenstrup, le premier, avait indiqué l'existence du chien domestique dans les kjökkenmöddings du Danemark. La trouvaille est de valeur parce qu'il apparaît que le chien a joué un grand rôle dans la domestication des autres animaux. Autre constatation importante : une station mésolithique de la Bavière, Ofnet, nous a mis en face d'un fait considérable au point de vue de l'histoire européenne. Dans cette grotte d'Ofnet, les Mésolithiques ont creusé deux fosses, empruntant pour cela les couches magdaléniennes, et, dans ces deux fosses, ils y ont déposé des têtes coupées. Il s'agit d'un type de sépulture dont, en Europe, on n'a pas encore retrouvé l'analogue. Orientées, ornées, parfois accompagnées d'une ou deux vertèbres cervicales, ces têtes (malheureusement nous n'avons que cette partie du corps, ce qui est insuffisant pour une définition raciale) présentent pour nous cet intérêt exceptionnel d'avoir, en partie, appartenu à des individus brachycéphales. C'est la première fois qu'en Europe un tel type humain apparaît. On comprend l'émotion de ceux qui cherchent à connaître nos origines lorsqu'ils apprirent cette révélation. Il ne s'agit pas d'un individu isolé, perdu dans la masse des Dolichocéphales, mais le 40 % de ces têtes appartenait au type nouveau. Tout de suite on se posa la question : quelle pouvait être l'origine géographique de ces étrangers ? L'Asie est un continent où la brachycéphalie est très abondamment représentée et c'est naturellement de ce côté que se tournèrent les regards. Et bientôt, en étudiant de près la civilisation et le civilisateur de la période néolithique, la lumière qui devait éclairer nos origines apparut plus rayonnante.

Le Néolithique est véritablement la base préhistorique de notre civilisation. Jusqu'alors, on l'a vu, les hommes ont été des nomades, chasseurs et pêcheurs. Ils procédaient aussi, sans doute, à la cueillette, comme toutes les populations primitives. Or, ces chasseurs nomades n'auraient pu franchir ce stade de leur existence sans le secours des Néolithiques venus d'Asie; ils n'auraient jamais pu se muer en sédentaires.

Car le tragique de l'Europe c'est que notre continent est le plus défavorisé de tous les continents au point de vue des plantes qui pourraient devenir, pour les hommes, des plantes nourricières,

des plantes de grande culture, celles qu'on appelle des plantes vivrières. L'Europe n'est le domaine, à l'état spontané, d'aucune céréale. Or ce sont les céréales qui ont été à la base de toutes les grandes civilisations de l'antiquité.

L'Asie possède le riz, le blé, l'orge, le millet. L'Afrique le sorgho et aussi d'autres graminées. L'Amérique le maïs (et, de plus, la pomme de terre). Toutes ces plantes sont susceptibles de cultures étendues, et de conduire ainsi les hommes vers la vie sédentaire. L'Europe préhistorique, elle, encore une fois, n'avait rien. Nos céréales, importées depuis l'âge de la pierre polie, ne peuvent survivre aujourd'hui encore que grâce à la culture. Alors que l'Asie avait domestiqué plusieurs animaux et qu'elle cultivait les céréales vivant spontanément sur ses territoires, l'Europe ne pouvait offrir à ses habitants que les perspectives de la vie élémentaire des chasseurs. Dans l'Asie occidentale, les Pré-Hittites montraient déjà un état de civilisation avancé avec, en particulier, des lois agraires — qu'on peut considérer comme sévères — alors que les Européens de la période mésolithique cherchaient leur nourriture journalière dans la poursuite des cerfs. Et si l'Europe avait encore été séparée de l'Asie par un bras de mer — comme elle le fut au Tertiaire — et qu'une navigation à grand rayon n'eût pas été inventée — laquelle eût alors permis des communications utiles entre les deux continents — l'Europe était dans l'obligation de demeurer pour toujours dans l'état où, depuis des dizaines et des vingtaines et peut-être des cinquantaines de millénaires, vivaient ses habitants.

Chacun sait aujourd'hui quelles sont, sur notre continent, les physionomies principales de la civilisation néolithique. Elles sont marquées, notamment, en plus de la culture, par la domestication de quatre espèces animales, le bœuf, le cochon, le mouton et la chèvre — le chien est déjà le compagnon de l'homme depuis la période mésolithique. Dans les habitations lacustres de la Suisse, on retrouve, avec des abondances variées, les restes de ces animaux.¹ Nous pouvons même connaître, par la statistique des ossements, les quantités relatives des espèces qui composaient alors les troupeaux. Comme céréales, nos ancêtres néolithiques possé-

¹ En bien des lieux, de grandes agglomérations terrestres s'étaient aussi créées (fonds de cabanes de la Hesbaye, par exemple).

daient plusieurs sortes de blé, deux sortes d'orge, deux sortes de millet. Et ces cultivateurs préhistoriques, en prévision des mauvais jours, accumulent déjà des réserves : des quantités relativement considérables de blé, carbonisé par les incendies, et dès lors rendu imputrescible, ont été retrouvées en plusieurs endroits. Les obligations que réclament le défrichement, l'ensemencement, la protection des récoltes contre les animaux déprédateurs et contre les hommes, ont forcé les Néolithiques lacustres à se rapprocher les uns des autres. La construction des stations sur pilotis doit être envisagée comme un travail colossal où l'entr'aide est indispensable. Alors la communauté s'est créée. Et c'est ainsi que la Cité s'est graduellement constituée avec tout ce qu'elle comporte d'exigences morales pour assurer le bien-être de la collectivité. En un mot, c'est alors que notre état social s'organisa.

Nous avons dit qu'aucune révolution — de n'importe quel aspect — ne peut être comparée à celle-là. Représentons-nous — alors que nous bénéficions des richesses matérielles inouïes offertes par toutes les inventions et dont notre existence semble dépendante — ce qui surviendrait si brusquement des épidémies détruisaient toutes les céréales et tous les animaux domestiques. Malgré les facilités créées par ce que nous appelons le Progrès, la civilisation serait aussitôt détruite et l'Humanité, obligée de retourner à l'existence des chasseurs, s'éteindrait, faute d'aliments, dans sa presque totalité. La civilisation néolithique — elle ne connaît pas encore les métaux — est donc, répétons-le, l'heure la plus importante de notre histoire.

A qui devons-nous une si profonde transformation de la vie ? Très vraisemblablement, nous l'avons dit, aux Brachycéphales asiatiques, arrivés tout d'abord timidement, comme une simple avant-garde exploratrice à Ofnet. Une fois fixés sur le territoire européen, ils se sont extraordinairement multipliés. Très prolifiques, ils sont les ancêtres de ce groupe humain, immense, aujourd'hui établi au travers de toute l'Europe montagneuse, des Carpathes de Roumanie à la Bretagne française, auquel les anthropologistes ont donné le nom d'*Homo alpinus*. Cette constatation ramène notre pensée à une œuvre célèbre, encore aujourd'hui magnifiée par quelques-uns : l'Essai sur l'inégalité des races humaines. Dans ce livre, Gobineau a singulièrement maltraité le type humain brachycéphale, le con-

sidérant comme voué à une infériorité originelle et définitive, au bénéfice des Dolichocéphales. Or, il semble, au contraire, que les Brachycéphales ont été les inventeurs de notre civilisation. Il est vrai de dire, à la décharge de Gobineau, qu'à l'époque où il écrivait son ouvrage, nos connaissances de l'anthropologie ethnique étaient encore bien peu avancées.

Quoi qu'il en soit de ces discussions, l'Histoire — l'histoire de l'homme dans son ensemble — doit écrire en lettres particulièrement significatives les grandes heures dont il vient d'être question.

Die räumliche Deutung der Aussenwelt

Von

Prof. Dr. ANDREAS SPEISER, Zürich

Der Raum scheint uns völlig bekannt und geläufig zu sein, ein ursprünglicher Besitz des Denkens und der Aussenwelt. Betrachtet man ihn aber genauer, so findet man vieles Rätselhafte und Unsichere an ihm. Es ist nicht selbstverständlich, dass die Gegenstände in unser Schema hineinpassen, ja es gibt grundlegende Tatsachen, welche nicht zusammenstimmen. Als Beispiel nenne ich die Tangente an den Kreis. In der Natur gehen sie aneinander vorbei, man denke etwa an einen Wagen, der auf der Strasse fährt. In der Geometrie haben sie jedoch einen Punkt gemeinsam, und gerade diese Tatsache ist grundlegend, dieser gemeinsame Punkt ist das *punctum saliens*.¹ So muss man sich eher wundern, dass der mathematische Raum so gut zur Natur passt.

Wenn ich vor Ihnen über den Raum sprechen darf, so möchte ich ähnlich vorgehen, wie bei der Beschreibung einer neuern Erfindung, etwa der Eisenbahn. Dort pflegt man zunächst die gute alte Zeit der Postkutschen zu schildern, kommt dann auf die Erfindung und ihre Verbreitung zu sprechen, und schliesslich gibt man eine Uebersicht über die gegenwärtigen Modelle und die Zukunftsaussichten.

So möchte ich damit beginnen, zu zeigen, wie eine raumlose Kultur aussieht. So unwahrscheinlich es klingt, so hat es doch Zeiten gegeben, wo der Raum und alles, was damit zusammenhängt, noch nicht im Bewusstsein der Menschen klar vorhanden

¹ Physikalisch hat man sich in diesem Dilemma so zu helfen, dass man sagt: Die Materie ist das, was unterhalb der Oberfläche liegt. Dann können zwei Quader, die man aneinanderstösst, wohl ihre Oberfläche gemeinsam haben, ohne dass sie sich materiell mischen.

war, Zeiten, wo man sogar eine Aussenwelt ohne Kenntniss des Raumes aufbaute. Wir können uns leicht davon überzeugen, wenn wir die Anschauungen alter Völker in den überlieferten Schriften nach dieser Seite prüfen, vor allem aber, wenn wir Reisebeschreibungen neuerer Forscher und ihre Verarbeitung durch Ethnologen in die Hand nehmen. Dadurch werden wir in die Lage versetzt, uns in die Mentalität der sogenannten Primitiven hineinzudenken und uns darüber zu wundern, wie seltsam eine raumlose Kultur aussieht. Ich möchte vier Tatsachen hervorheben und teilweise durch Beispiele beleuchten.

1. Wir konstatieren den grundlegenden Unterschied zwischen der Wirklichkeit und dem Traum oder der blossen Einbildung mit Hilfe des Raumes. Fehlt dieser Begriff, so werden Träume ebenso ernst genommen wie wache Beobachtungen, es werden scharfe Erinnerungsbilder an einen Menschen mit seiner Gegenwart verwechselt. Als Beispiel diene folgender Bericht: Ein afrikanischer Häuptling träumte von einer langen Reise, die er in die Hauptstädte Europas unternahm, nach London und Paris. Als er wieder erwachte, setzte er sich vor sein Haus, erzählte seine Erlebnisse und nahm die Glückwünsche seiner Untertanen für die wohlüberstandene Fahrt entgegen. Keiner dachte dabei an Scherz.

2. Die von uns stets vorausgesetzte kausale Beziehung von Körper und sinnlicher Empfindung ist noch unbekannt, jedenfalls wird sie nur als nebensächlich in Betracht gezogen. Ein Eingeborener, der an einer Blinddarmentzündung erkrankt ist, wird von einem europäischen Arzt operiert und gut gepflegt. Nachdem er wieder hergestellt ist, soll er in sein Dorf entlassen werden. Darauf fragt er den Arzt, was man ihm nun schenke. Als dieser ihm zu verstehen gibt, eigentlich müsste er etwas bezahlen, wird er vom Eingeborenen bedroht; in einem anderen Fall, wo ein Europäer einen Wilden vom Tod des Ertrinkens errettet, zündet der Gerettete ihm das Haus an, weil er von seinem Retter kein Geschenk erhält.

Für den Europäer ist das eine verkehrte Welt. Man erklärt sie folgendermassen: Der Eingeborene, der zum europäischen Arzt geht, begibt sich in den Schutz eines neuen mächtigen Geistes und wird dadurch des Schutzes seiner Stammesgötter verlustig. In dem Augenblick, wo er nach unseren Begriffen als geheilt entlassen wird, fühlt er sich schutzlos, alle Sicherungen

schwinden, und er wird von einer Art Panik ergriffen. Ja, wenn er mit einem Geschenk nach Hause käme, wäre er entschuldigt, denn dass man um des Gewinnes willen ein Unrecht begeht, das begreifen auch die ehrwürdigsten Ahnen, sie billigen es sogar.

Die Aussenwelt wird von den Primitiven animistisch gedeutet und durch lauter Subjekte, aktive und persönliche Mächte aufgebaut. Es ist das Schema der Zahl, das sie einzig verwenden. So gut, wie ich selber ein fühlendes und handelndes Wesen bin, so ist auch alles, was uns begegnet, ein Ich. Ein so grundlegendes Schema muss auch bei uns früh entstehen. Wir pflegen es den Kindern in der Jugend beizubringen in Form von Sprichwörtern: « Was du nicht willst, dass man dir tu, das füg auch keinem andern zu », oder « Quäle nie ein Tier zum Scherz, denn es fühlt wie du den Schmerz ». Wir muten also dem Kinde zu, dass es gleichsam den Pfeil, der von ihm aus zum Gegenstand geht, umkehrt und seinerseits an den Gegenstand heftet. Und das Kind kann das ersichtlich ohne Schwierigkeit, denn diese Fähigkeit liegt seit uralter Zeit im Menschen. Aber eine räumliche Deutung der Aussenwelt ist es noch lange nicht.

3. Für den primitiven Menschen gibt es ferner noch keinen Tod in dem Sinne von: « Es ist aus. » Denn noch steht der Verstorbene deutlich vor Augen, man riecht ihn noch in der Hütte, in der Versammlung sind seine früheren Voten noch wirksam und man reserviert ihm daher auch seinen Platz. Durch einfache Zauberei kann man ihn heraufbeschwören, nicht leiblich — das braucht's ja gar nicht, denn der heutige Spiritismus mit seinen Materialisierungsphänomenen ist etwas ganz anderes — sondern das geistige Bild steigt leibhaftig im Geiste der Anwesenden auf, und damit ist er für den raumlosen Menschen so gut wirklich wie irgendein Lebender.

4. Auch für Distanzen fehlt teilweise der Sinn. Warum soll man nicht in einer Nacht als Tiger in einem weit entfernten Dorf eine Frau auffressen, wieder zurückkommen und am andern Tag, leicht ermüdet, wieder an die Arbeit gehen? Dass dies wirklich geschieht, daran zweifelt kein Stammesgenosse. Gewiss sind solche Ansichten irgendwie rational entstanden, aber es ist eine uns fremde Logik, aus der sie stammen. Sogenannte rationale Erklärungen alter Sitten und Gebräuche gehen meist fehl, weil sie von modernen Anschauungen diktiert sind, die damals noch unver-

ständig gewesen wären. Man hat schon darauf hingewiesen, dass die Aussetzung von Kindern bei den Griechen kaum aus rassehygienischen Ueberlegungen erfolgte, sondern vielleicht, weil das sonst gesunde Kind in einer falschen Stellung zur Welt kam und darum als sogenannter jettatore, Unglückbringer, im späteren Leben die Umgebung geschädigt hätte.

