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: 103 (1922)

Rubrik: Eröffnungsrede des Jahrespräsidenten und Hauptvorträge

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: 25.08.2025

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

Eröffnungsrede
des Jahrespräsidenten
und
Hauptvorträge

Discours d'introduction
du Président annuel
et
Conférences

Discorso inaugurale
del Presidente annuale
e
Conferenze

Leere Seite
Blank page
Page vide

Eröffnungsrede des Jahrespräsidenten

Prof. Dr. H. Strasser

Hochansehnliche Versammlung!

Wir Berner sind stolz darauf, dass der erste Anstoss zur Gründung einer Gesellschaft schweizerischer Naturforscher von Bern ausgegangen ist, indem sich infolge der Initiative der bernischen Gesellschaft naturforschender Freunde und namentlich des verdienten Jakob Samuel Wyttenbach am 3. Oktober 1797 zwanzig Männer aus allen Gauen der Schweiz in Langenthal versammelt haben, um die Gründung einer *allgemeinen helvetischen Gesellschaft der Freunde der vaterländischen Physik und Naturgeschichte* zu beschliessen. Der Zusammenbruch der damaligen Eidgenossenschaft erstickte freilich die Entwicklung dieser Gesellschaft im Keim. Erst im Jahre 1815, dank den fortgesetzten Bemühungen desselben Wyttenbach und der begeisterten Hingabe des Genfers Gosse konnte in Genf die *„Schweizerische Gesellschaft der Naturwissenschaften"*, auf deren mehr als hundertjähriges ununterbrochenes Bestehen wir heute zurückblicken, gegründet werden. Im Jahre 1816 fand die erste Jahresversammlung in Bern statt. Weiterhin hatte unsere Stadt in den Jahren 1822, 1839, 1858, 1878 und 1896 des vorigen Jahrhunderts die Ehre, die schweizerischen Naturforscher in ihrer Mitte versammelt zu sehen. Die Versammlung von 1896 war von unserem unvergesslichen Theophil Studer präsidiert. Seine damalige vortreffliche Eröffnungsrede ist auch heute noch lesenswert und ein glänzendes Zeugnis für den weiten Blick und die hohe wissenschaftliche Bedeutung dieses um unsere Gesellschaft so hoch verdienten Mannes.

Vor acht Jahren nun, 1914, stand Bern unter der Präsidentschaft unseres verehrten, jetzigen Zentralpräsidenten, des Herrn

Prof. Fischer, gerüstet da, um zum siebentenmal die Jahresversammlung unserer Gesellschaft zu übernehmen. Wir rechneten darauf, die lieben Gäste in unsere schöne Landesausstellung führen zu können. Da brach der grosse Krieg aus und vernichtete mit so vielem anderem auch diese unsere Hoffnung.

Heute sieht die Welt ganz verändert aus. Wir blicken nur mit Sorge in die Zukunft. Alles mahnt uns zum Ernst und zur Arbeit. Wir bitten Sie, das berücksichtigen zu wollen, wenn wir Ihnen nicht so viel Festliches bieten, als dies vielleicht unter andern Zeitverhältnissen tunlich gewesen wäre. In der Hoffnung, dass trotzdem unsere Tagung in Ihnen allen das Bewusstsein unserer freundeidgenössischen Zusammengehörigkeit und den Eifer für die gemeinsame Arbeit zur Förderung der vaterländischen Wissenschaft zu wecken und zu stärken vermöge, heisse ich Sie alle herzlich willkommen.

Nach altem Herkommen ist dem Jahrespräsidenten bei der Wahl des Hauptthemas seiner Eröffnungsrede grosse Freiheit gelassen. Es ist ihm vor allem gestattet, einen Gegenstand aus seinem speziellen Arbeitsgebiet zu behandeln, wobei man freilich von ihm erwartet, dass er ihm ein allgemeines Interesse abzugewinnen und Beziehungen desselben zu andern Gebieten der Naturwissenschaften nachzuweisen vermöge. Ich möchte mir erlauben, heute vor Ihnen über einige Fragen der Entwicklungsmechanik und namentlich über die Prinzipien, d. h. die *Anfänge und Grunderscheinungen der organischen Gestaltung bei den Lebewesen* zu reden. Ich nehme dabei das Wort Gestaltung im Sinn eines Vorganges, eines Lebensprozesses. Form und Gestalt sind an sich etwas rein Geometrisches, bedeuten nichts anderes als die Art der räumlichen Abgrenzung einer Substanz. Aber die Erforscher der Form, die sogenannten Morphologen, zu denen die Botaniker, Zoologen, aber auch die Anatomen gehören, haben von jeher neben der geometrischen Form auch die Natur der abgegrenzten Materialien ins Auge gefasst und die Bedeutung, welche die abgegrenzten Teile als Konstruktionselemente und Organe im gemeinsamen Haushalt spielen. Sie haben immer mehr erkannt und beachtet, dass die Form etwas ist, was wird und sich verändert, und haben nach den Gründen dieser Erscheinungen geforscht. So ist durch die Bemühungen gerade der Morphologen in den

letzten Jahrzehnten jene Wissenschaft entstanden, die man als *Entwicklungsmechanik* bezeichnet, und die heute schon für die Erkenntnis der Lebensvorgänge eine besonders grosse Bedeutung erlangt hat.

Wenn man von Entwicklungsmechanik spricht, so ist der Begriff Mechanik dabei nicht im engeren Sinne des Wortes gefasst, als die Lehre bloss von denjenigen Kräften, welche auf Massen einwirken, ohne ihre Substanz zu verändern, sondern es sollen alle uns bekannten Kräfte der Physik und Chemie berücksichtigt werden. Die Entwicklungsmechanik sucht die Erscheinungen der Entwicklung auf diese Kräfte zurückzuführen, und wo ihr dies nicht gelingt oder bis jetzt nicht gelungen ist, bekennt sie lieber ihr vorläufiges Unvermögen, als dass sie zu metaphysischen, jenseits der Naturerkenntnis gelegenen Prinzipien, über die wir gar nichts wissen, ihre Zuflucht nimmt, um damit Scheinerklärungen vorzutäuschen und ein weiteres, angestrengtes Forschen nach der Wahrheit zu verhindern. Was aber die Entwicklung betrifft, so ist leicht zu zeigen, dass sie allen Lebewesen eigen ist, und dass ohne Entwicklung Leben auf der Erde nicht fortbestehen könnte. Das Problem nun nach den Anfängen und der Bedeutung der organischen Gestaltung ist, wie Sie sehen, ein exquisit biologisches und entwicklungsmechanisches Problem.

Der Beobachtung, dem Vergleich und dem Experiment verdanken wir es, wenn wir heute wissen, dass Leben selbst in den einfachsten und niedrigsten Formen, in denen es uns entgegentritt, nicht vor unseren Augen direkt aus Leblosem hervorgehen kann. Und doch ist es für den Naturforscher ein logisches Postulat, dass solches irgend einmal stattgefunden haben muss. Vor allem tritt ihm in der Geologie und Paläontologie, in der Geschichte der Faunen und Floren die Tatsache von der Abänderungsfähigkeit und Abänderung der Arten deutlich vor Augen. Dazu kommt die Erkenntnis, dass auch in dem Werdegang der einzelnen Lebewesen Mannigfaltigkeit und Komplikation aus Einfachem hervorgeht. Das alles muss jedem ernsthaften Biologen die Überzeugung von der *Richtigkeit des Deszendenzgedankens* aufzwingen. Er kann nicht anders als annehmen, dass das Leben auf der Erde mit sehr einfachen Formen begonnen und sich erst allmählich zu der heutigen Mannigfaltigkeit, Komplikation und Spezialisierung entwickelt hat. Wie aber hat jenes einfachste erste

Leben auftreten können auf einer Erde, die zuvor wüste und leer, vielleicht ein glühender Körper, ein Dunstball gewesen ist? Die Hypothese, dass Lebewesen einfachster Art von fremden Himmelskörpern her irgendwie, z. B. durch Meteore, auf die Erde verschleppt worden ist, kann uns nicht befriedigen. Die Frage nach der ersten Entstehung des Lebens wäre damit auch nicht gelöst, sondern nur hinsichtlich des Ortes der Entstehung verschoben. Wir müssen also ganz ernstlich die Frage prüfen, ob die Kluft zwischen Lebendigem und Leblosem wirklich unüberbrückbar war, und ob nicht einmal in der Erdgeschichte Lebendiges aus Leblosem auf natürlichem Wege hat entstehen können.

Man wird einwenden, das sei eine der fernsten und letzten Fragen der Biologie und Entwicklungsmechanik, an die wir noch lange nicht herantreten dürfen. Aber die Beschäftigung mit derselben nötigt uns vor allem, die so ungemein wichtige und zeitgemässe und wohl einigermassen zu lösende Vorfrage nach *dem Wesen „des Lebens“* zu stellen. Was ist allen Lebewesen gemeinsam? Was charakterisiert auch die denkbar einfachsten Lebewesen und unterscheidet sie vom Leblosen? Die beste Antwort hierauf hat wohl W. Roux gegeben. Seiner Auffassung schliessen wir uns im folgenden im wesentlichen an.

Die Erfahrung und vergleichende Betrachtung lehren uns: Leben ist ein Geschehen, ein Prozess oder ein Komplex ineinandergreifender Prozesse an einem begrenzten Substrat, das sich verändert. Wir konstatieren sichtbare Veränderungen der innern Konfiguration und der äusseren Form, aber auch qualitative Veränderungen an den Teilchen, als Resultat versteckter inter- und intramolekulärer physikalischer und chemischer Prozesse. Diese Veränderungen sind nicht einfach die Folge äusserer Einwirkungen. Es müssen vielmehr im Substrat selbst aufgespeicherte potentielle chemische Energien in chemischen Umsatzprozessen entfesselt werden und innere Kräfte liefern, welche die Teilchen gegeneinander und gegenüber der Aussenwelt, unter Überwindung von Widerständen bewegen, welche also innere Arbeit an den Teilchen des Substrates, und damit auch äussere Arbeit zu leisten vermögen. Solches ist auch an leblosen Substraten möglich. Für den Lebensprozess aber und für das lebende Substrat kommt noch hinzu und ist wesentlich und charakteristisch: die Dauerhaftigkeit. Das Substrat wird als Ganzes nicht ver-

braucht und zerstreut, es erhält sich, wenigstens in einem Teil, unter Auswechslung seiner Bestandteile und behält dabei seine Fähigkeit zur Unterhaltung der innern, mit Arbeitsleistung verbundenen Prozesse. Dies ist nur möglich dadurch, dass das Arbeitsvermögen selbst zum Wiederersatz des Verbrauchten nutzbar gemacht wird. *(Dauer im Wechsel.)*

Roux unterscheidet die Fortdauer im Stoffwechsel, im Energiewechsel, im Formwechsel, im Personenwechsel und im Wechsel der äusseren Bedingungen. Als Mittel zu dieser Dauerhaftigkeit sind nach ihm folgende 12 Teilvermögen erforderlich: Das Vermögen zur Selbstveränderung, zur Selbstbewegung, zur Reflexbewegung, zur Selbstausscheidung, zur Selbstaufnahme von Nahrung, zur chemischen Assimilation, zur gestaltlichen Assimilation, ferner das Vermögen zum Selbstwachstum, zur Selbstentwicklung, zur Selbstteilung und zur Vererbung, endlich das Vermögen der Selbstregulation.

Sehen wir uns die Dinge etwas näher an: Das erste und wichtigste ist, wie schon erwähnt wurde, die Möglichkeit des Wiederersatzes der verbrauchten Stoffe und potentiellen Energien. Der Ersatz muss in letzter Linie von aussen her bezogen werden in Form von Nahrung in verschiedenen Aggregatzuständen, sowie von Energie, namentlich in Form von Licht und Wärme. Auch wo die Nahrung in der Umgebung zur Genüge vorhanden ist, muss Arbeit geleistet werden, um sie aufzunehmen und an die Stelle des Verbrauches hinzuschaffen. Ferner ist eine Verarbeitung der aufgenommenen Stoffe notwendig, und eine Aufspeicherung an bestimmter Stelle in Form einer Substanz, die Arbeitsvermögen besitzt, deren potentielle Energie aber bis zum Augenblick des chemischen Umsatzes gesichert bleibt. Die von aussen dem Substrat zuströmende Energie kann zur Auslösung der Prozesse, sie muss wohl auch zur Bereitung der arbeitsfähigen Stoffe aus der Nahrung verwertet werden. Ihr Wirken im Substrat kann aber erst durch dieses selbst örtlich und zeitlich genauer determiniert sein. Das gilt für alle Umsatzprozesse, durch welche die für den Fortbestand des Lebens nützliche Arbeit geleistet und das Verhalten zur Aussenwelt je nach den wechselnden äussern Bedingungen in passender Weise reguliert wird.

Die inneren chemischen Prozesse des Aufbaues und Abbaues in dem lebenden Substrat müssen also notwendigerweise *zeitlich und örtlich lokalisiert und determiniert und dem Umfang,* zum

Teil auch der Richtung nach *beschränkt sein.* Es ist undenkbar, dass ein solches Geschehen an einer durchaus einfachen, aus lauter gleichartigen, isolierten Molekülen gebildeten, formlosen Substanz sich abspielen kann. Solches ist vielmehr nur möglich bei Vorhandensein von *abgrenzenden Oberflächen* und *besonderen einhüllenden Substanzen.* Der Chemiker, der eine chemische Reaktion an einem beschränkten Teil des Materialvorrates seines Laboratoriums vornehmen will, fasst denselben in einem *Gefäss.* (Ostwald.) Dadurch ist es ihm möglich gemacht, den Prozess dem Ort und dem Umfang nach zu beschränken, kann er die frei werdende Energie zur Erzeugung von Bewegung in bestimmter Richtung zwingen, den Dampfdruck, die Gewalt der explodierenden Gase auf bestimmte Angriffspunkte in bestimmter Richtung bewegend einwirken lassen und zur Arbeitsleistung in bestimmter Richtung ausnützen. In der Kerzenflamme z. B. spielt der Docht, wenigstens eine Zeitlang, die Rolle eines Gefässes, durch welches das geschmolzene Wachs dem Kern der Flamme auf bestimmten Bahnen, in bestimmer Richtung und in beschränkter Menge zugeführt wird. So muss auch das denkbar einfachste lebende Substrat neben dem formlosen, im Um- und Abbau begriffenen Material eine abgrenzende und abgegrenzte Substanz besitzen, welche die Rolle des Gefässes spielt, indem sie die erstgenannten Substanzen festhält und zum Teil umhüllt. Das lebende Substrat muss aus mindestens zwei verschiedenen Substanzen bestehen, welche im gemeinsamen Haushalt Verschiedenes leisten und also verschiedene Organe oder Werkzeuge in demselben darstellen. *Auch das denkbar einfachste lebendige Substrat muss organisiert* sein. Aber die geformte, begrenzte und begrenzende Substanz ist dabei für sich allein noch nicht das Ganze, sondern nur das *Rahmenwerk,* innerhalb welchem besondere chemische Prozesse an besonderen ungeformten Stoffen sich abspielen. Es ist klar, dass auch diese Gefäßsubstanz beim Lebensprozess, wenn auch langsamer, abgenutzt und verbraucht werden muss. Die sog. Assimilation, die Umwandlung aufgenommener Nahrung in lebende Substanz zum Wiederersatz des Verbrauchten muss also zweierlei leisten: den Wiederersatz der verbrauchten Arbeitssubstanz und den Wiederersatz der verbrauchten Gefäßsubstanz. Sie muss nach Roux 1. *chemische,* 2. *gestaltliche* Assimilation sein.

Wir wissen heute, dass die *Zelle* nicht die niederste Organisationsstufe der lebendigen Substanz darstellt. Auch Unterbestandteile derselben, selbst die homogen erscheinende, noch nicht sichtbar differenzierte Substanz, die den Kern der embryonalen Zelle als Zytoplasma oder Protoplasma umgibt, muss eigenes Leben haben, wenn auch besondere Aussenbedingungen, die Nachbarschaft des Kerns, eine besondere äussere Begrenzungsschicht usw. zur Erhaltung ihres Lebens nötig sind. Der ganzen Zelle und auch dem ganzen Kern gegenüber besitzt das Protoplasma eine viel einfachere Organisation, die vielleicht im Prinzip derjenigen nahe kommt, in welcher zuerst Leben auf der Erde aufgetreten ist. Es ist nicht ganz ausgeschlossen, dass abgegrenzte Substrate von ähnlicher einfacher Organisation auch heute noch als sog. Sarkodegeschöpfe unter günstigen Bedingungen frei zu leben vermögen. Aber auch dieses einfache lebende Substrat muss schon organisiert und strukturiert sein. Es kann sich dabei nicht um die gröbere, granuläre, fädige, retikuläre oder schaumige Struktur handeln, welche öfters unter dem Mikroskop zu erkennen ist, nicht um die sichtbaren Abgrenzungen, welche durch eingeschaltete Flüssigkeitsvakuolen usw. zustande gebracht werden. An den so abgegrenzten Teilen oder auch in dem vollkommen homogen erscheinenden Protoplasma mancher Zellen muss eine viel feinere, jenseits der Sichtbarmachung mit unseren gewöhnlichen optischen Hilfsmitteln gelegene, ultramikroskopische Struktur, eine sog. *Metastruktur,* wie M. Heidenhain sie nennt, vorhanden sein.

Der Gedanke liegt nahe, dass eine solche Organisation mit der *kolloidalen Beschaffenheit* gewisser Substanzen, die wir als organische bezeichnen, vorab der Eiweißstoffe und ihrer Derivate irgendwie zusammenhängt. Wir fragen uns, ob nicht mit der Umwandlung der Sole in Gele jene innere Sonderung und Differenzierung in der raumfüllenden Substanz geschaffen wird, welche die erste Bedingung darstellt für die örtliche und zeitliche Lokalisierung der wichtigsten inneren chemischen Umsatzprozesse; ob nicht hierdurch besondere mehr oder weniger kontinuierliche, raumumschliessende Abgrenzungs- und Haftflächen und besondere Begrenzungssubstanzen gebildet werden und jenes Rahmenwerk oder Gefäßsystem hergestellt ist, dem wir eine besondere Bedeutung für die Eigenart der vitalen, chemischen Prozesse zuschreiben müssen. Wir wissen z. B., wie an den Oberflächen fein zerteilter

Metalle (Platinmoor) sich ganz besondere chemische Prozesse abspielen.

Hier liegt ein Gebiet vor, wo die Biologie in ganz besonderem Maße auf die Fortschritte der Chemie und speziell der organischen und Kolloidchemie angewiesen ist, wo sie von diesen Disziplinen eine wichtige Förderung der Einsicht in die Natur der intimen Lebensvorgänge erwartet.

So unvollkommen und vag nun auch einstweilen diese unsere Vorstellungen von der Natur der einfachsten Organisation eines lebensfähigen Substrates sein mögen, so erscheint uns anderseits das Gewonnene doch nicht ganz wertlos. Vor allem sehen wir ein, dass die Eigenart der Lebensprozesse an besondere Anordnungsverhältnisse des Substrates, in dem sie sich abspielen, gebunden ist. Der Unterschied zwischen der lebendigen als der organisierten Substanz gegenüber der leblosen als der anorganischen, nicht organisierten tritt deutlich hervor. Aber gerade deshalb liegt einstweilen gar keine Nötigung vor, irgend eine besondere Art von Kräften und Energien ausser den auch in der anorganischen Welt wirkenden in den einfachsten Lebensprozessen anzunehmen. Das Eigenartige der letzteren beruht ja nur auf der besonderen und komplizierteren Stoffkombination und auf den besonderen Anordnungsverhältnissen des Substrates. Infolgedessen können wir uns nun auch leichter mit dem Gedanken befreunden, dass irgend einmal im Verlauf der Erdgeschichte, vielleicht nach unzähligen, unvollkommenen Versuchen dauerhaft Lebendiges aus Leblosem entstanden ist, indem die passenden Substanzen sich zusammengefunden haben, eine zu lebhaftem Umsatz befähigte Substanz und eine in bestimmter Form und Abgrenzung auftretende Gefäss- oder Rahmensubstanz. Warum sollte sich neben unzähligen, nur unvollkommen dauerfähigen Kombinationen nicht auch einmal eine wirklich dauerfähige haben bilden können? Ja, es ist wohl denkbar, dass sich an verschiedenen Stellen verschiedene derartige, untereinander verwandte, aber doch etwas von einander verschiedene Kombinationen gebildet haben, oder dass einzelne Teile des lebenden Substrates eine die Lebensfähigkeit nicht aufhebende Veränderung erfahren haben. Mit der Möglichkeit einer solchen Abänderung ist dann auch die Möglichkeit der Erwerbung neuer Vermögen zur Selbsterhaltung unter neuen Aussenbedingungen gegeben.

Es wäre nun weiter zu zeigen, dass die einfachste lebendige Substanz nicht bloss befähigt sein muss, genau das Verbrauchte wieder zu ersetzen. Sie muss auch imstande sein, zu wachsen, d. h. mehr zu assimilieren, als im Augenblick verbraucht wird, und so gewissermassen vorzusorgen für die Zeiten, da ganze Abschnitte der gleichen lebenden Substanz zugrunde gehen. Es ist ja klar, dass auch das besteingerichtete lebendige Substrat nicht absolut gefeit sein kann gegen den *Tod*. Alles Leben kann durch besondere Ungunst der äusseren Verhältnisse, durch sogenannte Katastrophen, vernichtet werden, und auch ein Altern und Sterben aus sogenannten innern Ursachen ist möglich, selbst bei den freilebenden Einzelligen, wenn sie sich ohne Konjugation durch Teilung in gleich lebensfähige Teile fortpflanzen, indem die der Teilung vorausgehenden inneren Veränderungen hier ein partielles inneres Sterben darstellen.

Das Wachstum des Ganzen und der Teile kann nun nicht einfach nach dem sogenannten Prinzip der geometrischen Ähnlichkeit weiter gehen. Im besondern da nicht, wo ein bestimmtes Verhältnis besteht zwischen einer an die ganze Oberfläche geknüpften Funktion und Prozessen im Innern der umschlossenen Masse. Mit dem Wachstum muss vielmehr eine relativ stärkere Vergrösserung der Oberfläche stattfinden, was zur Einschnürung und schliesslich zur Teilung führt. Dies gilt vor allem für die elementaren Bestandteile der Organisation. Die Metastruktur würde sonst einfach zur wenig leistungsfähigen Mikro- und Makrostruktur werden. Aber auch den grösseren Komplexen lebenden Substrates mit besonderer Oberflächenabgrenzung und innerer Zentralisation ist eine Grenze gesetzt, über welche hinaus sie sich nicht mit Vorteil vergrössern. So verstehen wir, dass das Leben uns in Form von Personen und Individuen entgegentritt. Bei ihrer Grössenbegrenzung spielen freilich noch andere Momente mit, als die blosse Oberflächen-Massenrelation. Auf alles das genauer einzutreten, fehlt uns hier die nötige Zeit. Das eine aber müssen wir hervorheben: Leben in bestimmter Form, wie es uns heute entgegentritt, ist immer das Endglied eines ununterbrochenen Lebensprozesses, der in graue Vorzeit zurückreicht. Solche *Kontinuität des Lebens* konnte nur zustande kommen, indem in bestimmtem Zeitraum mindestens so viele Lebewesen einer bestimmten Art neu erstanden sind, als in dieser Zeit durch den Tod dahin gerafft wurden. Die

Lebewesen mussten sich *vermehren* durch Abtrennung von Teilen oder Keimen, welche selbst wieder lebensfähig und imstande waren, zu teilungsfähigen Individuen heranzuwachsen. Da aber der Teil eines organisierten Ganzen nicht nur kleiner, sondern auch einfacher gebaut ist als das Ganze, so muss mit dem Wachstum auch die innere Mannigfaltigkeit zunehmen. Die Keime müssen sich *entwickeln.* Selbstteilung, Wachstum und Entwicklung sind notwendige Teilerscheinungen bei der Fortpflanzung des Lebens in bestimmten Formen.

Die beste Gewähr aber für die Lebens-, Entwicklungs- und Fortpflanzungsfähigkeit eines Keimes ist offenbar dann gegeben, wenn er dem Keim gleicht, aus welchem der Elterorganismus sich entwickelt hat. Dann wird auch sein Entwicklungsgang im wesentlichen derselbe sein, und das ist es, was wir als *Vererbung* bezeichnen. Sie ist in der angegebenen Weise gesichert, sofern wenigstens Anlage und Ausgangspunkt im wesentlichen den Gang der Entwicklung bestimmen. Das ist nun tatsächlich der Fall. Äussere Einflüsse können an und für sich kein typisches, lokalisiertes Geschehen bestimmen; sie wirken nur als „Realisationsfaktoren" (Roux) bei den lokalen, durch den Organismus selbst determinierten Prozessen.

Bedenkt man, wie schwer es der Technik fällt, zu wiederholten Malen völlig Gleiches herzustellen, so erscheint das Vermögen, die Keime aufeinanderfolgender Generationen völlig gleich zu machen, nicht als selbstverständlich, sondern als ausserordentlich wunderbar.

Viel verständlicher ist das Abweichen. Die Mehrzahl der *Abweichungen* sind wohl mit Beschränkung oder Aufhebung des richtigen Entwicklungs- oder Fortpflanzungsvermögens verknüpft. Aber es muss doch auch Abweichungen gegeben haben, welche die Dauerfähigkeit nicht beeinträchtigten, ja erlaubten, neue, bis jetzt unbenutzte oder unbenutzbare Lebensbedingungen auszunützen. Nicht immer, wenn sich diese Formen nun unter Vererbung fortpflanzen, brauchen die übrigen (alten) Formen deswegen zugrunde zu gehen. Der Neuerwerb kann von Vorteil sein, ohne dass es auf Kosten der alten, unveränderten Formen zu geschehen braucht (konkurrenzloser Sieg im Kampf ums Dasein). Es liegt der Vorteil auch nicht immer in vermehrter Komplikation der Organisation, sondern unter Umständen in Vereinfachung, zumeist aber in besonderer Spezialisierung.

Werfen wir nun einen flüchtigen Blick auf den Weg, auf welchem ein *Aufstieg* möglich war von niedrigerer Organisationsstufe *zu höher organisierten Formen.*

Schon im Rahmen der Metastruktur, ohne dass besondere mikroskopisch erkennbare Bildungen entstehen, sind zahlreiche Modifikationen der gestaltlichen und chemischen Verhältnisse und damit auch der Prozesse und Leistungen denkbar. Einen deutlichen Schritt zur höhern Organisation bedeutet es dann, wenn eine oberflächliche Abgrenzungsschicht des Ganzen sich heraussondert und an verschiedenen Stellen verschiedene Beschaffenheit und Leistung übernimmt, und wenn sich auch im Innern verschiedene mikroskopisch wahrnehmbare Teile in besonderer Weise zu besonderer Funktion differenzieren, zu stützenden Strukturen, zu Herden mit besonderem Stoffwechsel, zu Stellen mit besonderer Kontraktilität, zu besonderen Leistungswegen für den Stofftransport, die Weiterleitung der Erregung usw.

Im allgemeinen muss es sich bei der Herstellung von Gebilden, welche eine besondere Arbeitsleistung übernehmen, um die Vereinigung verschiedener abgegrenzter Substanzen in besonderer Anordnung handeln. Diese Organellen können entweder aus dem einfacher gebauten Plasma in jedem Entwicklungszyklus neu entstehen und dann vielleicht die Fähigkeit haben, bis zu einer gewissen Grenze zu wachsen. Oder aber sie haben auch die Fähigkeit der Selbstteilung. Dazu ist notwendig, dass ihre wesentlichen Unterbestandteile sich vorgängig teilen, dass ihre Teilhälften zu zwei Gruppen auseinanderrücken und dass sie sich wieder in richtiger Weise nach dem Muster der Mutterorganellen verbinden, was freilich ein *rätselhaftes Zusammenordnungsvermögen* voraussetzt. Solche Organellen brauchen dann nicht mehr nach jeder Teilung des Ganzen aus dem Plasma in bestimmter Anzahl von neuem zu erstehen. Es genügt, dass bei der Teilung des Ganzen jedes Teilstück von den verschiedenen Arten lebenswichtiger Organellen mindestens ein Exemplar erhält. (Plastiden, Kernstaub im Lebewesen, die noch nicht den Formenwert richtiger Zellen haben.)

Die sogenannten freilebenden Einzelligen zeigen zum Teil einfachere, zum Teil kompliziertere Verhältnisse als die Zellen der Vielzelligen. Letztere sind im ganzen ziemlich uniform gebaut. Ihre Organisation kann im allgemeinen als bekannt vorausgesetzt werden. Sie besitzen an selbstteilungsfähigen Organellen mindestens

1. das Mikrozentrum mit seinem Zentriol.

2. den Kern. Dieser enthält selbst wieder der Selbstteilung fähige Unterbestandteile. Als solche möchten wir vor allem die Chromomikrosomen ansehen, die allerdings in mehr oder weniger persistierender Weise zu höheren Einheiten, den Chromosomen so zusammengekoppelt sind, dass ihre Teilung zugleich die Teilung der Chromosomen bedeutet und umgekehrt. Wenn nun die Chromomikrosomenteilung eine Gleichteilung ist, während die im Chromosom aneinander gereihten Chromomikrosomen von einander verschieden sein können, so repräsentiert die Chromosomenlängsspaltung die denkbar beste quantitative und qualitative Gleichteilung der ganzen Chromomikrosomengarnitur. Jede Tochterzelle erhält davon ein gleichwertiges Muster. Keine andere Substanz der Zelle, an die verschiedene Potenzen geknüpft sein könnten, wird in so vollkommener Weise geteilt. Nun sind im allgemeinen die Tochterzellen einander gleich und gleichen in ihrem Entwicklungsgang der Mutterzelle. Die Vermutung liegt also nahe, dass wir in den Chromomikrosomen die wichtigste *Vererbungssubstanz,* welche vor allem den besondern Charakter der Nachkommenzellen bestimmt, vor uns haben.

Die Zelle ist wohl das lebende Element, aus welchem der vielzellige Körper entsteht und aufgebaut ist, aber nicht der Elementarorganismus in dem Sinne, dass sie die niedrigst denkbare Organisationsstufe eines Lebewesens darstellt. Im Gegenteil, die Zelle, ob freilebend oder im Verband, ist die höchste Organisationsstufe, die sich noch durch Ganzteilung nach vorgängiger Teilung der lebenswichtigen Unterbestandteile in gleich lebensfähige Teile zu teilen und auf diese Weise fortzupflanzen vermag.

Das ist bei den vielzelligen Geschöpfen nicht mehr der Fall (wobei wir von den wenigen Fällen der Selbstteilung mit darauffolgender Regeneration absehen). Dass ein Zellverband sich nicht in der Weise erbgleich teilen kann, dass die Unterbestandteile, die Zellen, sich alle vorgängig teilen, und dass nun die Tochterzellen nach zwei Seiten auseinandertreten und sich in jeder Gruppe nach dem Muster des elterlichen Organismus neu verbinden, ist ja selbstverständlich. Die Entwicklung eines Nachkommen kann nur von einzelnen, isoliert abgelösten Zellen oder höchstens von kleinen Gruppen von Zellen (Knospen) aus geschehen. Die Ab-

lösung einzelner Keimzellen bietet dann auch noch die Möglichkeit, dass zwei Keimzellen verschiedener Provenienz sich miteinander kopulieren können, ein Vorgang, der bestimmte Vorteile bietet, und von dem die Natur weitgehenden Gebrauch macht. (Geschlechtliche Fortpflanzung.) Das Wesentliche bei der Vereinigung von zwei Keimzellen verschiedener Provenienz ist das Zusammentreten verschiedener Erbfaktoren (Amphimixis). Dass die zwei Zellen äusserlich so verschieden sind und oft von zwei verschiedenen Sorten (Geschlechtern) von Eltern stammen, ist für die Vererbung ohne Bedeutung, ist nur eine Arbeitsteilung zur Beschaffung des nötigen Nährmaterials für den sich entwickelnden Keim und zur Vereinigung der Keimzellen (Befruchtungsvorgang).