Alles wird von allem bezaubert, dies ist das Prinzip des raumlosen, rein zahlenmässigen Denkens. Man schadet durch den bösen Blick und muss daher stetsfort davor auf der Hut sein. Andererseits schafft ein guter Blick Gemeinschaft, und man macht sich auch mit ihm leicht unbeliebt. So soll man die Herde des andern nicht rühmen, eher leicht tadeln. Man erzählte vor einigen Jahrzehnten von einem sehr hochgestellten Europäer, der in den nahen Orient kam. Sooft er ein schönes Araberpferd sah, rühmte er es arglos, aus Höflichkeit; sogleich musste ihm der Besitzer das Tier schenken, und er war nicht davon abzubringen, wenn er auch innerlich mit den Zähnen knirschte. Denn das Lob genügte schon, um den Besitzwechsel herbeizuführen.

Wie ganz anders sieht die Aussenwelt nach dem Raumschema aus ! Ruhig steht ein Stuhl bei einem Tisch, keiner tut dem andern etwas. Denn sie sind ja blosse Objekte, sie haben kein Ich, keine aktiven Kräfte. Friedlicher als die Kühe im Stall führen die Dinge ihr Dasein, und man kann nicht einmal sagen, sie seien geduldig, denn sie haben keine Empfindung, sie sind blosse Sachen, also eigentlich Abstrakta.

Die Entdeckung des Raumes verdanken wir unbestreitbar den Griechen, und er heisst darum mit Recht : Euklidisch. Er gehört zu den Begriffen, mit denen wir uns heute unsere Umgebung zu-rechtlegen, zu unserer Bequemlichkeit und zum Gebrauch. Denn allem, was wir unternehmen, legen wir unbewusst übersichtliche Muster vor, Antizipationen, die uns als Sicherungen für die Zukunft dienen. Wir möchten womöglich nie in eine unvorhergesehene Lage kommen, wo uns leicht ein Gefühl von Kopfweg lähmen könnte. Darum werfen wir unsere Netze aus und rauben der Aussenwelt die Gewalt, die sie auf uns ausüben könnte. Diese Zahlen und Maße machen uns die Dinge dienstbar. Um bequem zu gehen, legen wir über die holprige Erdoberfläche ebene Wege, und wir sind darin schon so weit gekommen, dass es uns schwer ist, in eine unwegsame Gegend zu gelangen. Die Zeit fesseln wir

durch die Uhr, indem wir sie in eine Skala bringen. Die Waren bewerten wir durch Zahlen, die man Geld nennt. Und wenn die Versorgung mit Lebensmitteln knapp wird, so helfen wir uns mit der Rationierung, d. h. wir arithmetisieren den Verbrauch und gewinnen dadurch die Sicherung wieder zurück. Wir vermehren damit zwar nicht die Menge des Vorhandenen, aber wir können den Konsum regeln und vermindern im Einzelnen das empörende Gefühl, es gehe ihm schlechter als den andern.

Der Raum ist das schönste Gebilde, das die Mathematik bisher entdeckt hat, der vollkommenste Kristall. Während in der Kugel ein Punkt ausgezeichnet ist, nämlich der Mittelpunkt, ist im unendlichen Raum jeder Punkt mit jedem andern gleichwertig, jeder ist Mittelpunkt, jede Ebene ist Spiegelebene, jede Gerade ist Rotationsachse. Seine Entdeckung fällt in das sechste vorchristliche Jahrhundert. Wie es zu gehen pflegt, wurde seine Bedeutung zunächst überschätzt. Demokrit, später Epikur, zogen die entscheidenden Folgerungen und schufen den sogenannten Materialismus, d. h. die Lehre, dass nur das Räumliche Existenz hat, alles andere eine Täuschung ist. Vor allem entdeckte man den Tod, auf Grund der Lehre von den Atomen. Epikur sagt : « Der Tod, dieses Wort, vor dem die Menge erzittert, ficht uns nicht an; denn solange wir sind, ist er nicht, und wenn er ist, so sind wir nicht mehr. » « Jemand hat gesagt, das beste sei, nicht geboren zu werden, und das zweitbeste, in früher Jugend zu sterben. Wenn dieser sogenannte Weise an seine Maxime glaubte — warum verliess er dann nicht das Leben ? denn das kann man, wenn man will. Meinte er es aber im Scherz, so war er ein Narr; denn über ernste Dinge macht man keine Witze. »

Damit war die Macht der Umwelt über uns in ihrer Grundlage erschüttert. Als die Griechen und später die Römer dies inne wurden, kam eine grosse Ruhe über sie. Lukrez sagt in seinem Epos über die Natur der Dinge : « Wie die alten Heroen die Drachen und Ungeheuer getötet haben, so hat Epikur, grösser als ein Gott, die Menschheit von den Schrecken der Religionen befreit. » Die ganze Geisterwelt versank für die Anhänger des neuen Raumes in die Unterwelt; wer an diese Gespenster noch glaubte, wurde verlacht. Die fabelhaften Fahrten des Odysseus und die uralten phantastischen Reiseberichte von der Art, wie sie uns in Tausendundeiner Nacht von Seif el Mulûk oder von Hassan erzählt wer-

den, die vordem als reine Wahrheit galten, wurden nun zu blossen Märchen.

Der endgültige Sieg des Raumes setzte freilich erst in der neueren Zeit ein. Denn an Kritik des Materialismus fehlte es nicht. Schon im fünften Jahrhundert vor Christus sagte Parmenides : « Die materielle Welt ist nicht, sondern alles in ihr wird bloss, es entsteht und vergeht. Nur das Seiende ist. » Auch Aristoteles erklärte sich gegen den unendlichen Raum, und im Mittelalter befinden wir uns immer noch in einer Welt voller Hexen und Teufel. Dasjenige Volk, das zum erstenmal wieder Euklid studierte und damit die Aussenwelt gestaltete, war das Volk von Italien, vor allem von Florenz. Der Weg dazu führte über die Beobachtung der Sterne und die sphärische Trigonometrie. Dante konstruierte mit diesen Hilfsmitteln das ganze Weltall, mit blossen Winkeln, ohne Strecken, und dies gibt seinem Werk für uns den phantastisch-wirklichen Doppelanblick, der uns mächtig ergreift — soweit wir fähig sind, seinen geometrischen Angaben zu folgen. Aber in diesem Stadium konnte nicht haltgemacht werden, man musste den letzten Schritt zum dreidimensionalen Raum tun, und dies gab der sogenannten Renaissance den Auftrieb. Die Welt, die man jetzt entdeckte, erfasste die Gelehrten und die Künstler gleichzeitig. Man erkannte die Schönheit des menschlichen Körpers und begann mit den anatomischen Studien. Bezeichnend ist, was der Maler Paolo Uccello sagte : « Ich freue mich jeden Abend auf das Erwachen am andern Morgen, weil ich die göttliche Perspektive studieren darf. »

Die gewaltige Probe auf die neue Lehre machte der Italiener Columbus. Leider musste er die Frucht seiner Kühnheit einem Volke überlassen, das auf niedrigerer Kulturstufe stehen blieb und späterhin auch in Italien den Geist der neueren Zeit unterdrückte, dies gerade in dem Augenblick, wo die grössten Entdeckungen fällig waren und Galilei eben die Schwelle zum Weltall betreten hatte.

Was die Italiener gesät hatten, konnten sie nicht ernten. Dies blieb Engländern und Schweizern, vor allem Baslern vorbehalten. Im vollen Bewusstsein der Verantwortung gingen diese theologisch durchgebildeten Gelehrten ans Werk. Auf was für innere und äussere Schwierigkeiten sie dabei stiessen, möge folgendes Beispiel

illustrieren. Es handelt sich um das sicherste Merkmal für die Verbreitung des Raumsinnes, gleichsam um das Leitfossil für das moderne Denken, um die Landkarte. Gerade ihre Einführung begegnete heftigem Widerstand. Mit Erstaunen liest man bei Eduard Fueter, dass sich Thomas Schopf im Kommentar zu seiner Karte der Berner Landschaft 1576 gegen den Vorwurf der Religionsfeindlichkeit verteidigen muss. Die Theologen sagten, Gott liebe es, seine Wunder im stillen zu tun. Messe man nun die Kontinente, so werde die Weisheit, die Gott ununterbrochen ihrer Bildung angedeihen lasse, offenkundig. Es ist also die Angst vor dem Zorne Gottes, welche die Wissenschaft hinderte. Nun darf man nicht vergessen, dass in jenen Zeiten grosse Seuchen in den Städten wütheten. Um deren Ursachen zu ergründen, forschte man in der Bibel und fand denn bald, dass Jahve dem Volk Israel eine Pest sandte, weil David sein Volk gezählt hatte. Dies war ein Akt der Selbstherrlichkeit gegenüber Gott, und der Schluss lag nahe, dass auch das Ausmessen des eigenen Herrschaftsgebietes das Missfallen Gottes erregen könnte. Der Geograph lief Gefahr, für das Auftreten einer Seuche zur Verantwortung gezogen zu werden. Hier greift man mit Händen, wie gefährlich einstweilen noch die Handhabung der Wissenschaft war; die Gegenstände der Forschung waren als heilig erklärt und dem menschlichen Zugriff entzogen worden. Gerade die uns heute als fromm erscheinende Begeisterung eines Kopernikus, eines Kepler darüber, dass sie endlich die Wunder Gottes, die 6000 Jahre lang verborgen waren, der Welt zeigen konnten, gerade diese Begeisterung schien ein Frevel. Freilich kam zu den religiösen Bedenken noch eine dem Menschen natürliche Trägheit hinzu, die sich dagegen wehrte, das gewohnte Denken von Grund aus umzuformen, und sich dazu der kräftigsten Abwehrmittel bediente; diese waren zu allen Zeiten die religiösen Verdächtigungen.

Nachdem durch das Newtonsche Gravitationsgesetz der unendliche Kristall des Euklidischen Raumes als der Behälter der Aussenwelt erkannt war, wurden die grundlegenden Naturgesetze zu einer mathematischen Angelegenheit. Man konnte die wichtigsten logisch ableiten und brauchte nur noch das eine Axiom: es gibt ein Gesetz, nach dem der Vorgang abläuft. Aber dieses Axiom wird kaum je ausgesprochen, wir setzen es bei jeder Wissenschaft als selbstverständlich voraus. Nehmen wir das Trägheitsgesetz:

ein Massenpunkt, auf den keine Kräfte wirken, bewegt sich auf einer Geraden. Voraussetzung ist hier, dass die Symmetrien des Raumes voll bestehen, denn das meint man, wenn man sagt, es wirken keine Kräfte. Nehmen wir an, statt von der Geraden, welche die vorgeschriebene Richtung hat, sei die Bahn von irgend-einer andern Kurve gebildet, welche die Gerade am Anfang berührt, so könnten wir diese Bahnkurve um die Gerade drehen und erhielten neue gleichwertige Bahnen, die sich gegenüber dem Raume nicht unterscheiden lassen. In der Ebene könnten wir die Bahn an der Geraden spiegeln und erhielten zwei gleichberechtigte Bahnkurven. Dies widerspricht dem Axiom, das ein eindeutiges Gesetz verlangt.

Im Euklidischen Raum kannte man längst schöne Kurven, die Kreise, Ellipsen, Hyperbeln und Parabeln, mit denen man rechnen lernte. Alle diese Figuren werden nun für die Physik wichtig, und bald gewinnt man die Überzeugung, dass Dinge, die mathematisch schön sind, sicher auch in der Natur sich vorfinden. Sie wird immer wieder bestätigt, am erstaunlichsten in der Kristallographie. Dort kann man a priori mit Hilfe des Gesetzes der gleichen Umgebung etwa 200 mögliche Anordnungen finden. Gerade die schönsten und gehaltvollsten finden sich in der Natur verwirklicht. Sie geben Aufschluss über die Struktur der Materie und bestätigen sich auch numerisch in überraschender Weise.

Man ist aber hier nicht stehengeblieben. Wir haben den Raum selber als einen Kristall bezeichnet; nun gestattet aber die Gruppentheorie, die Symmetrien unabhängig zu studieren, und man ist dazu gelangt, andersartige, nicht-Euklidische Räume aufzustellen. Die allgemeinsten fand Bernhard Riemann, und mit ihnen näherte man sich wieder den Raumanschauungen von Plato und Leibniz. Eine Fortführung dieser Gedanken ergab die sogenannte Relativitätstheorie. Ihr Name ist irreführend: nicht dass das, was wir sehen, relativ ist, kann uns wundern; das wissen wir schon lange. Dass dem, was wir sehen, etwas Absolutes und Invariantes zugrunde liegt, ist das Wesentliche. Durch diese Forderung wird mathematisch aus unendlich vielen möglichen Gleichungen eine kleine Anzahl ausgewählt, die sich dann auch experimentell bewährt. Wenn heute die Einsteinsche Lehre von vielen verworfen wird, so möchten wir Mathematiker jedenfalls unsern Anteil daran nicht preisgeben. Dieser ist gesund und stellt eine der grössten

Entdeckungen des neunzehnten Jahrhunderts dar, an der deutsche Mathematiker grossen Anteil haben. Das übrige mögen die Physiker verantworten.

Unser Auge ist der grossen Umwälzung in der Deutung der Aussenwelt nicht rasch nachgekommen. Wir wissen aus Plato, dass die perspektivische Darstellung der Gegenstände den Leuten zunächst grosse Schwierigkeiten bot. Sie mussten sich genau in den Augenpunkt stellen, sonst sahen sie lauter Unsinn. Heute haben wir uns von frühester Jugend dermassen an den Anblick gewöhnt, dass wir in jeder Entfernung ein perspektivisches Bild plastisch deuten, obschon es mit dem Anblick eines wirklichen Gegenstandes wenig mehr zu tun hat. Schon das beweist, dass sich zwischen das Bild, das auf die Netzhaut geworfen wird, und unsere Deutung desselben eine Apparatur einschleibt, die Gewaltiges leistet und von unbeschreiblicher Feinheit ist. Neben dem perspektivischen besitzen wir auch ein unperspektivisches Sehinstrument, das man leicht feststellen kann. Es gibt Gemälde, welche eine Strasse darstellen, die mitten im Raume völlig symmetrisch nach hinten führt. Ich denke etwa an Böcklins Gartenlaube in Zürich. Stellt man sich schräg davor, so läuft der Weg schief, und es ist uns schlechterdings unmöglich, den Anblick zu korrigieren. Wir müssen uns schon von der Stelle bewegen und mitten vor das Bild stehen, um den wahren Sachverhalt zu erfahren. Sehen wir uns dagegen ein Schweizerkreuz von der Seite an, so wird es uns nicht einfallen, seine Symmetrie zu bezweifeln, und dasselbe gilt von vielen ebenen Ornamenten, wenn auch nicht von allen, wie schon antike Mosaike beweisen. Das sind zwei Mechanismen, die mit grosser Präzision arbeiten. Was wir von der Aussenwelt mit den Sinnen wahrnehmen, ist ein Abstraktum. Das wissen die Maler am besten. Sehr schön berichtet uns darüber Hans Stocker aus seinen Erinnerungen an den jung verstorbenen Franz Marent. Es heisst dort :¹ « Nur das, was uns durch das Denken klar wird, haben wir gesehen. » « Die Form lässt sich nur auf eine unglaublich reduzierte Art wiedergeben. » Wir möchten hinzusetzen « und sehen ». Gerade durch das plastische Sehen, das uns die Maler der Renaissance geschenkt haben, ist eine neue Schönheit der Aussenwelt hervorgetreten.