Wir müssen nun vor allem berücksichtigen, dass es im Laufe der Entwicklung der Vielzelligen zu einer mehr oder weniger weitgehenden Spezialisierung der Körperzellen und zu einer Arbeitsteilung zwischen denselben kommt, welche im wesentlichen vom Keim aus bedingt ist. Auf frühesten Stufen der Entwicklung kann die Spezialisierung unter Umständen noch rückgängig gemacht werden, namentlich bei Lösung aus dem Zusammenhang mit den übrigen Körperzellen, so z. B. bei Blastomeren, die isoliert werden, oder wenn die Zellen durch Verlagerung in andere Beziehungen zu einander gebracht sind. Meist lässt sich eine Entdifferenzierung oder „Entspezialisierung", eine Zurückführung zur Beschaffenheit der Keimzelle nur auf eine beschränkte Strecke weit bewerkstelligen. Es muss, wenn solches im allgemeinen für die Körperzellen gilt, dafür gesorgt sein, dass wenigstens in einer beschränkten Generationsfolge von Zellen, der sog. *Keimbahn*, die Zellbeschaffenheit sich nicht allzu weit und nur in reparabler Weise von der Beschaffenheit der Keimzelle entfernt. Aus dieser Generationsfolge allein können dann die neuen *Keimzellen* hervorgehen.

Das grosse Rätsel, vor dem wir staunend stehen, ist nun die Organisation dieser Keimzelle. Wie gering sind eigentlich, wenn wir von der verschiedenen Menge und Verteilung des Nahrungsdotters absehen, die für uns erkennbaren Unterschiede im Bau der verschiedenen Keimzellen, und doch, wie unendlich verschieden ist der Gang und das Resultat der Keimesentwicklung! Von welch feinen, uns vorläufig noch ganz rätselhaften Unterschieden muss es abhängen, dass aus dem befruchteten Ei

so mannigfaltig verschiedene Lebewesen hervorgehen! Durch die besondere Keimesbeschaffenheit wird jeweilen der ganze folgende Entwicklungsgang bis in die feinsten Eigentümlichkeiten des Baues und des Verhaltens im wesentlichen bestimmt. Von der Vereinigung der Keimzellen aber, die von zwei verschiedenen Eltern abstammen, muss es abhängen, dass und in welchem Verhältnis die Eigenschaften des einen und des anderen Elters, des einen und andern Vorfahren von väterlicher oder mütterlicher Seite im Nachkommen wieder auftreten. Diese doppellinige Vererbung tritt besonders auffällig hervor in der Nachkommenschaft der von typisch und erheblich verschiedenen Eltern erzeugten Bastarde. Aber im Grund ist der Nachkomme eines jeden Elternpaares ein Bastard! In den letzten Jahrzehnten ist eine ganz neue Wissenschaft erstanden, welche sich mit den Gesetzen der Vererbung und speziell der Bastardvererbung beschäftigt und heute schon eine kaum vom Fachmann übersehbare Fülle von experimentell festgestellten Tatsachen ermittelt hat. Es geziemt sich gerade heute und hier an der Versammlung schweizerischer Naturforscher, des Mannes zu gedenken, der schon vor 60 Jahren den Grund zu dieser modernen Vererbungslehre gelegt hat: des Augustinerpaters Gregor Mendel.

Mendel ist durch seine Versuche an Pisumarten zu der Annahme geführt worden, dass bestimmten Eigenschaften oder Organisationsverhältnissen, welche bei der Entwicklung der Pflanze früher oder später hervortreten, bestimmte „Merkmale“ der Ursprungskeimzelle, resp. der beiden bei der Befruchtung zusammentretenden Keimzellen entsprechen. Heute spricht man weniger missverständlich von Faktoren, determinierenden Faktoren, Determinanten oder Genen. Wo ein bestimmtes Organisationsverhältnis, z. B. Fruchtform, Blütenfarbe usw. bei den Eltern oder Nachkommen Verschiedenheiten zeigt, muss man verschiedene determinierende Faktoren annehmen *(Verschiedenheit korrespondierender Faktoren)*. Wo zwei verschiedene korrespondierende Faktoren in der befruchteten Keimzelle zusammentreten, müssen beide Faktoren auf alle Körperzellen des Nachkommen übertragen werden. Es kann nun der eine derselben bei der Entwicklung des betreffenden Organisationsverhältnisses den Ausschlag geben. Er ist dann dominant, der andere korrespondierende Faktor bleibt dann für die Körperentwicklung der ersten Hybriden gänzlich wirkungslos, ist rezessiv. Wenn sich aber solche Bastarde erster Generation

unter sich (oder bei Pisum durch Selbstbefruchtung) weiter fortpflanzen, wird in der nächsten Generation der Einfluss des rezessiven Faktors an $^1/_4$ der Nachkommen deutlich. Es müssen sich also bei der Keimzellenbildung die korrespondierenden Faktoren wieder getrennt und auf verschiedene Keimzellen verteilt haben (Mendelsche Spaltung) usw. MENDEL hat die Gesetzmässigkeit dieses Vorganges und die Verhältnisse der Dominanz und Rezessivität mit Bezug auf verschiedene Merkmalpaare über verschiedene Nachkommengenerationen der Hybriden hinweg, er hat auch das Verhalten bei der Rückkreuzung genau zahlenmässig verfolgt. Er steht nicht an, für seine Faktoren stoffliche Träger, die er als Elemente der Zelle bezeichnet, anzunehmen.

Die moderne Zytologie aber ist, wie wir gesehen haben, ohne Kenntnis der Mendelversuche selbständig zu der Annahme einer Erbsubstanz und zu der Überzeugung gekommen, dass letztere vor allem im Chromatin des Kerns, in den bei der Kernteilung auftretenden Chromosomen repräsentiert sein müsse. Die typischen Erscheinungen der Tetradenbildung sodann und der darauffolgenden Schlussteilungen stimmt nun auf das schönste mit dem typischen Schema der Mendelschen Spaltung überein und gibt es in dem Verhalten der Zellen nichts anderes, was diese Spaltung verständlich machen könnte. In den Chromosomen muss man sich danach eine grössere Zahl von Erbfaktoren in Form von Chromomikrosomen vereinigt denken, die im allgemeinen ihren Verband beibehalten. Aber es ist durchaus nicht unmöglich, dass in gewissen Fällen auch ein Platzwechsel dieser Erbfaktoren (Chromomikrosomen) von einem Chromosom zu einem andern stattfindet. Die Annahme, dass die Erbfaktoren in den Chromosomen in der Mehrzahl vertreten sind und dass unter Umständen ein Platzwechsel, ein Übertritt von einem Chromosom ins andere, korrespondierende möglich ist, ist uns ganz besonders durch die schönen Untersuchungen von MORGAN und seinen Schülern an der Fliege Drosophila auf das deutlichste gezeigt worden. So kann es nicht als unvereinbar mit der *chromosomatischen Theorie der Vererbung* hingestellt werden, wenn sich hier und dort gewisse Abweichungen vom Mendelschen Spaltungsschema zeigen.

Es ist wohl nicht zuviel gesagt, wenn wir die Erforschung der Bedingungen der Vererbung als eine der wichtigsten Aufgaben

der Biologie und Entwicklungsmechanik bezeichnen. Der eminente Fortschritt, der in den letzten 40—60 Jahren auf diesem Gebiet erzielt worden ist, beruht einmal auf dem von Mendel begründeten und von vielen andern nach ihm weiter bestätigten Nachweis, dass getrennte Faktoren der Vererbung in den Keimzellen und Keimbahnzellen angenommen werden müssen, die eine stoffliche Grundlage haben — und zweitens auf dem von der modernen Zytologie erbrachten Nachweis, wo wir diese Vererbungsträger in den Zellen zu suchen haben. Es ist uns ganz unverständlich, wie man heute noch behaupten kann, dass es keine Vererbungssubstanz gebe, und dass es überhaupt ganz gleichgültig sei, ob wir die Organe der Vererbung und ihre Anordnung kennen oder nicht, indem ja die Vorgänge in der objektiven Welt restlos erforscht werden können ohne Morphologie, ohne Berücksichtigung des Substrates, an dem sie sich abspielen, und seiner Bau- und Entwicklungsverhältnisse. Kein Morphologe wird behaupten wollen, dass mit der Kenntnis der letzteren das Rätsel der Vorgänge gelöst sei. Aber es ist doch damit ein Schritt zur besseren Erkenntnis getan, wenn wir uns die Zelle nicht mehr als blossen Topf denken, in welchem chemische Substanzen formlos durcheinander gemischt sind.

Handelt es sich nun im Grund nicht wieder um eine ähnliche naive Vorstellung, wenn man sich die Erbfaktoren als blosse formlose, nicht organisierte chemische, katalytisch wirkende Stoffe (Enzyme) denkt, obschon man weiss, dass sie sich genau getrennt halten, regelrecht wachsen, sich teilen und sich vermehren, und dass ihre Einwirkungen nach ganz genau quantitativ bestimmbaren Gesetzen statthaben? Wir können uns die verschiedenen Erbfaktoren, die, wie Mendel gezeigt hat, voneinander unabhängig sein müssen, durchaus nicht anders vorstellen denn als Organellen mit selbständigem Leben. Sie müssen selber eine zentralisierte Organisation besitzen und je einen bestimmten, sich wiederholenden Entwicklungsgang durchmachen, je ein Mal entsprechend jeder Zellgeneration. Es ist aber nicht ausgeschlossen, dass sie namentlich in den somatischen Zellen bei weitergehender Zellteilung und Differenzierung durch die besonderen veränderten Verhältnisse des Zellenleibes in ihrer Natur und in ihrem Entwicklungsgang beeinflusst und zu besonderem Verhalten veranlasst werden. Man muss sich wohl vorstellen, dass sie nicht die Enzyme oder Fermente selbst sind, sondern dass sie solche Agentien elaborieren

und an den Zellenleib abgeben. Sie müssen aber für ein solches Verhalten erst durch besondere Reize sensibilisiert und aktiviert werden. Sie beginnen also ihre Tätigkeit erst, wenn im umgebenden Zellenleib bestimmte Bedingungen gegeben sind, was für die verschiedenen Erbfaktoren nicht gleichzeitig und nicht jeweilen an allen Zellen realisiert zu werden braucht. Dabei müssen die fermentbereitenden Herde selbst verändert, an einzelnen Stellen begünstigt, vielleicht auch schliesslich erschöpft und aufgelöst werden, während sie an anderen Stellen vielleicht wegen Nichtgebrauch von vornherein verkümmern.

Auch die in der Keimbahn weiter gegebenen Erbsubstanzen können wohl gewisse Leistungen entfalten und dabei gewisse Veränderungen erfahren. Es sind aber diese Veränderungen im allgemeinen reparabel. Man muss sich aber die Frage stellen, ob nicht unter gewissen Bedingungen auch in der Keimbahn die Zellen in irreparabler Weise, durch Einflüsse, welche den ganzen Organismus treffen, verändert werden können. Einige Vererbungstheoretiker sind geneigt, eine solche Möglichkeit zu leugnen; sie wollen das ganze Spiel des Variierens aus genotypischer Veränderung einzig durch die veränderte Kombination an sich qualitativ unveränderlicher Erbfaktoren zurückführen, oder höchstens das Verlorengehen von solchen Faktoren zugeben. *(Kombinationsvariation.)* Das würde zu der Folgerung führen, dass schon in den ersten Anfängen des Lebens alle jetzt in der Lebewelt vorhandenen Erbfaktoren oder eine noch grössere Zahl und Auswahl von solchen vorhanden gewesen sind. Solches ist nicht wahrscheinlich. Wir müssen vielmehr im Prinzip auch die Möglichkeit der Transformation der einzelnen Erbfaktoren annehmen und hierin eine weitere, vielleicht die besonders wichtige Ursache der Abänderung von Genotypen in der Deszendenz vermuten. *(Transformationsvariation.)*

Der Weg zur Erforschung aller dieser Fragen ist lang und mühsam. Beobachtung, Vergleich und Experiment müssen Hand in Hand gehen, und eine immer genauere Würdigung der gestaltlichen und Gestaltungsverhältnisse in der Organisation der lebenden Substanz und der stofflichen Grundlage der Vererbung wird sich als unumgänglich notwendig erweisen.

Wird es der zytologischen Untersuchung dereinst möglich sein, mit den verfeinerten Hilfsmitteln der Ultramikroskopie die innere Organisation der Erbfaktoren, ihren Entwicklungsgang, die Art

ihrer Verbindung in den Chromosomen, ihr Verbleiben in denselben und ihren Platzwechsel, ihr Verhalten bei der Sensibilisierung und Aktivierung genauer zu ergründen? Wird es vielleicht mit der Zeit gelingen, so wie man jetzt an einzelnen Zellen operiert, sie explantiert und ihr Verhalten unter den verschiedensten künstlichen Bedingungen untersucht, so auch ähnliches mit einzelnen Chromosomen und Chromosomenabschnitten vorzunehmen? Wird uns die Natur selbst entsprechende Experimente liefern? Werden die Fortschritte der Chemie in der Erforschung der organischen Substanzen, der Kolloide und Fermente, der Abhängigkeit chemischer Prozesse von supramolekulären Strukturen und Grenzflächen ein Verständnis verschaffen für die intimen, in der lebenden Substanz vor sich gehenden Prozesse?

Wir glauben an einen solchen Fortschritt.

Freilich mit jedem Fortschritt erstehen vor dem Auge des Forschers neue Rätsel. Er muss einsehen, dass er nur ein Streckenarbeiter ist, der früher oder später auf der Strecke liegen bleiben wird. Aber das Bewusstsein, wenn auch noch so wenig an der Eröffnung des Weges zu besserer Erkenntnis mitgearbeitet zu haben, ist ihm genug, ist sein Optimismus, sein Idealismus, sein Trost.

In der Überzeugung, dass alle, die im Verlaufe unserer Tagung die Früchte ihrer wissenschaftlichen Arbeit vor uns ausbreiten wollen, von diesem Geiste selbstloser Hingabe an die Erforschung der Wahrheit erfüllt sind, und dass wir alle, die wir das uns Dargebotene entgegenzunehmen bereit sind, ihrem unermüdlichen Streben unsere Achtung und Dankbarkeit zollen, erkläre ich die 103. Jahresversammlung der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft für eröffnet.

Les tendances de la physique moderne et la notion de matière

Ch.-E. Guye

Si l'on cherche à se rendre compte du vertigineux essor qu'a pris depuis une trentaine d'années la physique moderne, on est tenté de le caractériser par les trois qualificatifs suivants:

La physique moderne est devenue de plus en plus *électromagnétique, discontinue* et *statistique.*

A ces trois caractères qui suffisaient pleinement à jeter le trouble dans les esprits accoutumés aux conceptions classiques du milieu du XIX^{e} siècle, est venu s'en ajouter un quatrième, plus troublant encore, par l'introduction du principe de relativité. Avec ce principe, la physique tend à devenir non seulement *relative,* mais *métaphysique,* ce qui risque fort de donner parfois aux discussions scientifiques une allure dogmatique.

Dans le court espace de temps dont je dispose, vous me permettrez de ne dire que fort peu de choses de ces tendances générales: il sera plus aisé de les rendre compréhensibles en montrant comment elles ont agi sur l'évolution de la notion de *matière.* De toutes les notions métaphysiques que nous sommes appelés à utiliser dans l'explication des phénomènes physiques, celle de matière est peut-être la plus importante. C'est elle en effet qui sépare le physicien du géomètre tout en le reliant au biologiste.

PREMIÈRE PARTIE

I

J'ai dit tout à l'heure que la physique tendait à devenir de plus en plus *électromagnétique.*

En effet, bien que l'expérience de Thalès de Milet, démontrant que l'ambre (*ελεκτρον*) frotté était susceptible d'attirer les corps légers, soit une des plus anciennes expériences de physique qui

aient été réalisées, on peut dire que l'électricité n'a conquis que très tardivement la place d'honneur qu'elle occupe aujourd'hui dans l'explication des phénomènes physiques.

Jusque vers le milieu du XIX^{e} siècle, et actuellement encore de façon moins absolue, la classification des phénomènes physiques est celle qui résulte directement et presque exclusivement de leur observation sensorielle originelle.

A la notion d'*effort musculaire,* nous voyons correspondre la mécanique physique, à l'*ouïe,* l'acoustique, à la *vue,* l'optique, à la *sensation de toucher chaud ou froid,* la chaleur.

Seuls l'électricité et le magnétisme ne semblaient correspondre à aucun sens spécial; aussi ces deux domaines formèrent-ils pendant longtemps un chapitre à part qui ne semblait relié à aucun autre et que l'on avait coutume de placer à la fin des traités de physique.

Le premier pas décisif dans la généralisation des phénomènes électromagnétiques fut franchi par Maxwell et ses successeurs qui réunirent en un seul corps de doctrine les phénomènes de la lumière et ceux de l'électromagnétisme. Par cette conception hardie, la lumière devenait ainsi un chapitre spécial de ce dernier domaine.