¹ Beiträge zur zeitgenössischen Kunst, 2. Folge, Nr. 6. Herausgegeben vom Basler Kunstverein.

Dass wir es sind, welche die Aussenwelt formen, geht auch aus merkwürdigen Versuchen von Erismann hervor. Er gab einer Versuchsperson eine Brille, welche die geraden Linien als Kreisbogen auf die Netzhaut warf. In den ersten Tagen stellten sich, wie jeder Brillenträger weiss, Symptome der Seekrankheit ein. Nach einiger Zeit verloren sie sich, und man sah die Geraden wieder als Gerade. Als nach vierzehn Tagen die Brille wieder abgenommen wurde, stellte sich keine plötzliche Umkehr ein, sondern jetzt sahen die Geraden wie andersgewendete Kreise aus, die Seekrankheit trat wieder ein, und es dauerte eher etwas länger als zuvor, bis alles in Ordnung war. Die Gestalt einer Linie auf der Netzhaut ist also nicht die Urform, von der wir die Aussenwelt gleichsam photographieren. Der Vorgang ist nicht so einfach, er hängt von unserem Willen und von unserer Übung ab; wir werfen unsere Netze über die Aussenwelt und fangen damit das, was die Maschen halten können. Der Rest geht unserem Zugriff verloren.

Ich habe versucht, Ihnen zu zeigen, was alles dazu gehört, um ein so vollkommenes Gebilde, wie es der Euklidische Raum ist, fruchtbar zu machen. Erst muss es entdeckt werden, und dies ist zweifellos der schwierigste Teil; in Platos Dialogen spürt man noch den Nachklang dieser Anstrengungen. Hierauf werden die weltanschaulichen Folgerungen gezogen; der Widerstand, der ihnen entgegengebracht wird, muss überwunden werden. Alsdann muss sich das menschliche Gehirn darauf einrichten und die nötigen Mechanismen schaffen. Schliesslich sind wir so weit, dass der Raum als eine Selbstverständlichkeit erscheint, die zur ursprünglichen Natur gehört und keiner Korrektur mehr bedarf. Dies ist das Endstadium; den Forscher interessiert aber vorzüglich das Anfangsstadium, und ich möchte mir daher erlauben, Sie in ein Gebiet zu führen, wo wir noch nicht so weit sind; ich meine die Lehre von den Farben. Auch hier suchen wir zunächst nach einer Metrik; eine solche wird uns scheinbar durch den Regenbogen geliefert; leider umfasst er aber nur einen kleinen Ausschnitt, und selbst in der viel schärferen Form des künstlich hervorgebrachten Spektrums genügt er nicht den Anforderungen einer Distanzmessung. Die Schwingungszahlen der Physik liefern eine Maßbestimmung, welche mit derjenigen des Auges nicht übereinstimmt, denn die Spektralfarben bilden einen geschlossenen Kreis, während die Schwingungen ein offenes Intervall bilden.

Versuche zur Farbenmessung sind vielfach angestellt worden. Vor allem hat Ostwald auf Grund physiologischer Befunde und direkter Experimente eine zweidimensionale Darstellung gegeben, die sich bewährt hat. Eine andere Methode dachte Schrödinger aus; sie ist besonders mathematisch interessant, weil dabei die allgemeinen Formeln der Riemannschen Metrik zur Geltung kommen.

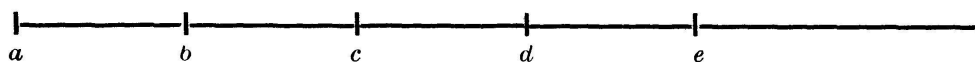
Ich möchte Ihnen nun zeigen, wie man mit Hilfe der heutigen mathematischen Begriffe aus den Symmetrieeigenschaften einen Raum aufbauen kann. Dadurch wird es möglich sein, einen gewissen Einblick in unsere derzeitige mathematische Denkweise zu gewinnen. Unsere Aufgabe ist ja nicht die, möglichst komplizierte Begriffsgebäude aufzustellen, sondern vielmehr einfache, aber kräftige Anschauungen zu entdecken. Freilich muss ich gleich von vorneherein bemerken, dass die zugehörigen Versuche noch nicht angestellt worden sind. Nun weiss jeder, der sich von der mathematischen Seite her mit der Physik befasst hat, dass die Prüfung durch Experimente eine sehr schwierige Sache ist; stets treten unvorhergesehene Ereignisse ein, und die Unsumme von Ausdauer und Erfindungsgeist, die zu ihrer Überwindung nötig ist, kann man nicht im Nebenamt aufbringen. Die Mathematik kann wohl, um mit Leibniz zu reden, das Licht anstecken, aber die eigentliche Forschungsreise muss sie Fachleuten überlassen, welche solcher Arbeit ihr Leben widmen.

Die grosse Schwierigkeit, welche sich einer Metrik der Farben entgegenstellt, beruht auf dem Fehlen eines beweglichen Maßstabes. Im gewöhnlichen Raum bildet jeder starre Körper ein Messinstrument; aber wo haben wir in der Farbenwelt etwas Derartiges? Wie können wir sagen: dieses Grün ist von diesem Blau gleich weit entfernt, wie dieses Orange von diesem Rot? Und doch ist es möglich, eine Strecke in der Farbenwelt sogar parallel zu sich selbst zu verschieben, indem man nur die Gleichheit von Farben beobachtet und ferner voraussetzt, dass man für benachbarte Farben die Gleichheit der Intensität feststellen kann.

Unser Auge ist nicht fähig, eine Farbe in ihre Bestandteile zu zerlegen. Projizieren wir an dieselbe Stelle gleichzeitig Blau und Grün, so erhalten wir eine Zwischenfarbe. Das Ohr dagegen hört, wenn wir den Ton *C* mit dem Ton *E* mischen, einen Zwei-

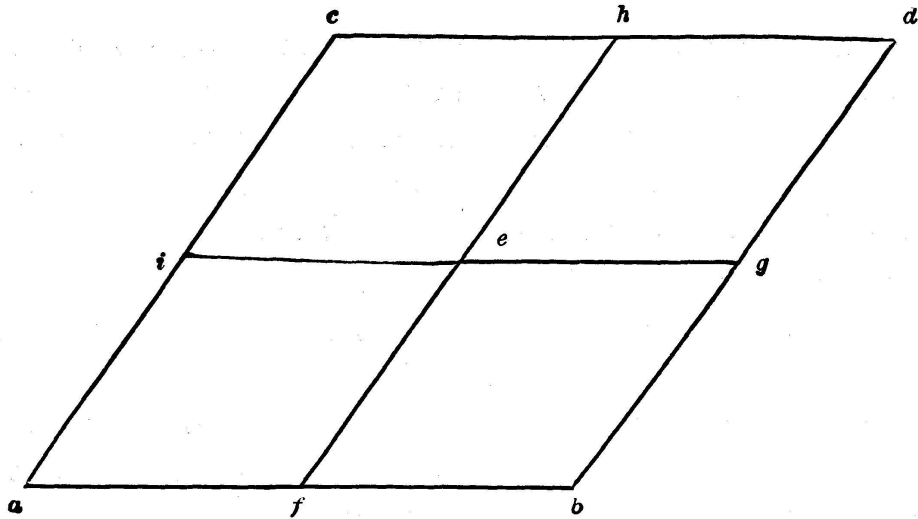
klang, nämlich die Terz CE , und nicht etwa den Zwischenton D . Dieser Mangel des Auges wird mehr als ausgeglichen durch die Fähigkeit, eine ganze zweidimensionale, mannigfach gefärbte Fläche gleichzeitig zu überblicken. Derselbe Mangel gestattet uns aber merkwürdigerweise, eine Metrik einzuführen.

Wir denken uns die beiden Farben Blau und Grün, die ich lieber mit a und c bezeichne, in gleicher Intensität gemischt. Es ist alsdann naheliegend, das entstehende Blaugrün, die Farbe b , als den Mittelpunkt der Strecke $a-c$ zu deuten. Wir können sagen, c entsteht aus a durch Spiegelung an b . Wir haben damit die Strecke von a nach b um sich selbst verlängert. Nun werden wir dieses Verfahren fortsetzen und versuchen, b an c zu spiegeln, d. h. diejenige Farbe d zu suchen, welche mit b gemischt c erzeugt. Man erhält auf diese Weise eine gerade Punktreihe, welche aus gleichlangen Strecken ab , bc , cd , de usw. gebildet wird. Beim Versuch müsste man die Farben sehr nahe aneinander wählen,



wie die Chemie dies heute gestattet. Sehr bald wird man ans Ende kommen, eine Fortsetzung wird nicht mehr möglich sein. Bilden diese Punkte eine Euklidische Gerade? Das kann man prüfen! Wir projizieren die Farbe a sehr stark, e dagegen sehr schwach und erhalten zunächst eine Mischung, die nahe bei a liegt. Nun schwächen wir a ab, verstärken dagegen e . Die Mischfarbe wird von a nach e wandern, und unterwegs müssten die Farben b , c , d erscheinen. Wenn dies der Fall ist, so ist die Gerade Euklidisch. Dieser Versuch setzt keine Aussage über gleiche Intensität voraus. Auf diese Weise kann man sich, ausgehend von irgendeinem Farbenpaar, geradeswegs an den Rand des Farbenraumes tasten.

Nun weiss man aber schon lange, dass die Farben eine mindestens zweidimensionale Mannigfaltigkeit bilden. Dies führt zu folgendem Verfahren, um zu entscheiden, ob sie Euklidisch ist oder ob man andere Geometrien verwenden muss. Man beginnt mit drei Farben a , b , c , welche nicht auf derselben Geraden liegen. Nun suche man eine vierte Farbe d , welche mit a gemischt dieselbe Farbe ergibt, wie die Mischung von b und c , sie heisse e . Hierauf mische man a mit b , b mit d , d mit c und c mit a und erhalte die Farben f , g , h und i .



Diese neun Farben würden genügen, um die Natur der Ebene festzustellen. Im Euklidischen Fall müssten nämlich zwei Kontrollen stimmen :

Die Mischung von f und h müsste e ergeben.

Die Mischung von g und i müsste ebenfalls e ergeben.

Ist die Intensität der Farben nicht festgestellt, so ist damit wenigstens bewiesen, dass für die Farben die Schwerpunktsrechnung gilt. Falls man aber durch irgendein Mittel die gleiche Intensität der vier Ausgangsfarben konstatiert hat, so ist es darüber hinaus noch gelungen, die Ausgangsstrecke $a-f$ parallel zu sich selbst zu verschieben und an die Punkte f, i, e, c, h anzuhängen. Dasselbe gälte von der Strecke $a-i$.

Wenn die metrische Grundlage geschaffen ist, so könnte man an die überaus fesselnden Probleme, die man durch die Beziehungen von Farbe zu Farbe erhält und die das Analogon zur Perspektive bilden, herantreten. Trotzdem die Maler sie von jeher studiert haben, ist darüber in der Wissenschaft noch wenig bekannt. Liest man etwa Floerkes Erinnerungen an Böcklin, so erfährt man, wie intensiv und bewusst der Maler die Farben aufgetragen hat; aber wenn man nach den Gesetzen selber fragt, die Böcklin bei seinen Vorgängern gefunden oder selber neu entdeckt hat, so geht man leer aus. Um Geheimnistuerei handelt es sich dabei nicht; es fehlt offenbar noch das Organ für die Mitteilung. Doch handelt es sich dabei um Vorgänge äusserster Präzision. Wird im verdunkelten Raum eine rötliche Farbe projiziert — Paul Scherrer führte dieses Experiment kürzlich glänzend vor — und umgibt man sie hierauf mit einem weissen Rahmen, so wandelt sie sich in ein starkes Braun. Wird der Rahmen wieder ausgelöscht, so erscheint die alte

Farbe wieder ebenso unmittelbar. Es kann sich dabei nicht um eine Ermüdungserscheinung handeln, denn dann wäre die Reaktion des Auges nicht so präzise; vielmehr steckt eine noch verborgene Gesetzmässigkeit dahinter, die so genau ist wie die Perspektive. Die Formulierung Goethes trifft sicher das Richtige: Wenn man dem Auge rot bietet, so fordert es grün. Der Mensch, dessen Lebenspulse frisch lebendig schlagen, sagt nach Goethes Meinung zum Augenblicke nicht: Verweile doch!

Durch die räumliche Deutung der Aussenwelt ist der Wissenschaft ein unermessliches Feld gewonnen, dessen Grenzen noch nicht abgesteckt sind. Aber wir dürfen nicht vergessen, dass sie nur einen Teil unserer Anschauung erfasst, dass sie eine Abstraktion darstellt. Nicht alles ist räumlich; das Ich, das Leben sind unteilbare Dinge, Individuen, während alles Räumliche unbeschränkt teilbar ist. Bei der Erklärung von Lebensvorgängen erheben sich unübersteigbare Hindernisse, die schon in der Raumvorstellung selber gegründet sind: Alles Räumliche ist als solches blosser Gegenstand, blosses Objekt, niemals ein Subjekt. Wenn in den biologischen Wissenschaften eine Untersuchung ans Ziel gelangt, so zeigt sie das Ganze oft als einen mechanischen Prozess, der Erfolg hebt sich dann selber auf. Das Individuum kann räumlich erscheinen, nämlich als Form oder Gestalt, die ja ein unteilbares Ganzes ist. Die Bemühungen der Biologen sind mit Recht auch der Morphologie zugewandt, der Raum als vollkommener Kristall ist gleichzeitig der beste Träger für Formen.

Aber der Mensch und die Tiere sind nun einmal Spezialisten, die sich auf gewisse Dinge unglaublich gut verstehen, den Rest gar nicht sehen. Der Polynesischer Seefahrer erkennt durch einen Blick auf die Meeresfläche die Nachbarschaft einer Insel, bevor er sie sieht. Das Männchen des Schmetterlings Totenkopf wittert das Weibchen auf eine Entfernung von Kilometern, ungetrückt von weiterer Sachkenntnis. Aufgabe der Wissenschaft ist es, uns vom Spezialistentum, in dem der Mensch von Kindheit an lebt, zu befreien und uns ein umfassenderes Verständnis der Dinge zu geben. Der Naturforscher, sei er nun Botaniker, Zoologe oder Petrograph, lebt der Natur viel näher als der primitivste Eingeborene.

Der Weg der Wissenschaft führt von der Abstraktion des Praktikers zur Konkretion des Theoretikers; er steht jedermann offen, ans Ende wird man nie gelangen.

Neuere Ergebnisse kernphysikalischer Forschung

Von

Prof. Dr. P. SCHERRER

1. Kernbausteine und Kernkräfte

Die Physiker sind heute der Ansicht, dass das ganze materielle Naturgeschehen auf die durch Felder vermittelte Wechselwirkung weniger einfacher Elementarbausteine der Materie zurückgeführt werden könne. Diese *Elementarteilchen*, denen wir nach der Wellenmechanik zugleich Korpuskel- und Wellennatur zuschreiben müssen, teilen wir willkürlich in leichte und schwere Teilchen ein.

Zur Gruppe der *leichten Elementarteilchen* gehören vor allem die *Elektronen*. Sie kommen sowohl negativ geladen als Negatonen $-e$, als auch positiv geladen als Positonen $+e$ vor. Die Masse eines Elektrons beträgt in Atomgewichtseinheiten 0,000543. (Masse des Sauerstoffatoms willkürlich = 16,000 gesetzt.) Ein Elektron ist also zirka 2000mal leichter als ein Wasserstoffatom. Neben diesen leichten Elektronen existieren die sogenannten *Mesonen* oder schweren Elektronen. Sie tragen dieselben Ladungen wie die Elektronen, sind aber zirka 160mal schwerer als diese. Zu den leichten Teilchen wollen wir auch die Lichtquanten oder *Photonen* zählen: Das sind die Elementarteilchen, welche die Energieübertragung bei allen Arten elektromagnetischer Strahlung vermitteln, also bei γ -Strahlen, Röntgenlicht, ultravioletter, sichtbarem und ultrarotem Licht. Als letztes bekanntes leichtes Teilchen ist noch das hypothetische *Neutrino* zu nennen, dessen Existenz nur indirekt aus Experimenten erschlossen wird und das bis jetzt nicht direkt sichtbar gemacht werden kann. Photonen und Neutrini sind ungeladen und haben die Ruhmasse null, d. h. sie existieren nur in

Bewegung, und ihre Masse ist einfach durch ihre kinetische Energie (resp. ihren Impuls) bedingt.

Daneben kennen wir zwei *schwere Elementarteilchen*, nämlich das *Proton* p und das *Neutron* n . Das Proton besitzt dieselbe positive Ladung wie das positive Elektron, das Neutron ist ungeladen. Die beiden Teilchen haben in Atomgewichtseinheiten ungefähr die Masse 1, d. h. sie sind ziemlich genau gleich schwer wie das Wasserstoffatom.

Alle diese Elementarteilchen besitzen einen Drall, dessen Betrag für die Teilchen, genau wie z. B. ihre Masse oder ihre Ladung, charakteristisch ist. Der Drall ist quantisiert und ist ein ganzes Vielfaches einer naturgegebenen Grundeinheit

$$\frac{h}{4\pi} = \frac{\text{Planckkonst.}}{4\pi}.$$

Unter diesen Bausteinen der Materie darf man sich aber nicht unzerstörbare, unveränderliche Teilchen vorstellen, deren Zahl in der Natur konstant bleibt; es gibt mannigfache *Umwandlungsprozesse*, welche die Elementarteilchen ineinander überführen: Bei der « *Paarerzeugung* oder *Materialisation* des Lichts » verwandelt sich ein Proton (z. B. ein Lichtquant der γ -Strahlung, das dabei verschwindet) in ein Elektronenpaar $+\varepsilon$ und $-\varepsilon$. Bei diesen Umwandlungsprozessen gelten die Erhaltungssätze für elektrische Ladung und für Masse + Energie: d. h. es entsteht immer ein + und ein —Elektron zugleich, und die Energie des Lichtquants findet sich genau wieder in der Masse und der kinetischen Energie des gebildeten Elektronenpaares. (Wir haben hier einen schönen experimentellen Beweis für die Äquivalenz von Energie und Masse. Masse und Energie sind nur verschiedene Namen für dieselbe Naturgrösse: deswegen gibt es einen festen Umrechnungsfaktor zwischen den beiden Grössen:

$$\text{Masse} = \frac{\text{Energie}}{[\text{Lichtgeschwindigkeit}]^2}.)$$

Der Umkehrprozess zur Paarerzeugung ist die « *Annihilation der Materie* » oder *Paarvernichtung*, bei welchem sich ein + und ein —Elektron in, gewöhnlich zwei, Lichtquanten auflösen, wobei die Ladung der Elektronen spurlos verschwindet. Die Paarvernichtung ist der Grund dafür, dass positive Elektronen nur vorübergehend vorkommen: sie finden in der Materie stets negative

Elektronen und zerstrahlen. Ebenso kann das *Meson* sich spontan, nach Art eines radioaktiven Prozesses, in ein gewöhnliches Elektron und ein Neutrino umwandeln. Dieser Prozess wird in der Höhenstrahlung, wo das Meson frei vorkommt, häufig beobachtet.

Auch zwischen den beiden schweren Elementarteilchen, dem Proton und dem Neutron, gibt es Übergänge. Es sind dies die sogenannten β -Prozesse, bei welchen die β -Strahlen der radioaktiven Elemente entstehen: Das Neutron kann sich spontan in ein Proton umwandeln, wobei ein negatives Elektron und ein Neutrino ausgesandt werden. Da die Masse des Neutrons 1,00895 beträgt, ist sie hinreichend, um diejenige des entstehenden Protons und Elektrons (1,00759 resp. 0,00054) zu decken. Es bleibt noch ein Masseüberschuss, welcher als kinetische Energie dem Elektron und dem Neutrino zugute kommt. Auch das Proton kann sich, allerdings nur unter Energiezufuhr, in ein Neutron und ein positives Elektron umwandeln.

Das Atom ist, wie wir seit Rutherfords klassischen Untersuchungen sicher wissen, ein « *Kernatom* ». Es besteht aus einem kleinen, schweren und positiv geladenen *Kern*, welcher von der weit ausgedehnten, nur die leichten negativen Elektronen enthaltenden *Hülle* umgeben ist. Der Kern enthält nur schwere Elementarteilchen, Protonen und Neutronen, er enthält keine Elektronen. Aus der Tatsache, dass das Atomgewicht von Proton und Neutron fast genau 1 ist, erklärt sich die ziemlich genaue Ganzzahligkeit der Atomgewichte der einzelnen Atomsorten. Die Zahl Z der Protonen, welche die Ladung des Kerns bestimmt, ist gleich der Atomnummer des Elementes im periodischen System. Diese *positive Kernladung* ist deshalb absolut ausschlaggebend für das *chemische Verhalten* des Atoms, weil sie die Zahl und Anordnung der negativen Elektronen in der Atomhülle bestimmt und die chemischen Prozesse sich ja ausschliesslich in der Elektronenhülle abspielen. Die Zahl der Neutronen im Kern ist ungefähr gleich der der Protonen, bei schweren Elementen etwas grösser. Um die Zahl der Protonen und Neutronen in einem Kern direkt ablesen zu können, wird die Zahl der Protonen links unten neben das chemische Symbol des Elementes gesetzt und das rohe Atomgewicht (Zahl der Protonen + Zahl der Neutronen) rechts oben vermerkt. Z. B. bedeutet O^{16} einen Sauerstoffkern, der acht Protonen und acht Neutronen enthält, dessen rohes Atomgewicht also 16 beträgt.

Die positiven Protonen des Kerns müssen sich nach dem Coulombschen Gesetz bei den kleinen Abständen von der Grössenordnung $3 \cdot 10^{-13}$ cm, die ihnen im Kern zur Verfügung stehen, äusserst stark abstossen. Diese Abstossung erreicht für ein mittleres Atomgewicht zirka 20 kg-Gewicht für ein Proton, das ist für ein so kleines Gebilde eine ungeheure Kraft. Infolge dieser Abstossung würde der Atomkern auseinanderfliegen, wenn nicht starke Anziehungskräfte zwischen den Kernbestandteilen wirksam wären. Tatsächlich wissen wir heute, dass zwischen den Kernbausteinen primär eine ungeheuer starke, aber äusserst kurzreichweitige Anziehungskraft vorhanden ist; diese Anziehungskraft hat mit der elektrischen Coulomb-Wechselwirkung nichts zu tun. Die Theorie dieser Kernkräfte wird heute ausserordentlich intensiv bearbeitet. Es ist äusserst wahrscheinlich, dass diese Kräfte den Charakter von Austauschkräften haben. Solche kurzreichweitige Austauschkräfte, die allein auf Grund der klassischen Partikelvorstellung überhaupt nicht verstanden werden können, ergeben sich bei einer konsequenten Anwendung der Quantenmechanik « von selbst ». Die Anziehung zwischen Proton und Neutron zum Beispiel kommt dadurch zustande, dass in sehr rascher Folge die Ladung des Protons auf das Neutron übergeht und das Proton dadurch zum Neutron wird und umgekehrt. In ähnlicher, jedoch komplizierterer Weise ziehen sich auch Proton-Proton und Neutron-Neutron an. Die elektrische Coulomb-Abstossung der Protonen ist dieser Anziehung einfach überlagert. Solche Platzwechselkräfte spielen auch bei der chemischen Bindung eine Rolle; die starke Anziehung der zwei Wasserstoffatome im Wasserstoffmolekül wird durch den raschen Platzwechsel der beiden Hüllenelektronen des Wasserstoffmoleküls quantitativ erklärt.

Beim Aufbau eines Atomkerns aus Proton und Neutron wird wegen dieser starken Anziehung zwischen den Kernbausteinen sehr viel Energie frei; dieselbe Energie würde man wieder aufwenden müssen, um einen Atomkern in seine Bestandteile zu zerreißen.

Für einfache Überlegungen stellt man sich den Atomkern am besten als ein geladenes, kleines *Flüssigkeitströpfchen* vor. Genau wie im gewöhnlichen Flüssigkeitstropfen die Moleküle infolge ihrer gegenseitigen Anziehung (Van der Waals-Kräfte) zusammenhalten, so halten auch Protonen und Neutronen infolge ihrer Anziehung

zusammen. Bei der Anlagerung eines Wassermoleküls an ein Wassertröpfchen gewinnt man Energie, es wird die Kondensationswärme frei. Umgekehrt muss man beim Verdampfen eines Moleküls vom Tröpfchen weg die Verdampfungswärme aufwenden. Diese Energie beträgt pro Wassermolekül 0,4 eV.¹ Analog gewinnt man bei der Anlagerung eines Neutrons oder Protons an einen Atomkern infolge der kurzreichweitigen Kernkraft einen grossen Energiebetrag als « Kondensationswärme ». Allerdings ist derselbe viel grösser als im Falle eines Wassermoleküls, nämlich zirka 8 Millionen eV. Die Anlagerungsenergie eines Kernbausteins wird oft in Form von γ -Strahlen vom Kern ausgesandt, oft aber erleidet der Kern nach Anlagerung eines Protons oder Neutrons andere, radioaktive Umwandlungen, bei denen die Anlagerungsenergie wieder frei wird.

Die beim Aufbau eines Kerns freiwerdenden Energien sind so gross, dass sie leicht wägbare Beträge erreichen und direkt als sogenannter « *Massendefekt* » in Erscheinung treten: Der Kern wiegt weniger als die ihn zusammensetzenden Bestandteile: Ein Teil der Masse ist eben bei der Bindung als Energie fortgegangen. So beträgt z. B. die Masse der vier Elementarteilchen, 2 Protonen und 2 Neutronen, aus denen der Heliumkern aufgebaut ist, 4,03308 Atomgewichtseinheiten, während der Heliumkern nur 4,00276 Atomgewichtseinheiten wiegt. Die Massendifferenz, zirka $30,3 \frac{\text{mg}}{\text{Mol He}}$, ist also bei der Bindung in Form von Energie ausgestrahlt worden. Dieser freigewordene Energiebetrag entspricht nach dem Äquivalenzprinzip von Energie und Masse ungefähr 28 Millionen eV/He-Kern oder 600,000,000 Kcal/ 4 g He. Berechnet man auf Grund des Tröpfchenmodelles die Bindungsenergien für verschiedene Atomkerne, indem man nur kurzreichweitige Anziehung und Coulomb-Abstossung berücksichtigt, so erhält man sehr gute Uebereinstimmung zwischen den berechneten und beobachteten Massendefekten.

Man kann sich nun durch Zusammenlagerung einer beliebigen Zahl von Protonen und Neutronen Kerne aufgebaut denken und

¹ In der Kernphysik rechnet man immer mit dem Elektronvolt, eV, als Energie-Einheit. 1 eV ist die Energie, welche ein Elektron beim Durchfallen einer Potentialdifferenz von 1 Volt erhält: $1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Coulb.Volt} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Joule} = 1,6 \cdot 10^{-12} \text{ erg} \dots 10^6 \text{ eV} = 1 \text{ MeV}$.

fragen, ob diese Kerne in der Natur vorkommen. Tatsächlich gibt es zwischen dem leichtesten Element, dem Wasserstoff, und dem schwersten, dem Uran, nur etwa 285 *stabile Atomkernsorten*. Die meisten Kerne, welche wir ad hoc aufbauen, sind instabil: sie gehen von selbst in stabile Kerne tieferer Energie über. Es gilt auch hier dasselbe Gleichgewichtsprinzip wie in der Statik, nämlich der Satz, dass der Gleichgewichtszustand des Kerns der Zustand der tiefsten Energie ist.

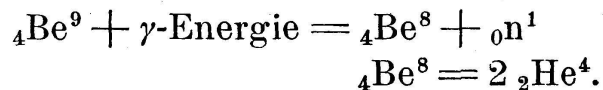
Denken wir uns einmal einen Kern aus sieben Neutronen aufgebaut, so hält diese Anordnung von Teilchen zunächst fest zusammen, weil die Neutronen sich ja äusserst stark anziehen. Es gibt aber einen energetisch tieferen Zustand, in welchen dieser Kern übergehen wird: einige der Neutronen müssen sich in Protonen verwandeln, wobei negative Elektronen abgespalten werden und Energie frei wird. Unser nur aus Neutronen bestehender Kern würde in einen stabilen Lithiumkern ${}_3\text{Li}^7$, bestehend aus drei Protonen und vier Neutronen, übergehen. Weil mit wachsender Kernladung infolge der grösser werdenden Coulomb-Energie sich die Kernenergie wieder erhöht, gehen nicht *alle* Neutronen in Protonen über, sondern nur deren drei. Auch ein Kern, den wir uns aus lauter Protonen aufgebaut denken, wäre nicht stabil. Er könnte, ebenfalls unter Energieabgabe, in den ${}_3\text{Li}^7$ -Kern übergehen, indem sich vier Protonen unter Emission von positiven Elektronen in Neutronen umwandeln. Der Übergang Proton—Neutron erfordert zwar etwas Energie, aber diese Energie könnte dem Coulombschen Energievorrat, der sich ja bei Abnahme der Ladung vermindert, entnommen werden. Auch wird die Packung des Kerns bei Abnahme der Coulomb-Abstossung unter Energieabgabe etwas dichter.