La théorie électromagnétique de la lumière, comme vous le savez, est aujourd'hui universellement admise par les physiciens. Non seulement elle explique tous les faits dont la théorie mécanique de Fresnel fournissait une explication satisfaisante, mais elle embrasse tous les phénomènes d'électro-optique dont l'ancienne théorie était impuissante à rendre compte de façon complète (rapports entre la constante diélectrique et l'indice de réfraction, phénomène de Zeemann, phénomène de Kerr, etc.).

La théorie électromagnétique de la lumière fut donc un événement considérable dans l'évolution de la physique vers l'électromagnétisme. Mais depuis, cette tendance à considérer le phénomène électromagnétique comme le plus général, celui qui par des modifications ou des simplifications convenables, les comprendrait tous, n'a fait que se développer. A l'heure actuelle, cette tendance a même atteint la mécanique qui paraissait la base immuable de l'ancienne physique. C'est ainsi que le postulat fondamental de la mécanique classique, l'*inertie* a trouvé une explication dans les propriétés mêmes du champ électromagnétique et les phénomènes de self induction.

Partout nous voyons donc les forces électriques et magnétiques se substituer aux autres forces, et tout récemment encore M. KEESOM et M. DEBYE ont pu de façon très plausible, assimiler les forces de la pression interne des fluides à des actions électrostatiques.

Mais cette généralisation des explications électromagnétiques paraît avoir une cause profonde dans le fait que les atomes eux-mêmes seraient constitués exclusivement par des charges électriques; ces charges, douées d'inertie, graviteraient autour d'un noyau électropositif, comme le feraient des planètes autour d'un astre central.

Cette conception permet ainsi par les seules lois de l'électromagnétisme, adaptées il est vrai à la mécanique discontinue de l'atome, de rendre compte des principales propriétés que l'on attribue aux atomes; leur inertie, l'émission de raies spectrales et même dans une certaine mesure, l'affinité chimique.[1]

C'est, comme on le voit, le triomphe sur toute la ligne de l'électromagnétisme. En effet, si, en dernière analyse, les atomes des corps simples ne sont constitués que par le groupement de charges électriques positives et négatives, il en résulte que toutes les forces de la physique et de la chimie (à l'exception peut-être de la mystérieuse gravitation) se réduisent à des forces électriques et magnétiques, agissant suivant les lois connues qu'a déterminées pour la première fois l'illustre COULOMB.

II

Nous avons dit en second lieu que la physique moderne était orientée vers la *discontinuité.*

Cette discontinuité de la matière est affirmée d'abord par toute la *chimie* et particulièrement par la théorie atomique.

Comment en effet expliquer aisément, sans elle, les lois fondamentales des proportions définies et des proportions multiples qui régissent les combinaisons et les décompositions chimiques?

Nous la retrouvons également dans toutes les *théories cinétiques* dont DANIEL BERNOULLI, le savant bâlois, eut l'immortelle gloire de jeter les premières bases scientifiques.

Ces conceptions cinétiques furent pendant longtemps, il est vrai, purement théoriques, mais les études faites récemment sur

[1] Voir à ce sujet A. BERTHOUD. La constitution des atomes et l'affinité chimique. *Rev. gén. des Sciences,* juillet 1922.

le mouvement brownien leur ont donné une réalité expérimentale qu'elles n'avaient pas auparavant. En effet, l'étude de ce singulier mouvement d'agitation des particules en suspension a fourni une image visible de l'agitation thermique et surtout a permis de retrouver, avec une grande approximation, les principales constantes numériques de la théorie cinétique des gaz. Par l'étude statistique des déplacements browniens, on a donc jeté un pont entre le visible et l'invisible et rendu les théories cinétiques presque tangibles.

Mais cette notion de discontinuité n'est pas restée confinée aux seules particules, molécules ou atomes; nous avons vu apparaître l'*atome d'électricité négative* (électron). D'autre part, les recherches les plus récentes nous permettent d'envisager dans la constitution des atomes, des *atomes d'électricité positive* (électrons positifs) dont l'inertie serait très sensiblement égale à celle de l'atome d'hydrogène et près de deux mille fois plus grande que celle des électrons négatifs.

Or, cette inertie de l'électricité n'est pas une pure fiction de l'imagination. On la mesure actuellement avec une très grande précision. De plus la réalité de ces charges élémentaires s'est vue confirmée par tout un ensemble de phénomènes, tels que l'ionisation des gaz, les rayonnements radioactifs, la conductibilité des électrolytes, etc.

Tous ces phénomènes sans exception font appel à la notion de l'existence d'une charge élémentaire.

Mais cette notion de discontinuité ne s'est pas étendue seulement à la matière et à l'électricité envisagée actuellement comme une matière; elle a envahi le domaine de l'énergie, avec la théorie si féconde des quanta.

L'étude du *rayonnement* nous montre en effet l'émission de la lumière s'effectuant par petits paquets, par grains d'énergie. D'autre part, la *mécanique atomique* semble être, elle aussi, discontinue. Les mouvements de ces planètes minuscules ne sont pas régis par des lois analogues à celles qui gouvernent notre système solaire. Toutes les modifications qui peuvent se produire à l'intérieur de ces systèmes paraissent conditionnées, non par des modifications continues, mais par de brusques variations d'énergie. *Natura non fecit saltus* avait-on coutume de dire autrefois. Il n'y a pas actuellement d'adage qui ait en physique moins de valeur et de succès.

En définitive, il semble que la continuité dans tous les domaines ne soit qu'une illusion, illusion commode puisqu'elle facilite, il est vrai, singulièrement nos calculs, en nous permettant d'appliquer à la résolution des problèmes qui se posent ce précieux auxiliaire qu'est le calcul différentiel et intégral.

Mais si l'on pénètre dans l'intimité des phénomènes, on se heurte, semble-t-il, toujours au discontinu, c'est-à-dire à de brusques variations.[1]

III

La troisième tendance est, nous l'avons dit, la tendance *statistique.* Elle est la conséquence directe de la discontinuité et du nombre prodigieux d'éléments moléculaires atomiques ou électroniques qui interviennent dans le phénomène le plus simple en apparence.

Dans un centimètre cube de gaz à 0° et 760 mm, nous avons environ 3×10^{19} molécules, c'est-à-dire trente milliards de milliards d'éléments moléculaires qui agissent les uns sur les autres, s'entrechoquent et choquent les parois du vase qui les contient; et le résultat de cette extraordinaire complexité c'est une loi statistique très simple: la loi de Mariotte.

Les lois de la physico-chimie nous apparaissent ainsi comme des lois statistiques qui nous cachent les lois individuelles d'action entre molécules, atomes et électrons, et le *principe de Carnot,* qui régit, comme on sait, l'évolution physico-chimique prend alors l'apparence d'un principe d'évolution statistique vers les configurations les plus probables, parmi toutes les configurations possibles que sont susceptibles de former entre eux les éléments en jeu.

Cette nouvelle conception a pour effet d'élargir singulièrement la notion du déterminisme physico-chimique en le représentant, non comme un déterminisme absolu, mais comme un déterminisme statistique, auquel la loi des grands nombres donne toute l'apparence d'une infinie précision.

IV

Sur ces diverses tendances de la physique moderne est venu se greffer le *principe de relativité* qui apporte un trouble nouveau

[1] Il n'y a pas à l'heure actuelle, jusqu'aux biologistes qui n'aient reconnu la nécessité de faire appel à la notion de discontinuité dans l'évolution biologique. Telles sont en particulier ces mutations héréditaires, lesquelles font *brusquement* apparaître un caractère nouveau qui se fixe et devient permanent.

dans nos conceptions habituelles, mais qui cependant a le mérite d'unifier et de simplifier le calcul des phénomènes physiques dans bien des cas.

Vous me permettrez, dans le court espace de temps dont je dispose, de ne pas vous faire ici un plaidoyer ou un réquisitoire en faveur ou contre ce terrible principe.

Je me bornerai seulement à vous indiquer la raison fondamentale pour laquelle partisans et adversaires ne peuvent arriver à se mettre d'accord. Cette raison me semble d'ailleurs de nature plus métaphysique que physique; car la concordance entre les résultats des formules de la relativité et de l'expérience n'a pas été jusqu'ici mise en défaut. Il est vrai que le nombre des expériences qui permettent de déceler une différence entre les deux conceptions est encore petit et que leur précision n'est pas encore très grande. Néanmoins, on peut affirmer à l'heure actuelle qu'aucun fait expérimental ne vient infirmer les nouvelles formules.

La divergence entre partisans et adversaires du principe de relativité repose en réalité sur deux conceptions diamétralement opposées et inconciliables de la notion que nous nous faisons du temps et de l'espace.

Newton envisageait le temps et l'espace indépendamment de tout phénomène. Voici d'ailleurs comment il s'exprime dans son célèbre scolie: *Le temps absolu, vrai et mathématique, pris en soi et sans relation avec aucun objet extérieur, coule uniformément par sa propre nature.*

L'espace absolu, indépendant par sa propre nature de toute relation à des objets extérieurs, demeure toujours immuable et immobile.

Pour lui, les trois grandeurs fondamentales qui sont à la base de nos explications physico-chimiques, l'espace, le temps et la masse d'un corps avaient quelque chose d'*absolu.*

Lorsqu'on affirme, par exemple, qu'un certain corps a la forme sphérique, c'est, pour Newton, une *vérité valable pour tout l'univers;* de même si l'on dit que la durée d'un phénomène est d'une seconde ou que la masse d'un corps est d'un gramme, il n'existe aucun point de l'univers où cette assertion ne soit une vérité. Cette façon d'envisager les grandeurs fondamentales de la mécanique ayant toujours été jusqu'à la célèbre expérience de Michelson en parfait accord avec les faits expérimentaux, on s'était peu à peu habitué

à la considérer comme axiomatique et tout raisonnement basé sur une conception différente paraissait et peut paraître encore contraire *au bon sens.*

Mais voilà que les Einsteiniens s'avisent de définir le bon sens de façon différente en proclamant que les notions d'espace de temps et de masse doivent être déduites des seules expériences, y compris celles où les vitesses deviennent très grandes. Or, la conception à laquelle ils arrivent coïncide pratiquement avec celle de NEWTON tant que l'on n'envisage que de faibles vitesses ou des champs de gravité peu intenses, mais lorsque les vitesses deviennent énormes, la divergence entre leur définition du temps et de l'espace va en s'accentuant.

En résumé pour les Newtoniens, les trois grandeurs qui sont à la base des explications mécaniques (espace, temps, masse) ont quelque chose d'absolu, tandis que pour les Einsteiniens elles ont quelques chose de relatif et dépendent des vitesses relatives et des champs de gravité, c'est-à-dire du mode de répartition de la matière.

La métaphysique des Newtoniens est plus simple, mais il semble que leur physique doive avoir une forme plus compliquée puisqu'on n'est pas parvenu jusqu'ici à donner des phénomènes à grande vitesse une image satisfaisante dans la géométrie euclidienne.

La métaphysique des Einsteiniens est moins simple et plus générale que celle des Newtoniens, mais leur physique paraît alors plus simple, du moins dans ses formules.

Pour l'instant, laissons de côté toute considération métaphysique et rappelons seulement les conséquences fondamentales que les nouvelles formules introduisent dans l'explication des phénomènes physiques, quelle que soit l'interprétation qu'on leur donne.

En premier lieu, ces formules *simplifient considérablement la mécanique des électrons dans le cas des grandes vitesses.*

En second lieu elles réunissent en un seul principe les deux principes peut-être les plus importants de la physique: *le principe de la conservation de la matière et celui de la conservation de l'énergie.*

Dans cette manière de voir toute énergie est inerte et pesante. Il n'y a pas de matière morte, c'est-à-dire qui ne contienne en elle un principe de mouvement. Energie et inertie ne sont que les deux aspects d'une seule et même chose. On ne peut augmenter l'inertie

d'un corps sans augmenter du même coup l'énergie qu'il possède et vice-versa.

Enfin les formules de relativité nous permettent de faire presque complètement *abstraction de l'existence de l'éther,* ce fluide fantôme que l'on s'était accoutumé à considérer comme le point de repère des diverses vitesses des corps et auquel on attribuait parfois des propriétés contradictoires.

Il est donc incontestable, indépendamment de toute métaphysique, que les *nouvelles formules de la relativité, si révolutionnaires qu'elles paraissent, introduisent un élément d'unité et de simplification dans divers domaines de la physique.*

DEUXIÈME PARTIE

Dans cette seconde partie, nous montrerons comment les diverses tendances dont nous venons de parler ont agi sur l'évolution de la notion fondamentale de matière.

Mais pour apprécier les progrès accomplis, il convient de rappeler d'abord qu'il y a trente ans à peine, les physiciens, pour expliquer les phénomènes physico-chimiques, étaient obligés de faire appel à un très grand nombre de matières et de fluides hypothétiques, dits impondérables.

Tout d'abord les *corps simples*, au nombre de quatre-vingt[1] environ à l'heure actuelle; puis l'*électricité positive,* l'*électricité négative,* le *magnétisme positif,* le *magnétisme négatif,* que l'on qualifiait de fluides impondérables. Enfin, pour relier entre elles toutes ces diverses sortes de matière, il fallait recourir à l'hypothèse d'un cinquième fluide, l'*éther*.

Voici sous forme de tableau ces diverses sortes de matière:

Diverses sortes de matières

Corps simples	(80 sortes environ)
Electricité positive . .	(fluide dit impondérable)
Electricité négative . .	» » »
Magnétisme positif . .	» » »
Magnétisme négatif . .	» » »
Ether	» » »

[1] De l'hydrogène dont le poids atomique est le plus léger à l'uranium dont le poids atomique est le plus lourd, il y a place dans la classification actuelle pour 92 corps simples, dont 87 ont été jusqu'ici reconnus.

Or, les résultats acquis au cours de ces trente dernières années tendent à réduire toutes ces sortes de matière à une dualité ultime, l'*électron négatif* et l'*électron positif*. Tous ces fluides fantômes disparaissent ainsi les uns après les autres; seul, le plus tenace d'entre eux, l'éther, résiste encore, mais le principe de relativité lui a porté déjà, ainsi que nous l'avons dit, des coups très durs.

Voyons maintenant par quelle voie cette magistrale simplification tend à se réaliser toujours plus complètement. Mais d'abord une première question se pose.

1. Comment définir la matière? — On peut dire que la notion de matière s'est précisée pour la première fois avec Galilée et Newton. C'est au génie de ces savants qu'est due la définition précise de l'*inertie* qui, à notre avis, suffit entièrement à caractériser ce qui est matériel.

L'inertie est, comme vous le savez, la *propriété qu'ont tous les corps matériels de résister aux variations de vitesse qu'on veut leur imposer*.

Plus un corps est inerte plus on a de peine à le mettre en mouvement s'il est au repos, et plus il est malaisé de le ramener à l'état de repos s'il est en mouvement.

Cette propriété suffit à elle seule, avons-nous dit, à caractériser la matière; tous les autres attributs qui lui sont concédés: porosité, élasticité, divisibilité, etc., dont la liste figure généralement au début des traités de Physique ne sont en réalité que des propriétés secondaires.

Nous dirons donc que *tout ce qui possède l'inertie est matière et que toute matière possède l'inertie;* voilà une définition simple et sans ambiguïté aucune.[1]

2. Parallélisme entre la masse pesante et la masse inerte. — Mais si nous possédons depuis plusieurs siècles une définition précise de la matière par l'inertie, c'est tout récemment seulement que nous savons qu'il y a parallélisme aussi complet que possible et vraisemblablement identité entre la *masse inerte* et la *masse pesante*, telles qu'on les mesure par exemple par la force centrifuge et par la gravité ou plus spécialement par la balance.

---

[1] Mais à la notion de matière est liée, comme on sait, inséparablement celle de force; et la force peut être alors définie de façon générale: *toute cause susceptible de modifier l'état de mouvement d'un corps matériel.*

C'est au baron Eötvös que sont dues les belles expériences qui ont montré avec une précision qui n'avait jamais encore été atteinte, que la direction d'un fil à plomb sous l'influence combinée de la force centrifuge terrestre et de la gravitation était rigoureusement indépendante de la nature de la substance suspendue à l'extrémité de ce fil.

C'est donc à ces expériences relativement récentes que l'on doit la démonstration d'une vérité que l'on soupçonnait, il est

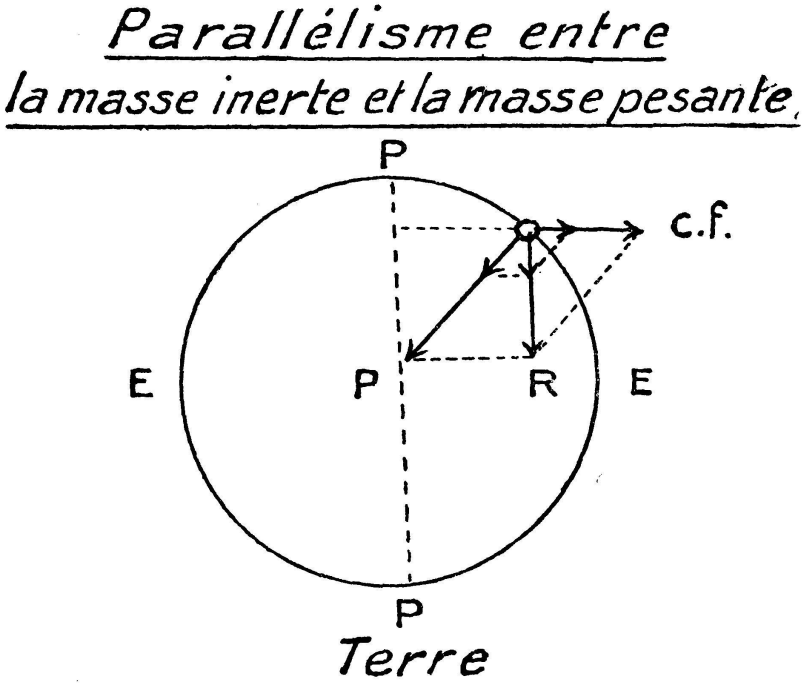


Fig. 1

vrai, depuis fort longtemps: *le parallélisme entre la masse inerte et la masse pesante.* La figure 1 montre le principe très simple des expériences d'Eötvös.

La direction de la résultante R de la force centrifuge et de la pesanteur pour un même point du globe est toujours la même quelle que soit la nature et l'inertie de la masse suspendue à l'extrémité du fil. Elle sera par exemple la même pour une balle de liège ou une balle de plomb. En d'autres mots la force centrifuge et la pesanteur varient toutes deux proportionnellement à la masse du corps suspendu.

3. La conservation de la masse. — Si nous faisons abstraction des philosophes précurseurs de la théorie atomique,

c'est avec Lavoisier que s'ouvre une première phase dans l'histoire moderne de la notion de matière.

De Lavoisier à la découverte des corps radioactifs, deux principes dominent toute la physique: *le principe de la conservation de la matière* (dû précisément au génie de Lavoisier) et qui veut que *dans toute réaction physique ou chimique, la somme des masses des composés et des composants reste invariable.* La vérification de ce principe a été poussée récemment jusqu'aux dernières limites de précision ($1/10{,}000{,}000$) que permettent les pro-

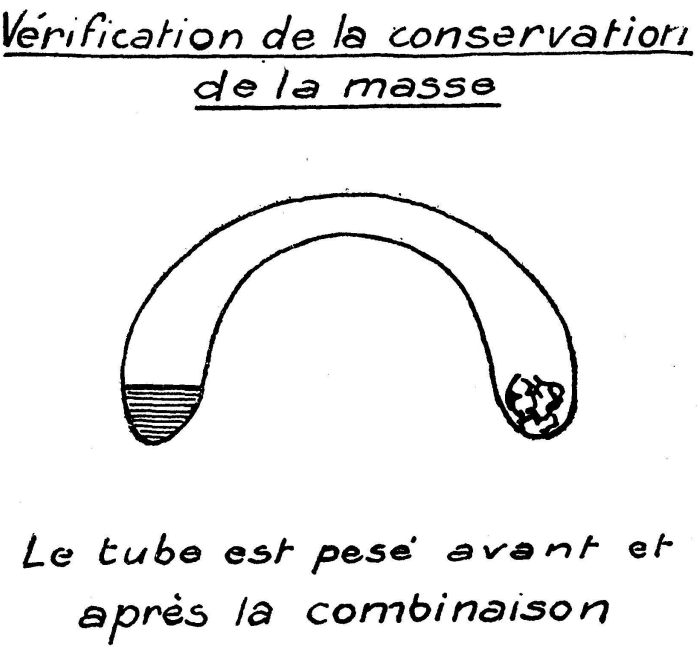


Fig. 2

cédés de pesée les plus modernes (Landolt et Manley). On peut donc dire que ce principe s'applique *pratiquement* à toutes les réactions que nous appelons physico-chimiques. La figure 2 montre le dispositif très simple en principe qui permet cette vérification fondamentale. Dans un tube fermé à la lampe on a introduit deux substances susceptibles de réagir l'une sur l'autre; l'expérience consiste à peser le tube avant la réaction, puis à produire la réaction par agitation de l'appareil et à peser de nouveau avec le plus grand soin après refroidissement.

Mais si le principe de la conservation de la masse est expérimentalement démontré lorsqu'il s'agit de réactions physico-chimiques, sa validité est moins probable lorsqu'on veut l'étendre aux réac-

tions intra-atomiques comme nous le verrons tout à l'heure, car, toutes proportions gardées, ces réactions dégagent des quantités d'énergie autrement considérables.

Non moins important que le principe de la conservation de la matière est le principe de la *conservation de l'énergie*, qui nous enseigne que, dans toute réaction physico-chimique, il y a quelque chose aussi qui demeure constant; et ce quelque chose est l'énergie. Mais bien que l'on ne puisse concevoir de l'énergie sans matière, on s'était habitué à considérer l'énergie comme quelque chose d'immatériel qu'on pouvait transporter d'un corps à l'autre, enlever ou ajouter aux corps matériels, sans rien changer à leur inertie. L'expérience en effet n'avait jamais permis de déceler aucune différence de poids, lorsqu'un corps avait gagné ou perdu de l'énergie (calorifique par exemple).

Ces deux principes constituaient donc la base fondamentale de l'explication des phénomènes physiques, dont l'évolution était en outre conditionnée par un troisième principe non moins important, *le principe de Carnot.*

Conservation de la masse, conservation de l'énergie, principe de Carnot, tels ont été et sont encore les guides les plus sûrs des recherches physico-chimiques.

4. Les corps simples. — Mais ce qui caractérise la période qui va de Lavoisier à la découverte des corps radioactifs, c'est qu'on était arrivé, par tout un ensemble de recherches précises, à la conclusion qu'il y avait environ quatre-vingt sortes de matières différentes, correspondant à ce que l'on appelle les corps simples et que ces diverses sortes de matière ne pouvaient par aucun des agents physico-chimiques connus se transformer les unes dans les autres.

L'hypothèse de Prout. — On avait bien essayé de voir (Prout), si les poids atomiques des divers corps simples étaient des multiples exacts de celui de l'hydrogène, le plus petit d'entre eux, mais les différences constatées de façon certaine par l'expérience, semblaient exclure définitivement cette hypothèse, qui s'efforçait de ramener à une matière unique les diverses sortes de matières qui constituent les corps simples. Voici, à titre d'exemple, les valeurs des poids atomiques de divers atomes; nous avons mis en regard les huit plus légers et les huit plus lourds.

Pour les atomes légers, les poids atomiques, sont en effet, très voisins d'être des multiples de celui de l'hydrogène, mais les différences constatées sont plus grandes que les erreurs possibles d'expériences. Il fallut donc renoncer provisoirement à l'hypothèse si séduisante de PROUT.

Tableau

H	= 1 (1)	Pt	= 193,5
He	= 3,98 (4)	Au	= 195,6
Li	= 6,94 (7)	Pb	= 205,6
Be	= 9,1 (9)	Bi	= 206,3
B	= 10,9 (1)	Nit	= 220,6
C	= 11,91 (12)	Ra	= 224,6
Az	= 13,90 (14)	Th	= 230,6
O	= 15,96 (16)	Ur	= 236,6

D'ailleurs les résultats de l'analyse spectrale appliquée aux astres, semblaient bien confirmer de façon définitive, en la généralisant de façon grandiose, cette diversité ultime et irréductible des diverses sortes de matière. Il semblait donc que l'on avait condamné à tout jamais le rève des alchimistes.

5. Les décompositions intra-atomiques. — C'est la découverte de la radioactivité qui a porté le premier coup décisif à l'absolu de cette conclusion. La décomposition spontanée de l'émanation du radium avec production d'hélium, démontrée pour la première fois par RAMSAY et SODDY et confirmée depuis par CURIE et DEWAR, reste un des événements les plus considérables dans l'histoire de la constitution de la matière.

La figure 3 représente le dispositif de l'expérience de CURIE et DEWAR. Dans un tube de quartz chauffé au rouge, on introduit une petite quantité d'un sel de radium; on fait le vide avec le plus grand soin et l'on ferme au chalumeau. Des armatures métalliques permettent de produire les lueurs dans le tube au moyen d'une bobine d'induction et de les analyser au spectroscope. On ne tarde pas à observer le spectre de l'émanation qui se dégage du radium; mais peu à peu, au bout d'un certain nombre de jours, apparaissent les raies de l'hélium et celles-ci se renforcent d'autant plus que l'expérience se prolonge d'avantage.

A première vue, on se demanda s'il ne s'agissait pas là d'une simple décomposition chimique. Mais cette décomposition singulière

présente deux caractères qui la différencient totalement de toutes les autres réactions chimiques connues. D'une part, l'énergie dégagée à masse égale est plusieurs centaines de mille fois plus grande que celle correspondant aux réactions chimiques les plus énergiques; et d'autre part, cet énorme dégagement de chaleur (132 calories gramme par minute et par gramme de radium) demeure indépendant de la température d'expérience; qu'on l'observe à la température de + 1400° ou à celle de — 190° (air liquide), il demeure le même.

On se trouve bien là en présence d'un phénomène d'une autre nature, de ce que l'on appelle aujourd'hui une réaction *intra-atomique*.

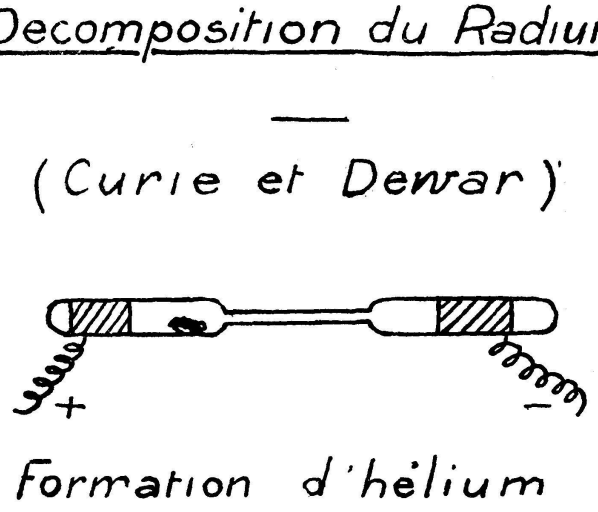


Fig. 3

En outre, il semble que l'on soit impuissant à activer ou ralentir la vitesse de cette décomposition. En face de l'infiniment petit de ces décompositions radioactives, le physicien paraît se trouver dans la situation de l'astronome en face de l'infiniment grand des mondes stellaires; il demeure simple spectateur. Cette conclusion ne semble pas néanmoins absolue et les plus récentes expériences de Sir E. Rutherford conduisent à admettre que l'on peut dans certains cas agir et produire des réactions intra-atomiques en utilisant l'énergie même de ces réactions. C'est ainsi qu'en faisant agir sur la masse d'un gaz simple un bombardement énergique de rayons α, on réussit à décomposer un certain nombre d'atomes de ce gaz.[1]

[1] Les rayons α sont, comme on sait, des atomes d'hélium, dont la vitesse est de l'ordre de 20 000 km à la seconde; ils sont projetés dans la décomposition spontanée des substances radioactives.

6. L'atome d'électricité. — Mais conjointement à l'étude des rayonnements radioactifs, tout un ensemble de phénomènes qui caractérisent le passage de l'électricité à travers les gaz, et que l'on appelle phénomènes d'ionisation, rayons cathodiques, rayons β, etc., amenèrent peu à peu les physiciens à la découverte de l'*atome d'électricité* dont la charge a été déterminée de façon particulièrement précise par le physicien américain MILLIKAN. La fig. 4 donne le schéma du dispositif de ces expériences.

Entre les plateaux d'un condensateur, on produit au moyen

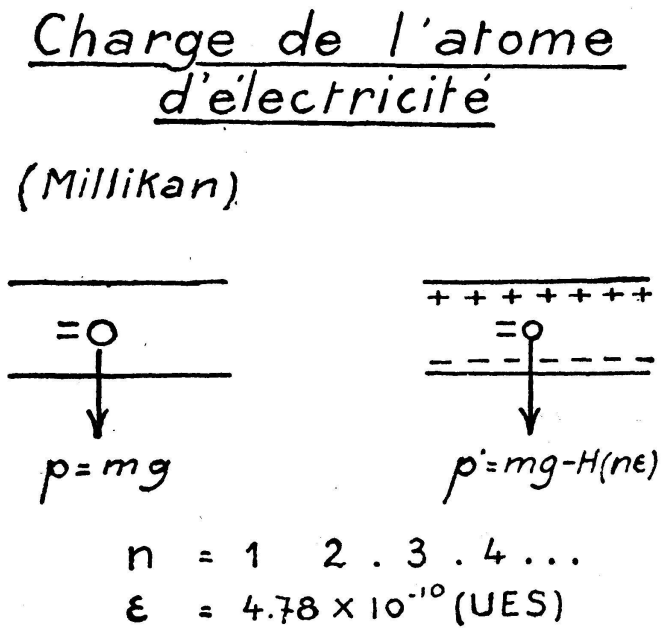


Fig. 4

d'un pulvérisateur de très petites sphérules d'huile et on les charge d'électricité positive ou négative en faisant agir, dans l'atmosphère qui les baigne, une action ionisante (rayons X, rayonnement du radium, etc.).

L'expérience consiste à mesurer la vitesse de chute de la sphérule en l'absence de tout champ électrique (schéma de gauche) et la vitesse de chutte de cette même sphérule, sous l'action combinée de la pesanteur et d'un champ électrique (schéma de droite).

Un calcul très simple permet alors d'en déduire la charge de la sphérule.

Or le résultat fondamental qui se dégage de ces expériences, aujourd'hui classiques et répétées dans nombre de laboratoires,

c'est que les charges qui recouvrent les gouttelettes en suspension, *ne varient que de façon discontinue.* La plus petite de ces charges observées (4.77×10^{-10} U E Sc.G.S.) a reçu le nom d'atome d'électricité ou *électron.*

La découverte de l'électron a immédiatement jeté une lumière nouvelle sur l'explication des phénomènes d'électrolyse, et indirectement sur celle de valence chimique.

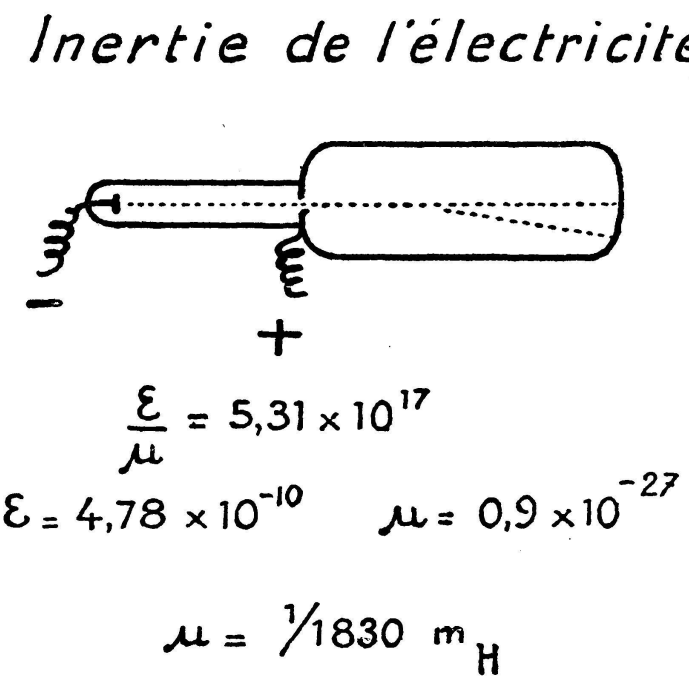


Fig. 5

7. Matérialité de l'électricité. — Mais le point qui nous intéresse plus specialement aujourd'hui est le suivant. *L'électricité est-elle ou non de la matière?*

Pour répondre à cette question il suffit d'en poser et d'en résoudre une autre équivalente. *L'électricité possède-t-elle de l'inertie?*

La fig. 5 montre le dispositif au moyen duquel on peut mesurer l'inertie d'une charge électrique. Dans un tube de verre où l'on a poussé très loin la raréfaction (tube cathodique), on fait agir une forte différence de potentiel entre la cathode — et l'anode +. La partie gauche du tube fonctionne alors comme un canon qui lancerait avec une énorme vitesse (pouvant atteindre la moitié de celle de la lumière) des électrons négatifs, lesquels par leur choc contre la paroi du tube font apparaître une tache fluorescente.