Ausser der durch die Kräfte bedingten potentiellen Energien besitzen die Kernbausteine auch grosse kinetische Energien. Ähnlich den Elektronen der Hülle, die sich ja auch in einer starken, durch die Gesetze der Quantenmechanik bestimmten Bewegung befinden, ist auch die kinetische Energie von Protonen und Neutronen im Kern sehr gross. Man versinnbildlicht sich diese Energien oft dadurch, dass man die sogenannte Entartungstemperatur der Bewegung angibt. In einem Wassertropfen von Zimmertemperatur wäre die Translationsenergie eines Moleküls $\simeq 10^{-14}$ erg, entsprechend einer Temperatur von 300° abs. In der Elektronen-

hülle beträgt die mittlere Energie eines Elektrons zirka 10^{-9} erg entsprechend einer « scheinbaren Temperatur » von 10^7 °. Im Kern beträgt die Translationsenergie eines Teilchens zirka 10^{-5} erg entsprechend einer scheinbaren Temperatur von 10^{11} ° abs. Diese enorme « Entartungstemperatur » erklärt die Tatsache, dass man den Kern mit den uns zur Verfügung stehenden Temperaturen überhaupt nicht beeinflussen kann.

2. Kernumwandlung

a) Im Prinzip kann man eine Kernumwandlung hervorbringen durch blosse *Energiezufuhr*. Genau so, wie bei einem Wassertropfchen durch Erwärmung einige Wassermoleküle verdampfen, so können auch beim Kern durch Energiezufuhr Neutronen oder Protonen zur « Verdampfung » gebracht werden. Nur müssen die Energiebeträge beim Kern natürlich ganz bedeutend grösser sein. Zum Beispiel lässt sich durch Bestrahlung des Beryllium-Atomkerns mit γ -Strahlen des Radiums ein Neutron verdampfen, nach dem Schema :



Aus dem Berylliumkern mit dem Atomgewicht 9 entstehen der isotope Berylliumkern mit dem Atomgewicht 8 und ein Neutron. Beryllium 8 ist instabil und spaltet in zwei Heliumkerne auf. Dieser sogenannte « Kernphotoeffekt » ist bei sehr vielen Kernen beobachtet worden. Leider sind die natürlichen γ -Strahlen wenig energiereich (max. 2,62 MeV); man kann aber heute mit Hilfe von Atomumwandlungsprozessen sehr energiereiche γ -Strahlen von 17 MeV herstellen, welche für diese Prozesse viel geeigneter sind.

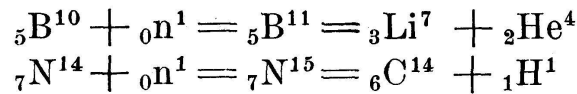
b) Eine andere Kernreaktion ist die einfache *Anlagerung eines Neutrons* an einen vorhandenen stabilen Atomkern. Z. B. kann man so aus leichtem Wasserstoff sogenannten « schweren Wasserstoff » oder Deuterium vom Atomgewicht 2 herstellen nach dem Schema :



Bei dieser Anlagerung wird die Energie in Form von Photonen (γ -Strahlen) frei.

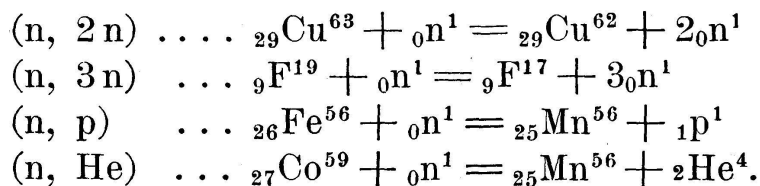
c) Neutronen-Einbau in einen bestehenden Kern führt häufig auch zu sogenannten *Austauschreaktionen* : Die Anlagerung des

langsamen Neutrons führt zu einem Zwischenkern, der nicht stabil ist, sondern sofort in zwei Teile zerfällt. Beispiele für solche Prozesse sind :



(Das Neutron wird im ersten Fall gegen einen He-Kern, im zweiten Fall gegen ein Proton ausgetauscht.) Die Zwischenkerne sind nicht die gewöhnlichen Bor¹¹- und Stickstoff¹⁵-Kerne, welche auch stabil vorkommen, sondern « angeregte Kerne », welche beim Neutron-Einbau einen Energieüberschuss bekommen haben. Ein solcher angeregter Kern ist vergleichbar einem überhitzten Wassertropfen. Genau wie ein solches plötzlich teilweise verdampft, stösst der angeregte Kern ein Teilchen ab. Er kann auch unter Aussendung von γ -Quanten in den Grundzustand übergehen, doch ist dies seltener.

d) Durch Beschiessung mit sehr *schnellen* energiereichen *Neutronen* kann man natürlich jeden Kern auf mannigfache Weise zum Zerfall bringen. Die Energie des hineingeschossenen Neutrons « erhitzt » den Kern so stark, dass er zum Teil « verdampft ». So gibt es (n, 2 n)- oder (n, 3 n)-Reaktionen, bei welchen ein Neutron hineingeschossen und dadurch zwei oder drei Neutronen zur Verdampfung gebracht werden. Ebenso sind sehr viele (n, p)-, (n, d)- und (n, He)-Reaktionen bekannt, das sind Prozesse, wo ein Neutron in den Kern hineingeschossen wird und dieses gegen ein Proton p, gegen ein Deuteron d oder gegen ein He-Teilchen He ausgetauscht wird. Je nach dem Kern sind natürlich die Energieverhältnisse ganz verschieden. Beispiele :



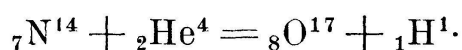
Diese Kernumwandlungen mit schnellen und langsamen Neutronen sind wohl im Prinzip die einfachsten. Das Neutron, welches sich einem Kern nähert, erfährt keine Kraft, bis es in unmittelbare Nähe des Atomkerns gelangt. Dann erst wird es von der oben besprochenen Kernkraft erfasst und in den Kern hineingerissen. Nun stehen dem Physiker aber für Kernumwandlungen nicht ohne weiteres Neutronen zur Verfügung, denn diese kommen

nicht frei in der Natur vor: Freie Neutronen haben ja in der Materie nur eine kurze Lebensdauer, weil sie von Atomkernen gierig verschluckt werden.

e) Der Physiker muss für seine Atomumwandlungsprozesse von natürlich vorkommenden stabilen Atomkernen ausgehen. Er muss sie zur Berührung bringen, damit sie miteinander reagieren und Bestandteile austauschen können.

Wegen der positiven Ladungen der Atomkerne stossen sich diese gegenseitig stark ab, und zur Überwindung der Abstossung müssen die Kerne grosse kinetische Energien zur Verfügung haben: Wir kennen leider bis heute kein anderes Mittel, die Kerne zur Berührung zu bringen, als die primitive *Beschiessung ruhender Atomkerne* mit äusserst rasch bewegten anderen Atomkernen. Die Benützung dieser rasanten Geschosse zur künstlichen Atomumwandlung hat zur Vorstellung von der « *Atom-Zertrümmerung* » geführt, obwohl natürlich solche Kernreaktionen auch eintreten würden, wenn man zwei Kerne mit grosser Kraft, aber ohne jede Geschwindigkeit zur Berührung bringen würde. Man spricht also besser von Kernreaktionen als von Atomzertrümmerungen.

Die erste Atomumwandlung dieser Art wurde von Rutherford durchgeführt: er benützte die schnellen ${}_2\text{He}^4$ -Kerne, welche vom RaC' als α -Strahlen ausgesandt werden und die eine Energie von $7,83 \text{ MeV}^1$ besitzen, zur Beschiessung von Stickstoff, und er konnte folgende Kernreaktionen beobachten:



Mit α -Strahlen gelingt es, bei sehr vielen leichten Elementen Kernreaktionen hervorzubringen. Bei der Untersuchung dieser Prozesse hat die Wilsonsche Nebelkammer unschätzbare Dienste geleistet, weil sie gestattet, die Bahnen der an den Reaktionen beteiligten Kerne direkt sichtbar zu machen und die Energien und Impulse der Teilchen zu messen.

Will man die für Kernreaktionen nötigen schnell fliegenden Atomkerne *künstlich* herstellen, so muss man Apparaturen haben, in welchen Atomkerne mittels sehr hoher Spannungen beschleunigt werden. Es sind in den letzten Jahren eine grosse Reihe von

¹ Ein solcher He-Kern hat zirka $\frac{1}{15}$ der Lichtgeschwindigkeit, d. h. $20,000 \text{ km/Sek.} = 72,000,000 \text{ km/h.}$

Anlagen gebaut worden, in denen mit Hilfe von *Transformatoren und Gleichrichtern* oder nach dem *elektrostatischen* Prinzip mit schnell laufenden Bändern hohe Gleichspannungen von mehreren Millionen Volt erzeugt werden können. In Kanalstrahlröhren werden dann Teilchenstrahlen, bei welchen die Einzelteilchen Energien von mehreren Millionen eV erhalten, hergestellt. Vorläufig liegt die Grenze solcher Anlagen bei etwa 4 Millionen Volt.

Eleganter und wirkungsvoller ist als Höchstgeschwindigkeits-generator das *Cyclotron*, bei dem eine relativ niedrige, aber hochfrequente Wechselspannung mehrmals hintereinander denselben Atomkern beschleunigt. Das immer schneller fliegende Teilchen muss dabei stets wieder im richtigen Synchronismus in das beschleunigende elektrische Wechselfeld zurückgelenkt werden. Diese Umlenkung geschieht durch ein starkes Magnetfeld.

Die Eidgenössische Technische Hochschule besitzt ein Cyclotron, mit welchem Deutonen auf 14 MeV und α -Teilchen auf 24 MeV beschleunigt werden können. Der von M. F. O.¹ gebaute Magnet wiegt 40 Tonnen. Er hat einen Poldurchmesser von 90 cm und gibt bei einer Poldistanz von 15 cm eine Feldstärke von 18,000 Amp./cm. Die Erregerleistung des Magneten beträgt 200 kW.

Die *Hochfrequenzanlage* des Cyclotrons wurde von B. B. C.² gebaut. Es handelt sich um einen Kurzwellengenerator mit einer Leistung von 40 kW bei 20 m Wellenlänge: In einer Steuerstufe werden elektrische Schwingungen erzeugt, deren Frequenz durch passende Massregeln besonders konstant gehalten wird. In zwei weiteren Stufen wird diese Erregerschwingung unter zweimaliger Frequenzverdopplung verstärkt und dabei die nötige Steuerleistung von zirka 1 kW für die Endstufe erreicht.

Die Endstufe enthält zwei demontierbare, nicht abgeschmolzene B. B. C.-Hochleistungsröhren. Es handelt sich dabei um wassergekühlte, durch Holweck-Pumpen evakuierte Trioden. Sie arbeiten in Gegentaktschaltung Klasse C.

Die Cyclotronkammer wurde im Physikalischen Institut der E. T. H. entworfen. Sie weist gegenüber bekannten Konstruktionen wesentliche Änderungen auf. Der Hochfrequenzteil in der Kammer, mit den Beschleunigungselektroden, ist als verkürztes Lecher-

¹ Maschinenfabrik Oerlikon, Oerlikon.

² Brown Boveri, Baden.

System von der effektiven Länge $\frac{\lambda}{2}$ ausgebildet. Diese Anordnung bringt eine Reihe von Vorteilen mit sich: 1. eine symmetrische Spannungsverteilung längs des Beschleunigungsspalt, 2. die Möglichkeit einer stabilen Befestigung der Elektroden unter Wegfall von Isolatoren (die beiden Enden des Systems befinden sich auf Erdpotential), 3. Möglichkeit einer genauen Anpassung des Systems an die Energiezuleitung, 4. die Hochfrequenz wird an einer Stelle eingeführt, wo die Spannung am Lecher-System zirka 25mal niedriger ist, als an den Ablenkelektroden; das Lecher-System wirkt also als Transformator für die Ablenkspannung. Die Ionen werden in einer kleinen Gaskammer durch einen Nieder-voltbogen erzeugt. Die ganze Beschleunigungskammer wird durch eine im Institut gebaute, selbsttätig fraktionierende Ölpumpe von 1000 Liter/Sek. Saugleistung evakuiert.

Das grösste bisher gebaute Cyclotron (in Berkeley, Kalifornien) hat einen Magneten von 400 Tonnen Gewicht und 2,5 m Poldurchmesser. Mit dieser Apparatur wurden schnelle Deutonen von 16 MeV und He-Kerne von 32 MeV Energie erhalten. Das Cyclotron dient namentlich auch als stärkste Neutronenquelle und zur Herstellung künstlich radioaktiver Substanzen. Meist wird die Kernreaktion ${}_3\text{Li}^7 + {}_1\text{D}^2 = {}_2\text{He} + {}_0\text{n}^1$ zur Neutronenherstellung benutzt, die eine sehr hohe Ausbeute an Neutronen liefert. Für ein noch grösseres Cyclotron, das hauptsächlich biologischen und medizinischen Zwecken dienen soll und dessen Magnet 4000 Tonnen wiegt, liegt ein Projekt vor; es soll in Berkeley in zirka 3—4 Jahren fertiggestellt werden.

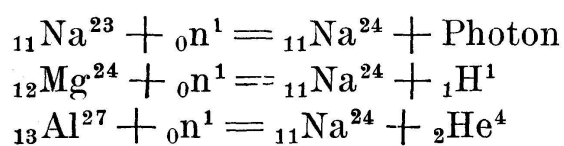
Bis heute wurden mit diesen Apparaturen die mannigfaltigsten Kernreaktionen durchgeführt, Energietönungen gemessen und eine sehr grosse Reihe von neuen, bisher unbekannten Atomarten hergestellt.

3. Künstlich radioaktive Stoffe

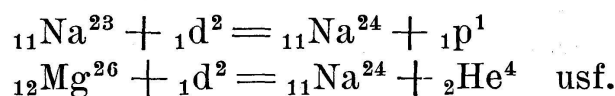
Unter diesen künstlich hergestellten Atomen sind hauptsächlich interessant die *künstlich radioaktiven Atomarten*, von denen heute über 300 bekannt sind: Sehr viele der bei Kernreaktionen entstehenden Atome sind nicht im stabilen Gleichgewicht; sie gehen, meist durch die oben erwähnte Umwandlung von Proton-Neutron oder Neutron-Proton, in stabilere Elemente über. Da-

bei werden positive oder negative Elektronen emittiert, oft auch γ -Strahlen. Sehr interessant ist für den Physiker, dass auch die Herstellung der natürlichen radioaktiven Elemente Radium E (β -Strahler) und Polonium (α -Strahler), ausgehend vom nicht radioaktiven Wismut, gelingt.

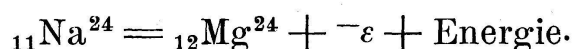
Als Beispiel eines künstlich hergestellten radioaktiven Elementes sei das radioaktive Natrium erwähnt, welches das Atomgewicht 24 hat, während das bekannte stabile Natrium das Atomgewicht 23 besitzt. Man kann dieses Na^{24} durch viele Umwandlungsprozesse herstellen, z. B. mittels Neutronen durch Anlagerung oder Austausch :



oder mittels Deutonen



Das radioaktive ${}_{11}\text{Na}^{24}$ zerfällt als β -Strahler nach dem Schema



Die ausgesandten Elektronen haben eine Energie von maximal 1,4 MeV; daneben werden auch γ -Strahlen beobachtet. Die Halbwertszeit beträgt 14,8 Stunden, d. h. von einem Präparat ist nach zirka 15 Stunden die Hälfte der Atome zerfallen, nach zweimal 15 Stunden ist nur noch ein Viertel der radioaktiven Atome da usf.

Diese künstlich radioaktiven Elemente sind berufen, in der Chemie und namentlich in der Biologie und Medizin eine hochbedeutende Rolle zu spielen. In der Biologie des Stoffwechsels und in der pharmazeutischen Chemie ist wohl seit der Entdeckung des Mikroskops keine so wichtige Erfindung mehr gemacht worden wie diejenige der künstlichen Radioaktivität.

Die Anwendbarkeit der radioaktiven Atome in Chemie und Biologie beruht darauf, dass sich ein radioaktives Element von seinem stabilen Isotop chemisch und physiologisch *überhaupt nicht* unterscheidet, so lange als die Wirkung der radioaktiven Strahlung vernachlässigt werden kann. Das radioaktive Natrium benimmt sich chemisch ganz genau so wie gewöhnliches Natrium.

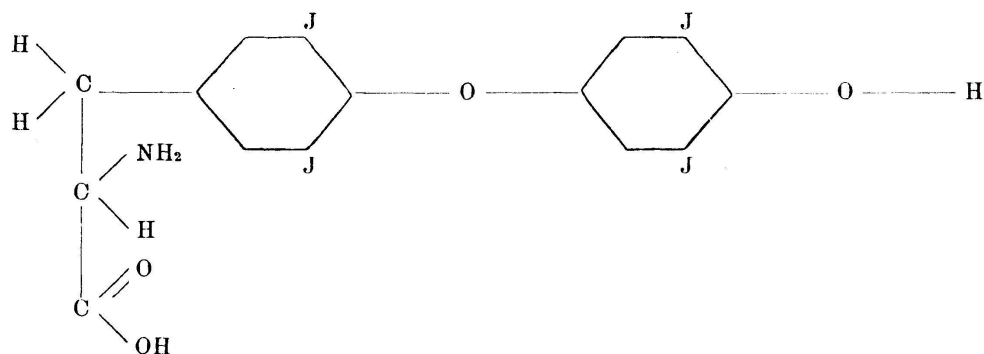
Doch sind Atome des radioaktiven Elementes durch ihre Radioaktivität gezeichnet, sozusagen mit einem kleinen Anhängeschild versehen, an dem man sie jederzeit von den chemisch gleichen, stabilen Atomen unterscheiden kann. Es ist klar, dass man durch radioaktive Messungen leicht die Verteilung in den verschiedenen Geweben verfolgen kann, welche eine kleine Menge von, als NaH_2PO_4 zugeführtem, radioaktivem Phosphor erfährt. Schon vorher im Körper vorhandener, gewöhnlicher Phosphor stört bei diesen Messungen nicht, weil sich der frisch zugeführte durch seine Radioaktivität sofort vom schon vorhandenen Phosphor unterscheiden lässt.

Eines der interessantesten Beispiele der Verwendung dieser markierten Atome bildet die Anwendung radioaktiven Kohlenstoffs bei der Untersuchung des Assimilationsvorganges in der grünen Pflanze. Mit Hilfe der radioaktiven Methode, die ja etwa ein millionmal empfindlicher ist als die chemische Methode, konnte gezeigt werden, dass die klassische Theorie der Assimilation unrichtig ist. Diese klassische Theorie nimmt an, dass CO_2 von der grünen Pflanze nur bei Belichtung aufgenommen und zu Formaldehyd und Sauerstoff reduziert werde: $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{Licht} = \text{CH}_2\text{O} + \text{O}_2$. Mit Hilfe von Kohlensäure, in welcher der Kohlenstoff durch radioaktiven Kohlenstoff ersetzt ist, kann leicht gezeigt werden, dass die Pflanze die Kohlensäure schon *im Dunkeln* bindet, und zwar wird der aus der Kohlensäure stammende radioaktive Kohlenstoff in einer Karbonsäure $\text{R}-\text{C} \begin{smallmatrix} = \text{O} \\ \diagdown \text{OH} \end{smallmatrix}$ quan-

titativ wieder gefunden. R ist dabei ein Radikal vom Molekulargewicht ~ 1000 . Erst unter der Einwirkung des Lichts wird bei Gegenwart von Chlorophyll die COOH -Gruppe dieser Säure zu einer Alkoholgruppe reduziert, wobei Sauerstoff abgespalten wird: $\text{R}-\text{COOH} + \text{H}_2\text{O} + \text{Licht} = \text{RC} \begin{smallmatrix} = \text{H}_2 \\ \diagdown \text{OH} \end{smallmatrix} + \text{O}_2$. Mit Hilfe der radio-

aktiven Messungen kann nachgewiesen werden, dass bei Gerste z. B. die von der Pflanze aufgenommene Kohlensäure in zwei Stunden zu 20 % in Zucker umgewandelt wird. Es ist klar, dass diese Untersuchungen ohne radioaktiven Kohlenstoff niemals hätten durchgeführt werden können. Man hätte ja die aus der Kohlensäure stammenden C-Atome nicht von den vielen schon in der Pflanze vorhandenen C-Atomen unterscheiden können.

Von grosser Wichtigkeit sind die künstlich radioaktiven Elemente auch bei Stoffwechseluntersuchungen beim Menschen geworden. Man kann jetzt durch Einverleibung von Stoffen mit radioaktiv markierten Elementen die Aufnahme, den Transport und die Verarbeitung dieser Stoffe oder Medikamente im Organismus mit Leichtigkeit verfolgen. Dabei braucht man, wegen des hochempfindlichen Nachweises, welcher bei radioaktiven Substanzen mit Hilfe von Zählrohren heute möglich ist, dem Organismus nur äusserst geringe Mengen zuzuführen. Solche Untersuchungen können oft am intakten Körper vorgenommen werden, weil die γ -Strahlen des radioaktiven Elementes infolge ihres grossen Durchdringungsvermögens aus dem Organismus herauskommen und aussen mit Hilfe von Zählrohren nachgewiesen werden können. Als Beispiel sei die Jodaufnahme und -verarbeitung durch die Schilddrüse erwähnt. Es ist bekannt, dass die Jodkonzentration in allen Geweben des menschlichen Körpers, mit Ausnahme der Schilddrüse, ausserordentlich niedrig ist. In der Schilddrüse aber, wo sie 10,000mal grösser ist als anderswo, wird das Jod zu Thyroxin



verarbeitet, einer organischen Jodverbindung, welche die Verbrennungsgeschwindigkeit im Körper regelt: Bei Thyroxin-Mangel wird die Sauerstoffaufnahme des Körpers gering und der ganze Stoffwechsel verlangsamt. Bei übermässiger Thyroxinproduktion werden die Sauerstoffaufnahme und die Verbrennung stark gesteigert. Wenn man dem Körper einige Milligramm Kaliumjodid mit radioaktivem Jod zuführt, so kann man mit Hilfe eines Zählrohres in der Halsgegend die Ankunft des radioaktiven Jods in der Schilddrüse schon nach einigen Minuten feststellen. Bei normalen Versuchsindividuen wird nach ein bis zwei Tagen eine Sättigung der Schilddrüse mit Jod erreicht: ungefähr 4 % des zugeführten Jodes finden sich in der Schilddrüse wieder, während

der Rest vom Körper zum grössten Teil ausgeschieden wird. Bei Personen mit Basedowscher Krankheit, bei denen die Schilddrüse übermässig stark arbeitet, ist die Jodaufnahme äusserst gesteigert. Schon nach wenigen Stunden hat ihre Schilddrüse zirka 12—15 % des zugeführten radioaktiven Jods aufgenommen, aber ebenso rasch wird das Jod, zu Thyroxin verarbeitet, in den Blutkreislauf zurückgeführt, wo es dann den gesteigerten Stoffwechsel hervorruft. Bei Individuen mit unternormaler Schilddrüse bleibt die Jodaufnahme sehr gering.

Die Einlagerung radioaktiver Substanzen in den Körper ist oft äusserst selektiv; so wird z. B. Radiostrontium fast ausschliesslich in den Knochen eingebaut. Es besteht so die Hoffnung, dass man gewisse Organe selektiv radio-therapeutisch behandeln kann, ohne andere Organe zu schädigen; doch liegt bis jetzt noch wenig Versuchsmaterial in dieser Richtung vor. Sehr interessante Versuche existieren über die Aufnahme und den Einbau des Phosphors in Pflanzen, ebenso über den sehr kompliziert, in Stufen verlaufenden Einbau radioaktiven Eisens im Hämoglobin des Bluts.

Natürlich haben die künstlich radioaktiven Stoffe, wie das radioaktive Natrium und der Radiophosphor, von welchen man sehr aktive, starke Präparate herstellen kann, schon grosse Bedeutung für therapeutische Zwecke erlangt.

In der Metallurgie wird Anwendung von den radioaktiven Metallen gemacht, um Mischungs-, Selbstdiffusions- und Ausscheidungsvorgänge zu untersuchen.

4. Energietönungen

Leider gelingt es bis heute nicht, grössere wägbare Mengen eines Elementes umzuwandeln; immer handelt es sich um sehr geringe, chemisch oft gerade nachweisbare Substanzmengen. Dies wird von den Physikern nicht als Übelstand empfunden, weil die Natur dem Techniker ja übergenug Stoffe und Ersatzstoffe zur Verfügung stellt. Jedoch ist es sehr bedauerlich, dass die enormen, bei Kernreaktionen auftretenden *Wärmetönungen* nicht technisch nutzbar gemacht werden können; denn für die Energie gibt es keinen Ersatzstoff. Ganz besonders gross ist diese Wärmetönung bei der Spaltung des Urankerns. Uran ist das letzte Element im periodischen System; der Urankern ${}_{92}\text{U}^{235}$ besteht aus 92 Protonen

und 143 Neutronen. Man kann auf Grund des einfachen Tröpfchenmodells leicht einsehen, dass ein solcher Kern nahe der Stabilitätsgrenze ist und dass die elektrischen Coulombschen Abstossungskräfte hier bei der hohen Kernladung beinahe so stark sind, dass sie gegenüber den anziehenden Kernkräften das Übergewicht erlangen. Tatsächlich genügt die Hinzufügung eines langsamen Neutrons zum Kern, um die Form-Instabilität des Urans 235 herbeizuführen. Der Kern zerspaltet nach Anlagerung des Neutrons in zwei kleinere Kerne. Diesen Zerfall hat man sich so vorzustellen, dass das durch Energiezufuhr labil gewordene Kernetöpfchen sich infolge der Abstossungskräfte einschnürt und in zwei Tröpfchen zerteilt. Dabei « verdampfen » meist noch zwei bis drei Neutronen. Sind die beiden kleineren Kerne entstanden, so fahren sie wegen der starken Coulomb-Abstossung auseinander. Dabei erhalten sie ganz enorme kinetische Energien: die pro zerfallendes Uran-Atom frei werdende Energietönung beträgt zirka 160 MeV. Könnte man ein Kilogramm Uran auf diese Weise zum Zerfall bringen, so würden zirka 16 Milliarden Kcal frei, entsprechend der Verbrennungswärme von 2 Millionen Kilogramm Kohle.

Es ist klar, dass die Physiker eifrig nach einem Wege suchen, diese Energien nutzbar zu machen. Es sind dabei aber enorme Schwierigkeiten zu überwinden: Einmal geht die Uran-Umwandlung in der geschilderten Art *nur bei einem* von den drei Isotopen, aus denen das natürliche Uran aufgebaut ist: Uran besteht aus drei Uran-Atomsorten mit den Atomgewichten 238, 235 und 234. Das Uran 235, welches sich so leicht spalten lässt, kommt aber in diesem Gemisch nur zu 0,7 % vor. Man versucht heute, mit neuentwickelten Isotopen-Trennverfahren das U^{235} stark anzureichern. Wenn man U^{235} hätte, müsste man aber den Zerfall der Atome als Kettenreaktion zum Ablauf bringen, d. h. die beim Zerfall eines Atoms auftretenden Neutronen müssten sofort weitere Atome zum Zerfall bringen, so dass die Reaktion, einmal eingeleitet, von selbst sukzessive die ganze Uranmenge durchlaufen würde. Man weiss schon heute, dass nur langsame Neutronen den Uran-Zerfall bewirken: Daher ist fast sicher, dass die Reaktion durch die, infolge der hohen auftretenden Temperaturen, immer schneller werdenden Neutronen selbsthemmend verlaufen würde. Dieser Umstand ist sehr erwünscht, weil dann eine Explosion bei der Einleitung der Uran-Spaltung nicht eintritt, sondern die Energieent-

wicklung nach Art der Verbrennung von Kohle langsam vor sich geht.

Wir wissen heute mit Sicherheit, dass Kern-Umwandlungsprozesse im Energiehaushalt der Sterne die mächtigen Energiequellen bilden, welche vielmillionenmal mehr Energie liefern als chemische Reaktionen dies tun können. Im Falle der Sonne, die ja durch Strahlung so enorme Energiemengen verliert, dass sie, wenn sie aus Kohle und Sauerstoff bestünde und die Energie durch Verbrennung erzeugt würde, nur 3000 Jahre Energie abgeben könnte, kennt man die Prozesse, welche sich abspielen, genau. Es wird mit Hilfe von Kohlenstoff als Katalysator Wasserstoff in Helium umgewandelt. Der Prozess verläuft in fünf Stufen, und er entwickelt pro g umgewandelten Wasserstoff zirka 150,000,000 Kcal. (Die Verbrennungswärme pro Gramm Wasserstoff beträgt nur 48 Kcal.) Trotz der enormen Temperatur von zirka 20,000,000°, welche im Sonnenmittelpunkt herrschen muss, geht der Ablauf dieser Kernreaktionen zum Glück nur langsam vor sich, denn nur wenige Atomkerne haben die hohe Geschwindigkeit, welche nötig ist, um die Coulomb-Abstossung zu überwinden und Kernreaktionen auszulösen.