Si, dans ces conditions, au moyen d'un champ électrique ou magnétique l'on dévie ce faisceau d'électrons (rayons cathodiques), on voit la tache se déplacer; on peut alors calculer par des considérations balistiques le rapport de la charge d'un électron à sa masse soit $\frac{\varepsilon}{\mu}$.

Comme d'autre part on connaît la valeur de la charge ε, et de façon très précise, par l'expérience de MILLIKAN, on peut en déduire avec une très grande précision la valeur de la masse μ du projectile cathodique.

Or les expériences de cette nature, effectuées d'ailleurs sur des électrons d'origine très diverses (rayon β, rayons cathodiques, corps incandescents, etc.) ont toutes conduit à une valeur de la masse, égale assez exactement à $^1/_{1830}$ de celle de l'atome d'hydrogène.

La conclusion qui s'impose est que l'électron négatif possède une inertie, égale approximativement aux deux millièmes de celle de l'atome d'hydrogène. Cet électron entre dans la constitution des atomes, et l'électricité négative nous apparaît dès lors comme de la poussière d'atome. Mais cette poussière est inerte et vraisemblablement pesante; c'est de la matière. L'électricité perd ainsi à tout jamais ce caractère de fluide fantôme.

8. L'inertie électromagnétique. — Mais cette inertie est-elle tout à fait de même nature que celle qu'avait définie NEWTON? NEWTON, avons-nous vu, considérait la masse d'un corps comme quelque chose d'absolu qui le caractérisait et qui demeurait invariable quelles que fussent les circonstances où le corps se trouvait placé. L'inertie d'une charge électrique au contraire dépend dans une certaine mesure de sa vitesse; elle augmente d'abord très lentement au fur et à mesure que cette vitesse de déplacement s'accroît: et elle deviendrait infinie si la charge pouvait se déplacer avec la vitesse de la lumière.

Or cette augmentation de l'inertie d'une charge électrique en mouvement très rapide (prévue d'ailleurs par la théorie) a été confirmée pleinement par l'expérience. D'une part sur les rayons cathodiques et d'autre part sur les rayons β du radium au moyen d'un dispositif du type de celui représenté (fig. 5).

Voici à titre d'exemple quelques variations d'inertie correspondant à diverses vitesses.

Variation de la masse avec la vitesse

$$\frac{m}{m_0} = \frac{1}{\sqrt{1-(v/V)^2}} \qquad V = 300{,}000 \text{ km. à la sec.}$$

	v	$\frac{m}{m_0}$
Balle	1 km. sec.	1,000,000,000,006
Terre	30 „ „	1,000,000,005
Etoile	300 „ „	1,000,000,5
Particule α	20,000 „ „	1,002,2
Electron cathodique .	150,000 „ „	1,14
Electron β du radium	255,000 „ „	1,90
Electron β du radium	299,000 „ „	12,3

Dans ce tableau m représente la masse (transversale) du corps en vitesse; m_0 sa masse à l'état de repos; v est la vitesse de translation du corps; V celle de la lumière.

Les chiffres qui précèdent montrent suffisamment que ces variations d'inertie ne peuvent être décelées par l'expérience qu'à la condition de disposer de corps matériels ayant une énorme vitesse.

Or les plus grandes vitesses que peuvent prendre les corps matériels tels que projectiles, bolides, astres mêmes, dépassent rarement quelques centaines de kilomètres; on ne peut donc généralement pas dans ce cas déceler par l'expérience d'aussi faibles différences d'inertie; mais il en est autrement dans la mécanique intra-atomique.

Les électrons cathodiques, tels qu'on les produit actuellement, peuvent atteindre la moitié de la vitesse de la lumière, et la variation d'inertie qui en résulte est alors de 14 %. Ceux qui s'échappent des corps radioactifs dans la destruction spontanée de ces corps peuvent atteindre 285,000 km à la seconde et même 299,000 km à la seconde; les variations d'inertie deviennent alors considérables. Il en est de même, bien qu'à un degré moindre, pour les électrons qui gravitent à l'intérieur des atomes (SOMMERFELD).

9. Le fluide magnétique est inexistant. — La fig. 6 nous montre l'une des expériences qui ont le plus contribué à faire sombrer la croyance à l'existence des fluides magnétiques. Si la supposition de ces fluides peut être commode pour certains calculs et si pour cette raison nous les voyons figurer encore dans les

traités de Physique, leur réalité a perdu toute vraisemblance depuis les expériences de ROWLAND et de son élève PENDER.

Ces expériences ont montré qu'un disque chargé d'électricité et mis en mouvement très rapide est susceptible de faire dévier une aiguille aimantée, comme le ferait un courant électrique ordinaire. Le courant électrique correspond donc bien à un mouvement réel de l'électricité et la modification de l'espace environnant que l'on nomme champ magnétique est toujours corrélative de ce mouvement. Il devient donc superflu de faire appel à l'existence de

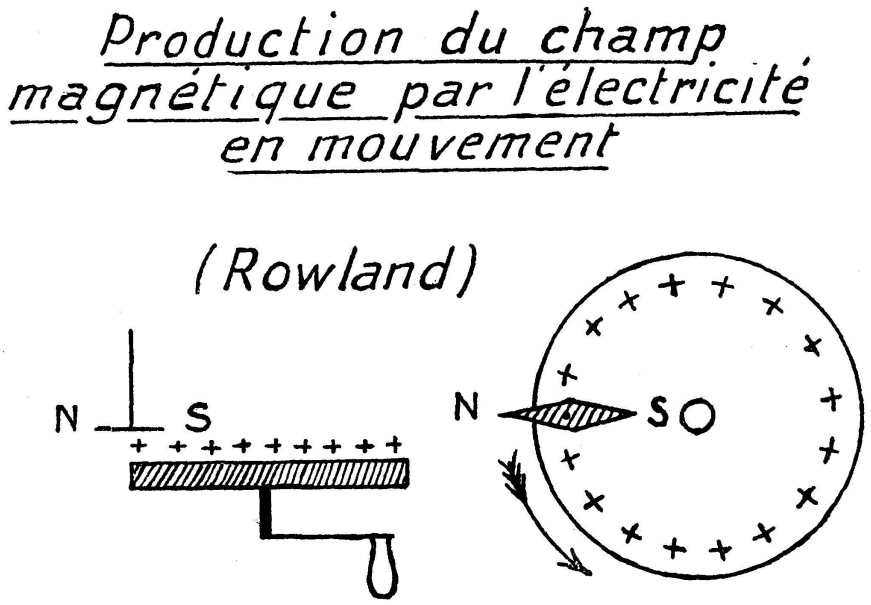


Fig. 6

fluides magnétiques spéciaux pour expliquer le magnétisme; le mouvement de l'électricité y suffit.

10. La constitution des atomes. — Sans entrer dans le détail des expériences qui ont conduit à la conception actuelle des atomes, nous donnons ci-après quelques schémas qui montreront comment les physiciens se représentent actuellement leur constitution.

Les atomes seraient constitués exclusivement de deux éléments matériels:

a) L'électron négatif dont l'inertie très faible équivaut à peu près à la deux millième partie de l'inertie d'un atome d'hydrogène.

b) L'électron positif („nucléon") ayant une charge égale à celle de l'électron négatif, mais beaucoup plus condensée; ce qui, en vertu

des théories électromagnétiques, lui donne une inertie beaucoup plus grande. L'inertie de l'électron positif serait à peu près celle de l'atome d'hydrogène.

Par cette conception, au lieu de quatre-vingt espèces de matière, nous n'en avons plus que deux, et toutes les forces de la physique (à l'exception de la gravitation) se trouvent ramenées de la sorte à des forces électromagnétiques.

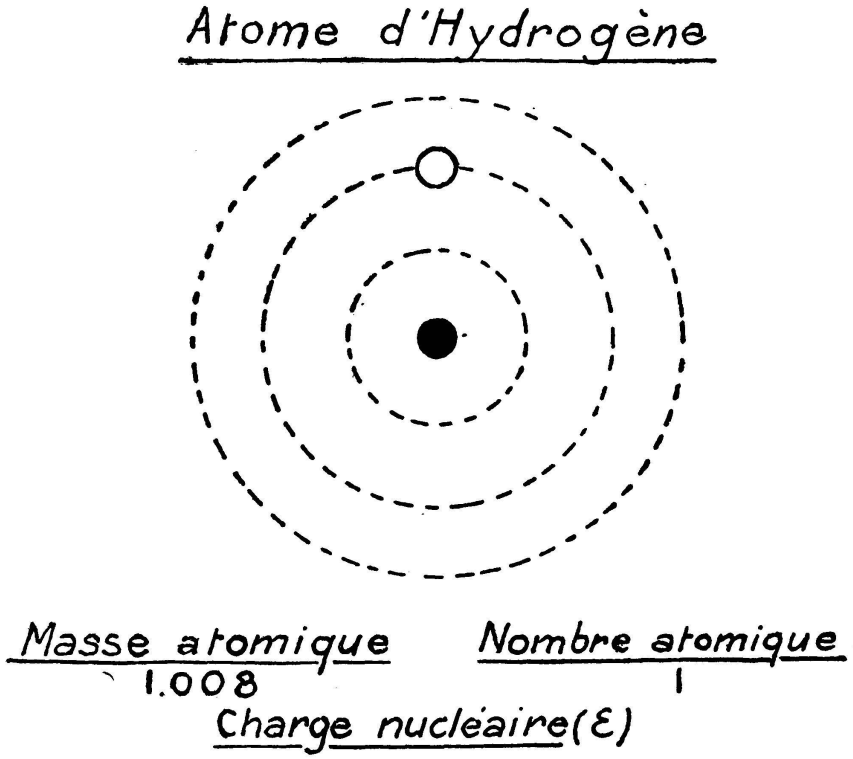


Fig. 7

Voici maintenant à titre d'exemple deux schémas représentant les conceptions les plus simples.

Atome d'hydrogène. — Il serait constitué d'un électron positif central d'inertie égale à *un,* autour duquel gravite un électron négatif, d'inertie à peu près négligeable. Fig. 7.

Il ne faudrait pas s'imaginer que ce schéma soit de pure imagination. Déjà il se trouve appuyé par un ensemble imposant de confirmations expérimentales. En particulier si l'on applique à ce dispositif les lois de la mécanique discontinue des quanta on peut calculer avec une très grande précision les longueurs d'ondulation de 27 raies spectrales principales émises par l'atome d'hy-

drogène. Ces raies seraient produites au moment où l'électron négatif qui gravite autour du noyau central changerait brusquement d'orbite (Atome de Bohr.). Il est tout à fait remarquable qu'un modèle aussi simple permette le calcul exact d'un spectre déjà très complexe.

Atome d'hélium. — Après l'atome d'hydrogène, l'atome d'hélium serait le plus simple (fig. 8). Son noyau serait constitué par quatre électrons positifs (inertie = 4) retenus ensemble par deux électrons négatifs. Tout autour de ce noyau dont la charge posi-

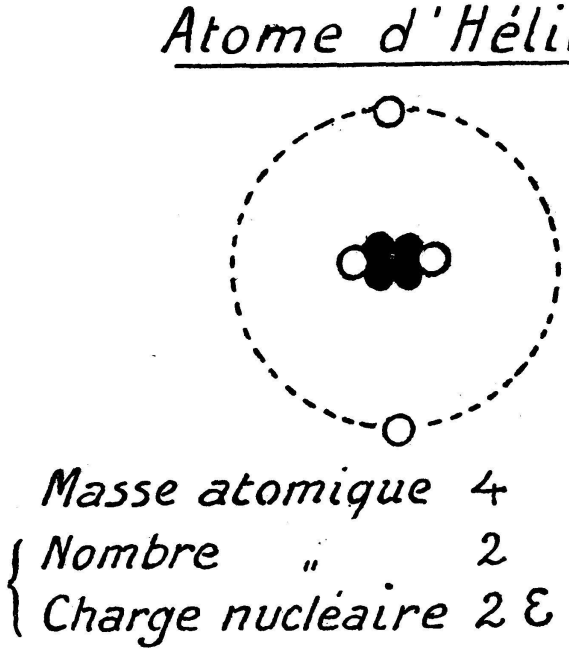


Fig. 8

tive algébrique est $4\varepsilon - 2\varepsilon = 2\varepsilon$ graviteraient deux électrons négatifs. La mécanique de l'atome d'hélium n'est pas aussi simple que celle de l'atome d'hydrogène et les conséquences théoriques que l'on en déduit au point de vue des spectres sont en moins bonne concordance avec l'expérience.

11. L'hypothèse de Langevin. — L'atome d'hélium semble jouer un rôle considérable dans la constitution des autres atomes. Nous savons déjà, par l'étude des corps radioactifs, que les rayons α qui sont émis dans la décomposition des atomes radioactifs, ne sont pas autre chose que des noyaux électropositifs d'hélium. Ces noyaux paraissent avoir une extrême stabilité et peuvent être ainsi expulsés tels quels dans les désintégrations radioactives.

Cette extrême stabilité du noyau d'hélium peut trouver une explication dans une des conséquences les plus importantes du principe de relativité: l'inertie de l'énergie. L'atome d'hélium serait en réalité constitué par le groupement de quatre atomes d'hydrogène. Mais cette condensation de quatre atomes d'hydrogène en un atome d'hélium dégagerait une prodigieuse quantité de chaleur, de sorte que l'inertie initiale égale à $4 \times 1{,}008 = 4{,}03$ ne serait plus après le cataclysme que $4 -$; le dégagement d'énergie calori-

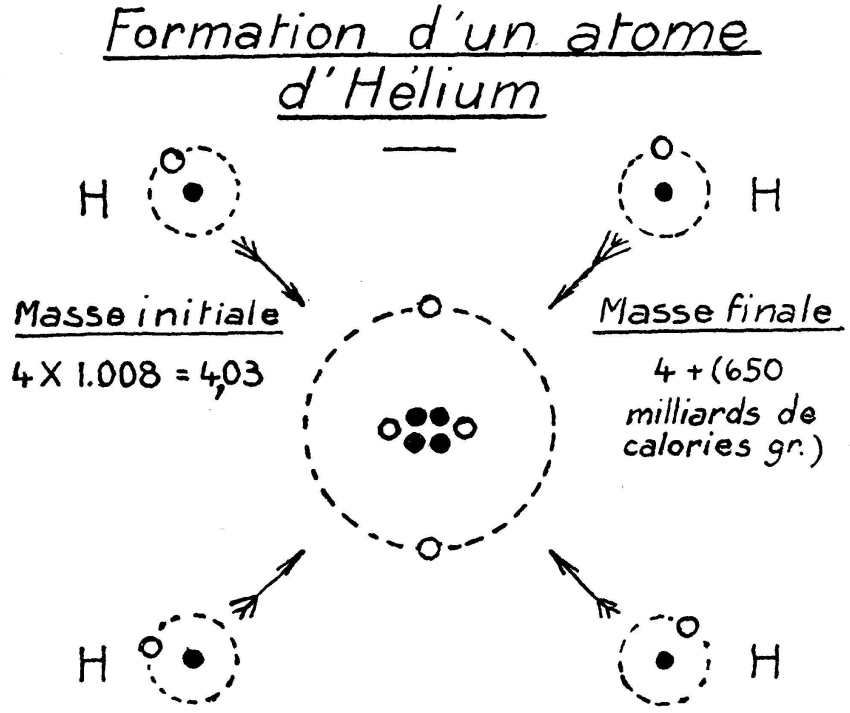


Fig. 9

fique atteignant 650 milliards de calories gr pour la formation de 4 gr d'hélium; la diminution d'inertie de 0,03 gr correspondrait à cette énorme dissipation d'énergie (fig. 9).

Il importe de remarquer que ce dégagement de chaleur, si grand qu'il paraisse, est cependant de même ordre de grandeur que celui qui se produit dans les désintégrations radioactives. Il ne serait que 4 à 7 fois plus considérable que celui qui correspond, à masse égale, aux décompositions radioactives les plus énergiques.