Auch das Aufflammen der Supernovae, wo Sterne plötzlich unter ungeheurer Ausstrahlung in ein neues Gleichgewicht übergehen und dabei bis 100,000,000fache Sonnenintensität erreichen, lässt sich auf Grund kernphysikalischer Ueberlegungen genau verstehen.

Die Untersuchungen über künstliche Atomumwandlung werden, namentlich in amerikanischen Instituten mit ihren riesigen Mitteln und Mitarbeiterstäben, enorm rasch gefördert. Die physikalische Erkenntnis ist durch die vielen gelösten Kernprobleme in kurzer Zeit in ungeahntem Masse erweitert und bereichert worden, namentlich hat unser Wissen über die Elementarteilchen und ihre Wechselwirkungen sehr an Tiefe gewonnen. Es bleibt eine spannende, aber leider nicht mit Sicherheit zu beantwortende Frage, ob dieses Gebiet nicht schon in nächster Zeit auch für die Technik fruchtbar gemacht werden kann.

Durch den zentralen Himalaya

Von

Prof. Dr. ARNOLD HEIM

Vortrag mit Lichtbildern, gehalten in der allgemeinen Sitzung, Jahresversammlung der Schweizer. Naturforschenden Gesellschaft, Basel, 8. September 1941

(Mit Tafel)

Hochgeehrte Versammlung !

Nachdem ich mich während drei Jahrzehnten mit dem Bau der Alpen beschäftigte, das chinesische Hochgebirge und die hinterindischen Ketten bereist hatte, wurde mein alter Wunsch immer stärker, vergleichsweise auch den Himalaya, das grösste Gebirge unserer Erde, kennenzulernen. Schon war bekannt, dass es als ein Glied der die Erde umspannenden tertiären Faltengebirge manche Ähnlichkeiten mit den Alpen aufweist. Aber die grossen Zusammenhänge harrten noch der Erforschung. Was würden da einem in alpiner Tektonik geübten Geologen für herrliche Entdeckungen möglich sein !

Dass mein Wunsch und Plan vor fünf Jahren in Erfüllung ging, verdanke ich in erster Linie der grosszügigen Unterstützung durch die Schweizerische Naturforschende Gesellschaft. Entscheidend aber, dass wir wissenschaftlich sogar mehr erreichten, als ich mir vorstellen durfte, war, dass mir ein junger Forscher und Mensch zur Seite stand, der alle Eigenschaften für eine solch gewagte Expedition in sich vereinigte : Dr. AUGUST GANSSER, zur Zeit in Columbia. In Gemeinschaft haben wir auf naturwissenschaftlicher Basis zuerst das reich illustrierte Reisebuch « Thron der Götter » geschrieben, das nun auch in englischer Übersetzung erschienen ist. Nach zweijähriger Arbeit ist sodann auch unser rein

wissenschaftliches Werk « Central Himalaya » fertig geworden. Dass es, obwohl in englischer Sprache geschrieben, bis zum Ende ein schweizerisches Werk geworden ist, verdanken wir abermals der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft, die es trotz finanzieller Schwierigkeiten, dank der Bemühungen ihres Redaktors Prof. Dr. E. LUDWIG, in die Denkschriften aufgenommen hat.

Wie sollte es mir da nicht zur besonderen Genugtuung und Freude gereichen, Ihnen heute über unsere Ergebnisse lebendigen Bericht zu erstatten! Ich muss mich aber an Hand eines Profils und von Lichtbildern auf den Gebirgsbau (Tektonik) im Vergleich zu den Ihnen bekannten Alpen beschränken, soweit er in Kürze allgemeinverständlich erläutert werden kann.

Den ersten grossen Überblick erhalten wir, wenn wir in 3000—4000 m Höhe die Halbinsel Vorderindien von West (Jodhpur) nach Ost überfliegen. Als wäre es Afrika, gewahren wir unter uns ein Tafelland aus uralten Schichten. Es gehört zum alten Gondwana-Kontinent, der einst Indien mit Afrika und Australien verband. Östlich Allahabad aber richten sich die Schichten auf und verraten deutliche Faltung mit nach NE ziehenden Felsrippen. Es sind die *Aravalli*-Ketten — das bis auf den Kern abgewitterte Gerippe eines alten Gebirgszuges. Dieses erreicht den Himalaya nicht. Es taucht unter die Alluvionen des Ganges und seiner Zuflüsse. Weit dahinter, in 400 km Entfernung von der Fluglinie, ist eben noch der zackige Umriss der weissen Achttausender Nepals über dem Wüstendunst erkennbar.

Geologisch gesprochen ist das *Schwemmland* das Gegenstück zum Gebirge: eine Senkungszone, in der sich die gewaltigen Schuttmassen anhäufen. Die Senkung erfolgt teils allmählich, teils ruckweise. Das beweisen die furchtbaren Erdbeben, wie etwa dasjenige von Bihar vom 15. Januar 1934, das 10,000 Menschen getötet hat. Das beweisen die Tiefbohrungen und die geophysikalischen Messungen des Geodetic Survey of India, nach denen der Ganges-Trog auf 4000—6000 m Tiefe berechnet wurde. Bald werden wir sehen, dass als Kompensation dazu der Himalaya steigt.

Jetzt stehen wir plötzlich vor einem steilen Anstieg. Die Schichtenköpfe der *Siwaliks* am Rande des Himalayas stehen vor uns: Konglomerate und Sandsteine von 5000 bis 10,000 m Mächtigkeit, als wäre es die subalpine Molasse. Es sind die Schuttbildun-

gen aus dem Anfangsstadium der Himalaya-Erhebung. Sie füllten einen Trog hinter dem heutigen Schwemmland, bis sie vom fort-dauernden Zusammenschub der Erdrinde mitergriffen und zu einem randlichen Gebirgszug aufgestaut wurden. Der Unterschied zum Alpennordrand besteht nur darin, dass im Himalaya der Schub von Nordosten kam, statt aus Südost, wie in den Schweizeralpen. Das zeigt schon der gewaltige, nach Süden konvexe, 2500 km lange Gebirgsbogen.

Die Siwaliks mit ihren Falten und Schuppen sind nun vom eigentlichen Himalayagebirge überfahren worden, wie die Molasse von den Alpen. Ja die Analogien gehen noch weiter: wir haben gefunden, dass die Grenze, die als « Main boundary fault » bezeichnet wurde, eine alte Erosionsfläche ist, und dass die Himalayaformationen, besonders die beweglichen Dalingschiefer, durch deren Lücken im Osten überbordeten und bis 20 km weit in die Ebene herausfluteten, wie unsere Alpen im Bogen durch die Molassebresche zwischen Aare und Rhone.

Da das Königreich Nepal mit den höchsten Gipfeln und den tiefsten Schluchten der Erde dem Forscher verschlossen ist, müssen wir uns vorerst auf das Gebiet von Kumaon auf der Nordwestseite von Nepal beschränken. Auf einer Autostrasse steigen wir rasch über die Siwaliks und die Grenzüberschiebung hinauf in den *Vorhimalaya*. Er bildet ein mit Föhren bewaldetes Bergland von 100 km Breite, mit Rücken von 1500—2600 m Höhe, im grossen eine Art durchtalter Fastebene. Die geologische Beobachtung aber ergibt, dass der innere Bau durchaus nicht gleichförmig ist. Da stossen wir über den Siwaliks beim Höhenkurort am See von Nainital (1950 m) auf eine erste Bergkette aus gefalteten Kalksteinen mit Schieferlagen und quarzitischen Sandsteinen, die vermutlich den vom Geological Survey of India in der Gegend von Simla kartierten Nagthat, Krol- und Talformationen entsprechen und auf die Siwaliks aufgeschoben sind, wie die helvetischen Alpen auf die Molasse. Doch ist das Alter dieser sedimentären Bildungen unbekannt, da im ganzen Vorhimalaya daraus noch keine Versteinerungen gefunden wurden. Diese Kroldecke ist aber nicht nur randlich überschoben, sondern eine weit von Nordosten her kommende Schubdecke. Dies geht aus den neuen Beobachtungen von J. B. AUDEN hervor. Er fand nämlich nordwestlich des Ganges einige, zum Teil grosse Fenster, wo die autochthone Unterlage der

Kroldecke zum Vorschein kommt. Diese Unterlage besteht aus den alten Simlaschiefern mit transgressivem Eozän, tektonisch vergleichbar dem Aaremassiv unter den helvetischen Decken.

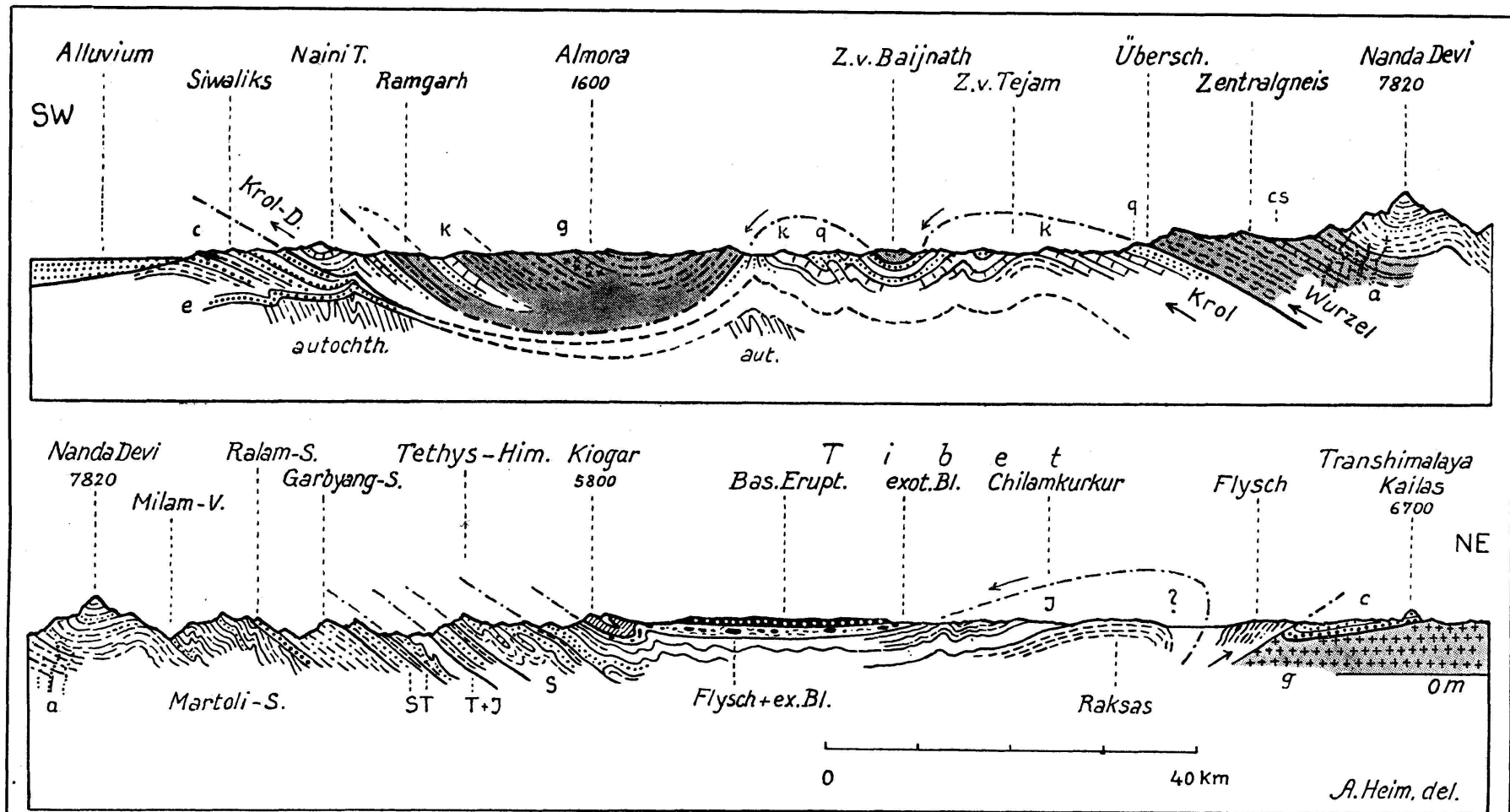
Südöstlich des Ganges ist die Kroldecke so reduziert, dass die Glimmerschiefer fast bis auf die Siwaliks hinausreichen. MIDDLEMISS, der diese Gegend schon 1887 kartierte, zeichnete ringsum Verwerfungen und glaubte, die Glimmerschiefer bilden ein Massiv aus der Tiefe. Diese stehen aber, oder standen, mit den Dudatolibergen und dem 30 km breiten, kristallinen Rücken von Almora in Verbindung. Noch weiter gebirgseinwärts folgt die kristalline Zone von Baijnath, und überall sind diese kristallinen « Inseln » durch Schubflächen von der sedimentären Unterlage der Täler getrennt. Schliesslich kommen wir zum gewaltig aufsteigenden Hochgebirge und stossen auf mächtigen Gneiss und Glimmerschiefer der *Zentralzone*, die mit glatter Überschiebungsfläche nach Nordosten einfallen. Da wird uns mit einem Schlage klar: Wir befinden uns in der *Wurzelzone* einer *grossen kristallinen Schubmasse*, die sich einst über den ganzen Vorhimalaya, auf 100 km Breite, ausgedehnt hat! Glücklicherweise ist diese Schubdecke durch die Erosion zerschnitten, sonst könnten wir ja ihre Deckennatur gar nicht nachweisen. Nachträgliche Faltung hat die Erhaltung der Deckenreste in den Muldenzonen ermöglicht.

Jetzt steigen wir, den Gletschern entgegen, durch die Wurzelzone hinauf. Wir queren eine 12—20 km mächtige, nordöstlich fallende Zentralzone von archaischen Granatglimmerschiefern, Gneissen, Quarziten (letztere an der Alaknanda 9 km mächtig!), dann Paragneisse mit Kalksilikaten, die von Granit und Pegmatit injiziert sind. Der Gipfel des höchsten Berges im Kumaon-Himalaya, Nanda Devi (Göttin Nanda), 7820 m, besteht aus Schiefer und Quarzit einer vielleicht 5 km mächtigen Schichtfolge, die wir Martoli-Serie genannt haben und zum Algonkium rechnen. Es folgt nun, mit einem Basiskonglomerat, Quarzit und Dolomit (Ralam-Serie) einsetzend, das 5—7 km mächtige Paläozoikum. Die ersten undeutlichen Versteinerungen fanden wir in schwach serizitischen, kalkig-sandigen Schiefern mit grünen Chloritbändern, die wir Garbyang-Serie nennen. Schon eine hübsche Ausbeute von ordovizischen Fossilien, besonders Brachyopoden, ergab die Shiala-Serie. Den Abschluss des Paläozoikums bilden die Muth-Quarzite des Silurs oder Devons.

Diese ganze, etwa 30 km mächtige Schichtfolge, obwohl lokal gefaltet, liegt im ganzen normal über der Hauptschubfläche. So dick war also ungefähr die Erdrinde, die sich als Schubdecke losgelöst hat. Jetzt verstehen wir auch die fluidale Fältelung und Metamorphose der Gneisse. Sie entstammt diesen grossen Tiefen, wo zu dem gewaltigen Druck noch Temperaturen von 700—1000° C mitwirkten. Und dort, wo innerhalb der Sialkruste die Gesteine in den fluidalen Zustand übergehen, fand die Ablösung und Bildung der Gleitfläche statt. Ihre hypothetische Fortsetzung reicht jetzt stellenweise viele Kilometer hoch in die Luft (Tafel).

Eine weitere Folgerung können wir aus den genannten Beobachtungen ziehen : Da die Quarzite und Paragneisse ursprünglich sandige und tonige Sedimente sind, so lagen sie im Archäikum an der Oberfläche der festen Erdrinde. Sie wurden dann im Laufe einer Milliarde von Jahren versenkt und sukzessive mit den jüngeren Bildungen bedeckt, bis sie in die Tiefe von 30 km gelangten, aus der sie im Tertiär wieder an die Oberfläche gestossen und der Erosion ausgesetzt wurden, um Material für einen neuen Sedimentationszyklus im Himalaya-Vorland zu liefern. Wie bedeutend die Hebungen waren, und wie ungeheuer viel von der grossen Schubdecke schon wieder durch Erosion entfernt ist, das zeigt ein Blick auf das beigegebene Profil.

Mit den paläozoischen Formationen sind wir in die inneren Ketten, den « *Tethys-Himalaya* », gelangt. Seine Gesteine sind Ablagerungen aus dem Tethysmeer, das sich von den Alpen nach Asien bis zum Pazifik erstreckte. Zum Unterschied der sterilen Sedimentgesteine des Vorhimalayas befinden wir uns jetzt in einem Gebiet mit reichen, marinen Fossilhorizonten. Auf den Muth-Quarziten folgen, nach einem Unterbruch durch fehlendes Karbon, schwarze Schiefer des Perms, dann die mesozoischen Formationen, von denen einige Zonen der Trias und des Juras besonders reich an schön erhaltenen Ammoniten sind. Solche füllen jetzt Schubladen in der geologischen Sammlung der ETH., wo sie von Prof. Dr. A. JEANNET weiterbearbeitet werden. In dieser Zone des Tethys-Himalayas ist es, ordentliches Wetter vorausgesetzt, herrlich zu arbeiten, nicht nur wegen der Fossilien, die an der Altersbestimmung der Schichten keinen Zweifel lassen. Auch die stratigraphische Ausbildung ist so verschiedenartig, dass man die einzelnen Stufen schon aus der Ferne erkennt. Vom weissen Muth-Quarzit



Generelles Querprofil durch den zentralen Himalaya, Kumaon-Tibet

nach Arnold Heim und Aug. Gansser

Die altkristallinen Gesteine sind mit Raster getönt. *a* = Gänge von Granit, Aplit und Pegmatit; *c* = Konglomerat und Sandstein; *cs* = Kalksilikate; *e* = Eozän, autochthon; *g* = Granit; *k* = Kalkstein (Krol); *q* = Quarzitsandstein (Tal); *J* = Jura; *S* = Silur; *T* = Trias; -.-.- = Überschiebungen.

des Silur-Devons hebt sich das schwarze Band der Permschiefer ab, vom Kalk der mittleren Trias die dunkeln Kutischiefer, vom weissen Rhätkalk die schwarzen Spiti shales des obersten Juras, und von diesen die grünen Sandsteine des Kreideflyschs. Dadurch war die Tektonik leicht zu entziffern, und es ergab sich fast von selbst, dass die Gebirgsketten auf der tibetischen Seite des Himalayas nicht aus gewöhnlichen Falten bestehen, sondern aus *gefalteten Schuppen*, die durch scharfe Überschiebungsflächen getrennt sind. Fünf solcher Schubdecken haben wir im Tethys-Himalaya festgestellt, die alle von der tibetischen Seite her nach Südwesten gestossen sind.

Jetzt aber, am Rande gegen das tibetische Hochland, stossen wir erst auf die problematischsten Erscheinungen des Himalayas: die *Exotika*. Seit hundert Jahren sind die Schweizer Geologen in den Alpen mit diesem Problem beschäftigt, und seit bald 50 Jahren ist es im Himalaya aufgeworfen worden. Und in beiden Fällen ist es noch heute nicht restlos geklärt. Schon am Ende des vorigen Jahrhunderts haben nämlich die österreichischen Geologen GRIESBACH und DIENER im Dienste des Survey of India im Gebiete des zackigen Grenzkammes gegen Tibet, den *Kiogars*, exotische Blöcke und « Klippen » entdeckt. C. DIENER verglich diese schon 1898 mit den Klippen und Schubmassen des Chablais und der Schweizeralpen, während VON KRAFFT in seiner Spezialarbeit « Notes on the Exotic Blocks . . . » 1902 die Fremdlinge als vulkanische Auswürflinge aus dem verbotenen und unbekannten Tibet zu deuten versuchte. Während seither in den Alpen umwälzende Entdeckungen über den Deckenschub gemacht wurden, die im Nu von den Geologen der ganzen Erde erfasst wurden, scheint jener merkwürdige, abgelegene Gebirgsteil seither von keinem Geologen mehr besucht worden zu sein, bis wir, gewappnet mit den neuen Errungenschaften, im August 1936 die Gegend erreichten. Da fanden wir, wie ED. SUESS schon 1909 vermutet hatte, dass die Kiogars, aus Trias- und Jurakalken bestehend, samt ihrer Basis aus basischen Eruptivgesteinen auf Oberkreideflysch, als Relikt einer grossen Schubdecke zu deuten sind, die auf Grund ihrer völlig fremdartigen Fazies aus dem fernen Tibet herübergeschoben sein muss. In der Tat war von einem der zackigen Gipfel in 5700 m, den ich den « Mythen » nannte, mit einem Blick zu sehen, dass die Kiogars eine gefaltete, zusammenhängende Decke von vielen Quadrat kilo-

metern bilden. Dazu kommt aber noch das viel schwierigere Problem der eigentlichen exotischen Blöcke im Flysch. Es sind Klötze und Fetzen bis zu 1 km Grösse, aus teilweise sehr fossilreichen Kalken des Perms, der Trias und des Lias. Einige derselben sind ganz erfüllt mit schön erhaltenen Ammoniten, wie *Cladiscites*, *Juvavites* und *Arcestes*. Merkwürdigerweise stimmt auch ihre Fazies mit den klassischen Vorkommen der Ostalpen überein, wie dem roten Hallstätterkalk und dem Adnetherkalk, was schon DIENER und VON KRAFFT aufgefallen war. Nichts Ähnliches ist im Tethys-Himalaya zu finden. Auch wenn keine Überschiebung zu sehen wäre, würde diese Faziesdifferenz allein auf eine ferne Herkunft weisen. Der Flysch, der die exotischen Blöcke trägt und einschliesst, ist teilweise ein kieseliger Schiefer, erfüllt von mikroskopisch kleinen Radiolarien, also ein abyssaler Absatz aus Tiefen von 6000 m oder mehr, der heute Gehänge bei 5000 m über Meer bildet.

Die Frage nach der Herkunft der exotischen Blöcke hat AUG. GANSSER auf seinen kühnen Vorstössen ins verbotene *Tibet* einer Lösung näher gebracht. Denn dort fand er, wie unsere geologische Karte zeigt, die gleichen Blöcke im Flysch noch 30—50 km weit hinter dem tibetischen Grenzkamm, so dass ihr Ursprung am Südfuss des Transhimalayas zu suchen ist. Dort muss sich in der jüngeren Kreidezeit eine sehr tiefe Meerwanne befunden haben, die durch die Krustenbewegungen zusammengedrückt wurde. Wie aber aus dem einstigen Zusammenhang die Blöcke hervorgingen und mit dem Flysch verschleppt wurden, ferner wie weit diese merkwürdigen Vorkommnisse nach NW und SE verbreitet sind, das werden Rätsel bleiben, solange Tibet dem Forscher verschlossen ist.

Gewaltige Massen plio-pleistozäner Schotter erfüllen das Hochtal der heiligen Seen Manasarovar und Raksas, 4500 m, und deren ehemaligen Abfluss zum Sutlej. Sie verdecken den Zusammenhang des Himalayas mit dem Transhimalaya, der sich im «heiligsten Berg der Welt», dem Kailas, 6700 m, dahinter erhebt. Dort sind wir jenseits der Tethys, am Südrand des Angara-Kontinents. Wie GANSSER festgestellt hat, ist der majestätische Kailas herauspräpariert aus fast horizontalen alttertiären Konglomeraten und Sandsteinen von 1600 m Dicke, die auf einem Sockel von Granit ruhen, als hätten sie von den umstürzenden Ereignissen im

Himalaya nichts verspürt. Diese Deckschichten sind vielleicht die jüngsten so hoch vertikal gehobenen tertiären Schichten der Erde. Am Südfuss des Kailas hat aber GANSSER noch Flysch mit Blöcken angetroffen, der den Konglomeraten nach Nordosten aufgeschoben ist. Das ist also eine Gegenbewegung zum Himalaya, erinnernd an die allerdings viel gewaltigeren Rückschübe der Dinariden auf der Südseite der Alpen.

Damit sind wir am Ende unserer 250 km weiten Querung durch den zentralen Himalaya und bis zum Transhimalaya und halten kurze Rückschau. Wir haben als wichtigstes Resultat gesehen, dass vom zentralen Hochgebirge, der Zone des ehemaligen Tethysmeeres, eine ungeheure Schubmasse von 30 km Dicke über 100 km weit gegen das sinkende Vorland gestossen wurde. Es ist, soweit bekannt und wahrscheinlich überhaupt, die grösste Deckenbewegung der Erde. In den Alpen entsprechen ihr die Gesamtheit der penninischen Decken. Die höchsten Gebirgsstöcke: Chomolungma (Mt. Everest, 8882 m) und Kangchendzönga, 8603 m, gehören dem Rücken der entsprechenden Schubfalte an. Darüber hinweg legen sich die Schuppen des Tethys-Himalayas, dann die exotischen Decken. Im Sinne von ARGAND und R. STAUB ist der gesamte Bau des Himalayas das Resultat des Kampfes der gegeneinander vorrückenden alten Kontinente, wobei, wie wir gezeigt haben, Angara die Oberhand über das sinkende Gondwana gewonnen hat. Wenn wir ganz ehrlich sein wollen, so müssen wir zwar gestehen, dass wir uns über die Mechanik der Deckenschübe keine richtige Vorstellung machen können, weder der mächtigen kristallinen Masse, noch der schwächtigen, in Blöcke aufgelösten exotischen Decken.

Jetzt bleibt uns noch die Frage, *wann* diese Gebirgsbewegungen stattgefunden haben. Da müssen wir unterscheiden zwischen den primären, vorwiegend horizontalen (tektogenetischen) und den späteren, vorwiegend vertikalen (epeirogenetischen) Bewegungen. Denn es liegt ja auf der Hand, dass sich die gewaltige Massengleitung nicht in der jetzigen Höhenlage vollziehen konnte, wobei das Gebirge einige zehntausend Meter Höhe erreicht hätte, sondern sich in grosser Tiefe vollzog, und dass die mächtige Schubmasse erst nach der horizontalen Hauptverfrachtung sekundär gefaltet und schliesslich zur heutigen Lage gehoben wurde. Infolge der damit verbundenen Auftrennung durch die Erosion in einzelne

Relikte kann heute die Hauptschubmasse nicht mehr aktiv von ihrer Wurzel aus vorgestossen werden, sondern höchstens noch passiv, auf dem Rücken tiefer bewegter Gebirgszonen weitergetragen werden.

Ausser dieser Reihenfolge der Bewegungsrichtungen fragen wir noch nach Anhaltspunkten zur geologischen Zeitrechnung.

Vom tibetischen Hinterland wissen wir nur, dass die Horizontalbewegungen jünger sind als Kreide, da der Oberkreideflysch noch intensiv mitgenommen wurde. Vom Vorland haben wir gesehen, dass die Siwaliks überwältigt wurden. Diese Schuttbildung des entstehenden Himalayas reicht vom Oligozän bis ins Pliozän, wie DE TERRA jüngst nachgewiesen hat, sogar bis ins mittlere Pleistozän (Quartär). Das katastrophale Erdbeben von *Kangra* vom 4. April 1905 deutet darauf hin, dass die tektogenetischen Bewegungen am Aussenrand noch fort dauern. Vielleicht wird in der kommenden geologischen Periode auch das Ganges-Schwemmland zu einer Randkette gestaut. Bereits haben wir in Assam leichte Verbiegungen der Schotterflächen festgestellt. Die grosse kristalline Schubmasse kann aber nicht mehr aktiv weiter vorrücken, da sie als Folge nachträglicher Faltung und Hochhebung bereits durch die Erosion in einzelne Stücke zerschnitten ist.

Über die jungen vertikalen Bewegungen geben uns die Beobachtungen von WADIA, SAHNI und DE TERRA in Kaschmir die besten Anhaltspunkte. Danach sind die Karewa-Schichten, das sind quartäre Seeablagerungen, samt ihren Artefakten stellenweise 30—40° geneigt und 1500 m hoch gegen den Pir Panjal gehoben. Seit dem ersten Auftreten des Menschen ist also das Gebirge noch gewaltig emporgestiegen. Und dass es heute noch steigt, trotz der abnützenden Arbeit der Erosion, das zeigen uns die konvexen Böschungen der gewaltigen Querschluichten und die frischen Einschnitte in Schuttbildungen, die ebenso auf vermehrte Stosskraft der Flüsse hinweisen.

So sehen wir, dass der Himalaya ein jugendliches Gebirge ist, von innen und aussen in steter Umformung begriffen. Schon die ungeheuren Gipfel, Gräte und Schluchten beweisen es, da sie, geologisch gedacht, unbeständige Erscheinungen sind und nur entstehen und sich erneuern können, solange die hebenden Kräfte von innen fort dauern.

Immer wieder haben die tektonischen Forschungen der letzten Jahrzehnte gezeigt, wie beweglich die sogenannt feste Erdrinde ist. Unsere Mutter Erde ist also nicht ein absterbender, sondern ein noch wild lebender Planet. Nicht nur rollt er um sich selbst und um die Sonne und fliegt mit ihr durch das Weltall, sondern ist auch in sich selbst in steter Umformung begriffen. Soweit unsere Sinne reichen — vom Elektron zum Erdball und von diesem zum noch einmal in solcher Potenz vergrößerten Weltall — alles ist in Bewegung.