L'hypothèse de Prout renaît ainsi sous une forme nouvelle et rajeunie. L'hydrogène en se condensant peut produire des atomes d'hélium, et ces noyaux très stables d'hélium en se groupant

deviennent à leur tour, un élément important de la constitution des atomes plus compliqués. Il en résulte qu'en rapportant les poids atomiques à l'oxygène = 16 au lieu de les rapporter à l'hydrogène (H = 1), les masses atomiques sont très souvent des nombres entiers très exacts.

12. Détermination de la masse des atomes par les rayons canaux. — Les rayons canaux sont des particules électropositives qui se produisent dans les tubes à vide et se propagent

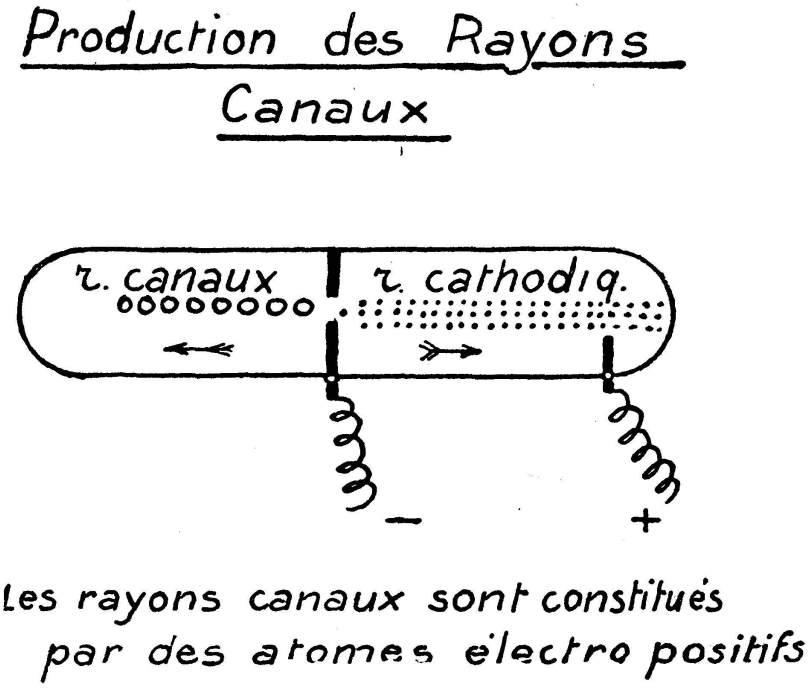


Fig. 10

en arrière d'une cathode perforée. La fig. 10 montre le dispositif de production de ces rayons.

Or, si l'on dévie ces rayons canaux par des champs électriques et magnétiques, on peut calculer la vitesse et la masse de ces particules électropositives en mouvement et l'on reconnaît alors que dans la plupart des cas ces particules ont une masse égale à celle que les méthodes chimiques et physico-chimiques ont permis d'attribuer aux atomes (Aston).

Le dispositif de la fig. 10 fournit ainsi une nouvelle méthode purement physique de détermination des poids atomiques.

13. Les isotopes. — Mais il arrive que pour certains éléments ainsi étudiés, lors même qu'ils ont été purifiés avec le plus

grand soin, on trouve plusieurs sortes de particules ayant des masses différentes. Il semble par exemple qu'il y a plusieurs espèces d'atomes de chlore, qui tout en étant identiques par leurs propriétés chimiques, diffèrent entr'eux par leur masse atomique. Ces éléments ayant les mêmes propriétés chimiques, mais des poids atomiques différents, sont appelés *isotopes*.

Pour mieux faire comprendre en quoi consiste l'isotopie, nous avons représenté fig. 11 un atome d'hélium (à gauche) et un isotope

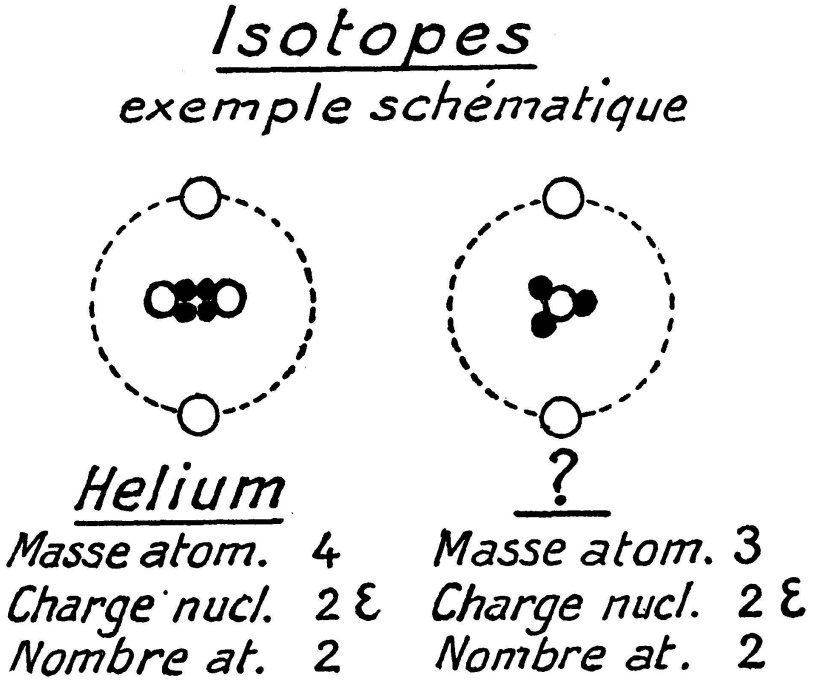


Fig. 11

hypothétique de l'hélium (à droite). Le premier a une masse sensiblement égale à 4 puisque son noyau renferme quatre électrons positifs. Tandis que le second aurait une masse égale seulement à 3.[1]

Mais ces deux corps auraient, dans les idées actuelles, des propriétés chimiques identiques, et la raison de ce fait serait que le champ électrique nucléaire dans lequel gravitent les électrons négatifs est le même dans les deux cas. En effet, dans le premier cas comme dans le second la charge nucléaire est égale à 2ε. On dit alors que le *nombre atomique* est 2 et c'est ce nombre

[1] L'existence de cet isotope est cependant affirmée comme très probable par RUTHERFORD.

atomique exprimant en définitive la charge nucléaire, qui, bien plus que la masse atomique, détermine les propriétés chimiques de l'atome. Le nombre atomique, voilà dans les idées actuelles, la véritable variable qui distingue au point de vue de leurs propriétés les divers atomes.

Le tableau qui suit donne d'une part les masses atomiques d'un certain nombre d'éléments déterminées par les méthodes physico-chimiques et rapportées à l'O = 16; et d'autre part ces mêmes masses atomiques, telles qu'on les déduit de l'observation de la déviation des rayons canaux avec une précision voisine déjà du millième. On sait que certains éléments, comme l'Az, le Carbone, etc., ne paraissent pas avoir d'isotopes, tandis que d'autres, comme le chlore, semblent correspondre à différents types d'atomes de poids atomiques différents, bien que leurs autres propriétés restent les mêmes.

Masses atomiques: { H = 1008. / O = 16.

	Par Physico-Chimie	*Par déviation des rayons canaux*
Ar	39.88	40 ..... 36 ?
As	74.96	75
Az	14.01	14
Bo	11.00	10, 11
Br	79.92	79, 81
C	12.005	12
Cl	35.46	35, 37 .... 39 ?
Fl	19.0	19
H	1.008	1.008
He	4.00	4.
O	16.—	16
Jo	126.92	127
Kr	87.92	78, 80, 82, 83, 84, 86
Hg	200.6	197, 200, 202, 204
Ne	20.2	20. 22 .. 21 ?
P	31.04	31
S	32.00	32
Si	28.3	28, 29, .. 30 ?
Xe	130.2	129, 131, 132, 136, 128? 130?

En résumé un grand nombre de nos éléments chimiques tels par exemple le chlore, le mercure, le plomb, ne seraient que des mélanges d'isotopes que nos méthodes purement chimiques sont impuissantes à séparer.

CONCLUSIONS

Nous arrivons au terme de ce trop rapide exposé où nous avons tenté de marquer quelques-uns des points principaux de cette vertigineuse évolution de la physique moderne.

D'une part, il semble que l'explication des phénomènes physiques s'est considérablement compliquée du fait d'abord que nous voyons le discontinu se substituer partout au continu au fur et à mesure que nous pénétrons plus profondément dans l'intimité des phénomènes.

L'existence probable de ces innombrables éléments discontinus nous oblige dans beaucoup de cas à renoncer aux avantages que la notion du continu présentait particulièrement au point de vue du calcul des phénomènes. Nous nous voyons dans l'obligation de substituer très souvent au calcul différentiel et intégral un guide moins précis; le calcul des probabilités. Dans l'impossibilité où se trouve le physicien de poser d'innombrables équations différentielles représentant la dynamique de tous ces éléments discontinus moléculaires, atomiques ou électroniques, le physicien doit s'adresser à d'autres auxiliaires; c'est alors que le calcul des probabilités si précieux dans toutes les théories cinétiques, vient à son secours. Les phénomènes physiques évoluent ainsi vers les configurations les plus probables parmi toutes les configurations possibles.

Cette façon d'envisager l'évolution physico-chimique nous conduit alors à considérer les lois de la physique et de la chimie comme des lois statistiques et le déterminisme physico-chimique se transforme de la sorte en un déterminisme statistique, auquel la loi des grands nombres donne toutes les apparences d'une inéluctable fatalité.

Enfin le principe de relativité est venu jeter le trouble dans les notions qui nous sont les plus familières et que nous croyions les plus solidement établies.

Néanmoins, malgré tous ces éléments de complication, on a le sentiment très net que l'explication des phénomènes physiques

marche vers *plus d'unité*. D'une part nous voyons, en effet, toutes les sortes de matière tendre à se réduire à deux éléments constituants primordiaux (l'électron négatif et l'électron positif) et toutes les forces de la physique et de la chimie (la gravitation exceptée) ramenées de ce fait à des forces électromagnétiques. D'autre part les deux principes fondamentaux de la conservation de la masse et celui de la conservation de l'énergie, viennent se fondre en un seul et unique principe, l'inertie et l'énergie étant inséparables l'une de l'autre.

Ce sont là des faits de la plus haute importance, qui peuvent nous consoler des difficultés et des complications qui sont venues se greffer sur les conceptions classiques de l'ancienne physique.

Ils apportent un élément d'unité que l'on peut considérer comme un progrès non seulement au point de vue physique, mais à celui de notre haute culture philosophique.

Über
den Begriff und das Wesen der sogenannten allgemeinen Neurosen

Prof. Dr. H. Sahli

Mit dem Ausdruck „allgemeine Neurosen“ pflegt man gewöhnlich die grossen Krankheitsgruppen der Nervosität, Neurasthenie und Hysterie zu bezeichnen. Es handelt sich dabei bekanntlich um sogenannte funktionelle Krankheitszustände ohne nachweisbaren anatomischen Befund. Die trotzdem anzunehmenden materiellen Veränderungen müssen also ultraanatomischer Natur sein.

Als Gegenstand meiner Besprechung habe ich die Frage des Begriffs und des Wesens der erwähnten Krankheitsbilder gewählt. Für den Fernerstehenden scheint ja hierüber wenigstens einigermassen Klarheit zu herrschen. Aber ähnlich wie eine in der Fernsicht klar gegliederte Landschaft in der Nähe dem Wanderer unübersichtlich wird, so dass er sich verirrt, so wird die Lehre von den allgemeinen Neurosen um so unklarer, je näher man ihr an der Hand der unermesslichen Literatur zu treten versucht. Auch hier hat sich die medizinische Vielschreiberei nicht wirklich als produktiv erwiesen. Es herrscht hier das grösste begriffliche Chaos. Was der eine Nervosität nennt, das nennt der andere Neurasthenie und der dritte Hysterie, und dabei werden namentlich auch die gegenseitigen Beziehungen der psychischen und körperlichen Erscheinungen dieser Krankheiten ganz verschieden bewertet. Speziell wird die Hysterie bald unter den Psychosen, bald in der innern Medizin abgehandelt, und der innere Mediziner kann sich hier mit dem Psychiater kaum einigen. Niemand empfindet den Wirrwarr schmerzlicher als der klinische Lehrer, welcher als seine erste Verpflichtung anerkennt, auch schwierige Gegenstände klar vorzutragen.

Die Unklarheit liegt hier nicht, wie auf andern Gebieten, an ungenügendem Beobachtungsmaterial, sondern an der *Denkmethodik*. Das scharfe Instrument der Logik wird gerade hier recht nach-

lässig gehandhabt, und ein Teil meiner Erörterungen wird denn auch logischer Natur sein.

Die Schwierigkeit der begrifflichen Definitionen der Nervosität, Neurasthenie und Hysterie liegt in erster Linie daran, dass die so bezeichneten Zustände sich nicht ausschliessen, im Gegenteil sich sehr oft kombinieren, zeitlich ineinander übergehen und grossenteils auch eine gemeinsame Ätiologie haben. Der logische Schluss, den man notwendig daraus ziehen sollte und den ich auch ziehe, ist der, dass es sich dabei weder ätiologisch noch symptomatologisch um *Krankheitseinheiten* handeln kann. Daraus ergibt sich aber der weitere Schluss, dass es in erster Linie die Aufgabe der Wissenschaft ist, die *Symptomenkategorien,* auf deren Verschiedenheit sich die praktische Differenzierung der drei Neurosen aufgebaut hat, zu präzisieren und, was dazu gehört, auch pathogenetisch zu erklären, dass es hingegen ein erfolgloses Bemühen sein muss, die drei Neurosen als Krankheitseinheiten, also etwa wie einen Typhus beschreiben und erklären zu wollen. Die Definitionen und Erklärungen haben sich also zunächst nur auf die drei Symptomenkategorien zu beziehen, nicht auf Krankheitsbilder. Man lernt das Klavierspiel auch nicht an einer Beethovenschen Sonate, und die Kenntnis eines komplizierten Apparates setzt das Verständnis für die Funktion der einzelnen Bestandteile voraus.

Gegenüber diesem von mir vorgeschlagenen analytischen Verfahren hat die nach dem Grundsatz a potiori fit denominatio vorgenommene populäre Synthese der Krankheitsbilder Nervosität, Neurasthenie und Hysterie bloss den Wert einer praktischen Etikettierung der Fälle.

Der analytisch symptomatologische Weg der Klärung ist der einzig mögliche, weil der ätiologische Weg bei den allgemeinen Neurosen gänzlich ungangbar ist. Denn bei allen drei Neurosen sind die nämlichen allgemeinen körperlichen und geistigen, exogenen und endogenen Vorbedingungen ätiologisch wirksam und es hängt somit von feinen Differenzen in den Eigennüancen der einzelnen Nervensysteme und des Milieus ab, was in den einzelnen Fällen für Krankheitsbilder entstehen.

* * *

Nach diesen prinzipiellen Vorbemerkungen über die Methodik unserer Diskussion gehe ich zunächst über zu einer kurzen Be-

sprechung der Eigenart und Pathogenese derjenigen Symptome, welche Anlass gegeben haben, von *Nervosität* und *Neurasthenie* zu sprechen. Seitdem Beard 1880 das offenbar faszinierende und beifallerregende Wort Neurasthenie in die Medizin eingeführt hat, ist das ältere, für Erregungszustände gebrauchte Wort Nervosität bei den Medizinern merkwürdiger- und bedauerlicherweise fast vollkommen ausser Gebrauch gekommen, so dass man es sogar in vielen Handbüchern der Neurologie vergeblich sucht, und zwar, obschon Beard selbst ursprünglich das jetzt so bevorzugte Wort Neurasthenie ethymologisch richtig im Sinne von Dauerermüdung und Erschöpfung des Nervensystems gebraucht hat, wodurch es offenbar einen Gegensatz zu dem durch den Sprachgebrauch sanktionierten Wort Nervosität darstellte. Die Neurasthenie wurde dann aber bald zu einem Sammelbegriff für alles mögliche, in welchem der Begriff der Nervosität unterging. Es rührt dies wohl davon her, dass Mischungen von nervösen Erregungs- und Erschöpfungszuständen in der Tat häufig vorkommen, so dass man sich bald gewöhnte, auch diese gemischten Bilder aus Bequemlichkeit, entgegen einem richtigen Sprachgebrauch und entgegen der Logik als „Neurasthenie“ zu bezeichnen. Die Neuheit und der Wohlklang des Wortes imponierte offenbar mehr, als der Sinn. Man fand denn auch bald ein wissenschaftliches Mäntelchen, um diesen saloppen Sprachgebrauch formal zu rechtfertigen, indem man den Begriff der „reizbaren Schwäche“ des Nervensystems erfand, in welchem man sowohl Übererregbarkeitssymptome als auch Erschöpfungssymptome unterbringen konnte. Ich kann hier nicht auf eine Kritik dieses scholastischen Bastardbegriffes der reizbaren Schwäche eingehen. Man sollte glauben, dass Erregung und Erschöpfung an ein und demselben nervösen Gebilde sich ausschliessen, und sehr viel näher liegt es jedenfalls, anzunehmen, dass die häufig vorkommenden Mischungen von Erregungs- und Erschöpfungssymptomen ihre einfache Erklärung darin finden, dass die einen Elemente des Nervensystems erregt, die *andern* erschöpft sind.

Bei der unserm Arbeitsplan entsprechenden pathogenetischen Analyse der Symptome der Nervosität und Neurasthenie müssen wir von dem Vergleich der Nervenenergie mit der elektrischen Energie ausgehen, der bei aller Verschiedenheit der beiden doch einer gewissen Berechtigung nicht entbehrt. Diese erhält ihre Illustration durch die Existenz der sogenannten Aktionsströme,

obschon die einfache Identifizierung der Nervenenergie mit elektrischer Energie schon mit Rücksicht auf die verschiedenen Fortpflanzungsgeschwindigkeiten und auf die Isolation der Nervenleitung noch an einem unbekannten x scheitert. Dieses x, welches die Elektrizität zur Nervenkraft umformt, wird wahrscheinlich dereinst in besondern kolloidalen Eigenschaften der Nervensubstanz gefunden werden. Jedenfalls kann wohl kein Zweifel existieren, dass, wie bei den meisten oder allen Funktionen des Lebens, so auch bei den Nervenleistungen elektrische Erscheinungen die entscheidende Rolle spielen. Es liegt deshalb nahe, wenn auch zunächst bloss in bildlichem Sinne physiologisch und pathologisch kurz von einem *Nervenpotential* zu sprechen und die Nervositäts- und Neurasthenieerscheinungen durch Potentialveränderungen des Nervensystems zu erklären.

In der Tat sind zunächst die Erscheinungen der *Nervosität* klinisch in jeder Beziehung mit einem erhöhten Potential zu vergleichen, durch welches eine elektrische Vorrichtung gespiesen wird. Wie ein solches erhöhtes Potential für die Funktion eines elektrischen Apparates einerseits fördernd sein, anderseits ihn auch zerstören kann, so verhält es sich auch mit dem gesteigerten Potential der Nervenkraft. Eine gewisse Steigerung des Nervenpotentials „innerhalb physiologischer Grenzen“ kann fördernd auf die körperliche und geistige Leistungsfähigkeit einwirken. Nicht ohne Grund sind die meisten Menschen, welche Bedeutendes auf geistigem Gebiet leisten, bis zu einem gewissen Grad nervös, ähnlich wie ein gutes Rennpferd edlerer Rasse nervös sein muss, wenn es seinen Preis erringen soll. Nirgends sind die geistigen Leistungen geringer als bei einem Spiessbürger und Philister, dessen Nervenkraft nie aus dem Gleichgewicht gebracht wird. Für bedeutende Leistungen bedarf es eines erhöhten Nervenpotentials. Wohl dem Betreffenden, wenn sich das erhöhte Potential durch Leistungen erschöpft und ausgleicht, so dass nicht schliesslich der Nervenstrom wie ein Wildbach das normale Strombett überflutet oder wie ein kurz geschlossener Starkstrom den Mechanismus des Nervensystems schädigt oder gar zerstört.

Wir kommen also zur Definition der Erscheinungen der krankhaften Nervosität als der Erscheinungen einer *positiven Intensitätsneurose,* das heisst einer funktionellen Störung des Gesamtnervensystems, welche sich gegenüber dem normalen Zustand durch das

abnorm hohe, krankhaft gesteigerte Potential, unter dem sich die nervösen Erregungen abspielen, charakterisiert.

Sowohl die körperlichen als die geistigen Funktionen können daran teilnehmen. Die Nervositätserscheinungen sind, entsprechend meiner allgemeinen Definition, in welcher das Räumliche nicht vorkommt, von wenig lokalisiertem Charakter. Und wenn die Nervosität zuweilen doch auch lokalisiertere Erscheinungen zeitigt, so beruht dies im allgemeinen wohl darauf, dass die vorwiegend betroffenen Gebiete dann gewisse angeborene oder erworbene disponierende Eigenschaften besitzen. Infolgedessen zeigt sich in den einen Fällen die Übererregung und Übererregbarkeit mehr auf geistigem, in andern Fällen mehr auf den Gebieten der Willkürbewegungen, der Reflexe oder der Sensibilität. „Himmelhoch jauchzend zum Tode betrübt“ ist der Nervöse auf geistigem Gebiete. Seine motorischen Leistungen geschehen hastig, die Reflexe können gesteigert und dadurch deformiert werden. Sensible Gebiete können überempfindlich werden gegen physiologische Reize, so dass abnorme Sensationen, von einfachen Parästhesien bis zu den heftigsten Spontanschmerzen auftreten, die sich oft mit ausgesprochener lokaler Druckempfindlichkeit verbinden. Infolgedessen kommt es bei Nervösen oft zu falschen Organdiagnosen und kunstwidrigen Operationen, die leicht vermieden werden könnten, wenn die Kenntnis der Nervosität und ihrer differentialdiagnostischen Merkmale verbreiteter wäre. Auf Grundlage gewisser Dispositionen können bei nervösen Kranken sogar Ausstrahlungen der gesteigerten Erregung auf das vegetative Nervensystem und dessen bekanntesten Exekutor, die Schilddrüse, und damit Stoffwechselsteigerungen und unter Umständen das Symptomenbild des Morbus Basedowi, nervöse Verdauungsstörungen, Hypersekretionen und Herzstörungen aller Art und vieles andere zustandekommen. Die Bezeichnung *Organneurosen* für diese Zustände ist unrichtig, denn es handelt sich nicht um isolierte Funktionsstörungen der Binnennerven dieser Organe, sondern um blosse Ausstrahlungen der allgemeinen Erregbarkeitssteigerung und Erregung auf die disponierten Organe. Im allgemeinen ist die geringe Lokalisation der Nervositätserscheinungen ein charakteristisches Merkmal gegenüber den hysterischen Erscheinungen, die immer lokalisiert sind.

Doch es ist nun Zeit, auch auf den Begriff und das Wesen der *Neurasthenie*symptome einzugehen. Sie erscheinen gewisser-

massen als das Negativ der Nervositätssymptome. Hier Erregung, dort Depression, und wie wir die Nervosität als positive Intensitätsneurose bezeichnet haben, so müssen wir die neurasthenischen Erscheinungen als diejenigen einer *negativen Intensitätsneurose* definieren. Die Nervenenergie fliesst hier mit niedrigem Potential und das Resultat ist die verminderte Leistungsfähigkeit. Die daraus entstehenden Erscheinungen sind symptomatisch identisch mit den Zeichen einer Dauerermüdung oder der nervösen Erschöpfung.

Was von den Nervositätserscheinungen in betreff der unscharfen Lokalisation auf die verschiedenen Funktionen gesagt wurde, gilt auch für die neurasthenischen Symptome. Eine gewisse Lokalisation zeigen sie bloss bei vorhandenen lokalen Dispositionen bestimmter Provinzen des Nervensystems, wie ja auch die physiologischen Erregbarkeiten gewisse lokale Verschiedenheiten darbieten.

Sowohl bei den Nervositätserscheinungen als bei den neurasthenischen Symptomen imponieren natürlich vor allem die seelischen Erscheinungen, falls solche wie gewöhnlich vorhanden sind. Denn die seelischen Symptome sind für die Kranken wie für ihre Umgebung die wichtigsten. Besonders dreht sich bei den Neurasthenikern fast alles um die verminderte geistige Leistungsfähigkeit. Diese hervorstechende Bedeutung der seelischen Symptome ist der Grund, warum man immer wieder versucht, sowohl die nervösen als die neurasthenischen Symptomenkomplexe prinzipiell zu *Psychoneurosen* zu stempeln und sie unter diesem Obertitel mit der Hysterie zu einer gemeinsamen Gruppe zu vereinigen. Dieser allgemeine Begriff der Psychoneurosen ist namentlich durch die Erfolge der Psychotherapie populär geworden, und man verbindet gerade wegen dieser Erfolge damit gewöhnlich auch die Vorstellung der psychischen Genese. Und dennoch kann ich diese Psychogenese durchaus nicht für alle Fälle von Nervosität und Neurasthenie anerkennen. Die Erfolge der Psychotherapie beweisen in dieser Hinsicht nichts, denn jeder erfahrene Arzt weiss, dass es, abgesehen von schweren chirurgischen Krankheiten, kaum ein Leiden gibt, welches der Beeinflussung von seiten der Psyche ganz unzugänglich wäre. Denn die Psyche ist die Beherrscherin des gesamten Organismus bis herab zu seinen tiefsten vegetativen Funktionen. Und so gibt es denn sowohl bei der positiven als der negativen Intensitätsneurose Fälle, wo trotz eventueller Erfolge der Psychotherapie

die Psyche pathogenetisch und symptomatisch ganz zurücktritt. Ich halte also den Ausdruck Psychoneurose als allgemeine und prinzipielle Bezeichnung für Zustände von Nervosität und Neurasthenie für ebenso unberechtigt und irreführend, wie ich es nachher für die Subsummierung der hysterischen Symptomenkomplexe unter dieser Bezeichnung nachweisen werde.

Ätiologisch sind die beiden Intensitätsneurosen unter gemeinsamen Gesichtspunkten aufzufassen. Wie bei fast allen Nervenkrankheiten spielen auch hier vererbte Faktoren, die Eigenschaften des Keimplasmas, die entscheidende Rolle. Gerade hier lässt sich das Walten dieser Einflüsse besonders deutlich zeigen. Gewöhnlich wirken aber, mit oder ohne solche hereditäre Disposition auch exogene Einflüsse, nämlich alle diejenigen, welche zur Über*erregung* und dadurch nach einem allgemeinen biologischen Anpassungsprinzip auch zur Über*erregbarkeit* führen. Ich brauche alle diese erregenden und Erregbarkeit züchtenden exogenen Einflüsse, durch welche der Mensch zu einem *Neurozoon,* wie ihn seinerzeit Immermann nannte, geworden ist, hier nicht aufzuzählen. Sie existierten zu allen Zeiten, kommen aber im Zeitalter der „Modernität" in verstärktem Maßstab zur Geltung. Diese Erscheinungen der positiven Intensitätsneurose führen dann durch die intensive Beanspruchung des Nervensystems leicht infolge des Überwiegens der dissimilatorischen (katabolischen) Prozesse über die assimilatorischen (anabolischen) zu der negativen, neurasthenischen Phase der verminderten Leistungsfähigkeit. Es kommt aber auch vor, dass ein Mensch das Merkmal der verminderten Leistungsfähigkeit seines Nervensystems schon auf den Lebensweg mitbekommen hat, so dass dann unter dem Einfluss der nämlichen Schädigungen schon primär mehr oder weniger rein die negative, neurasthenische Phase der Intensitätsneurose zum Vorschein kommt. Die nervös-neurasthenischen gemischten Formen der Intensitätsneurose erklären sich, wie erwähnt, am einfachsten durch die Annahme, dass die einen Provinzen des Nervensystems je nach ihrer Disposition oder der einwirkenden Schädigung sich noch im Zustand der Erregung, die andern schon im Zustand der Erschöpfung befinden. Auch der neurasthenische Wegfall von Hemmungen kann natürlich in gewissen Gebieten des Nervensystems Übererregung hervorrufen. Mit Rücksicht auf das, was ich in betreff der von mir abgelehnten generellen Auffassung von Nervosität und Neurasthenie als Psycho-

neurosen gesagt habe, möchte ich noch hervorheben, dass auch die ätiologischen erregenden und erschöpfenden Momente keineswegs immer geistiger Natur sind, wenn ich auch ohne weiteres zugebe, dass geistige Einflüsse auch ätiologisch im Vordergrund stehen. Aber sehr häufig sind es auch körperliche Übererregungen, welche ätiologisch entscheidend sind. Ich möchte hier auf die mir immer wieder entgegentretende Erfahrung hinweisen, dass Schreibmaschinenkopistinnen durch die ausserordentliche Schnelligkeit der Muskelaktion, welche von ihnen verlangt wird oder welche sie selbst von sich verlangen, trotzdem die eigentlich geistige Betätigung hier auf ein Mindestmass beschränkt ist, sehr häufig an typischen nervösen und schliesslich neurasthenischen Erscheinungen erkranken. Man kann es förmlich nachfühlen, wie durch die stundenlang dauernde fieberhafte Fingertätigkeit das Nervensystem mit einem erhöhten Potential geladen wird. Es mag dabei nur beiläufig erwähnt werden, dass diese Kranken nicht selten auch Fieber von offenbar nervöser Genese darbieten, für welches sich keine andere Ursache angeben lässt. Ähnliche Überlegungen gelten wohl auch für angehende Musikvirtuosen, besonders wenn sie ihrer Aufgabe aus konstitutionellen Gründen nicht ganz gewachsen sind.

So viel über die Intensitätsneurosen, Nervosität und Neurasthenie. Zu weit mehr Diskussionen als die Intensitätsneurosen hat das Wesen der *hysterischen* Erscheinungen Anlass gegeben, zu deren Besprechung ich mich nun wende. Ich muss dabei in Anbetracht der Kürze der Zeit auf eine Kritik der modernen Theorien der Hysterie verzichten. Meine eigene Auffassung, die ich Ihnen darlegen werde, wird erklären, warum ich keine derselben annehmen kann. Die meisten dieser sogenannten Theorien sind ja eigentlich mehr Aphorismen zur Hysterie als wirkliche Theorien derselben.

Dasjenige, was ich selbst Ihnen über das Wesen der hysterischen Störungen zu sagen habe, lässt sich zunächst ganz allgemein dadurch charakterisieren, dass es sich für mich dabei um den Versuch einer über das bisher Angenommene hinausgehenden detaillierten *anatomischen Lokalisation* der hysterischen Erscheinungen handelt, mit andern Worten, dass ich eine funktionelle anatomische Erklärung und Definition derselben geben möchte. Ich gehe dabei von der Ansicht aus, dass das erste Postulat für ein eigentliches Verständnis der ja doch stets somatischen und lokalisierten, also offenbar in ganz bestimmten anatomischen Elementen des Nerven-

systems sich abspielenden hysterischen Erscheinungen darin bestehen muss, dass man diese Erscheinungen, obschon sie nach heutigen Begriffen funktionell oder, besser gesagt, ultraanatomisch sind, dennoch nach ähnlichen Grundsätzen wie die anatomischen Erkrankungen *lokalisiert.* Ohne anatomische Lokalisation kein Verständnis. Denn auch die grob anatomischen Erkrankungen des Nervensystems verstehen wir bloss an der Hand der Lokalisationslehre, nämlich dann, wenn es uns gelingt, nach unsern physiologischen Kenntnissen die klinischen Erscheinungen mit einer zu diagnostizierenden Lokalisation zur Deckung zu bringen. Warum sollte diese Notwendigkeit anatomischer Vorstellungen zum Verständnis lokalisierter *funktioneller* Erkrankungen minder wichtig sein? Ich bin in der Tat der Ansicht, dass im Gegensatz zu den verschwommenen Vorstellungen der bisherigen Theorien der Hysterie, diese anatomische Fragestellung den springenden Punkt jeder Diskussion des Wesens der Hysterie darstellt. Die bisherigen Theorien der Hysterie haben für mein Kausalitätsbedürfnis deshalb gar keinen erklärenden Wert, weil sie die Frage der anatomischen Lokalisation nicht berücksichtigen. Man kann den gestörten Gang eines Uhrwerkes nicht verstehen, ohne zunächst den Sitz der Läsion festzustellen. Nicht ohne Grund hat Morgagni sein berühmtes Werk betitelt: de sedibus et causis morborum, wobei er das Wort sedibus voranstellte. Und auch die ganze Cellularpathologie beruht auf diesem Gedanken der Lokalisation.

Nun kann man allerdings zugeben, dass diejenigen, welche die hysterischen Erscheinungen rein psychisch erklären wollen, damit indirekt auch eine anatomische Lokalisation geben, da wir ja wissen, wo wir den Sitz der psychischen Funktionen zu suchen haben. Allein ich werde in dem Folgenden zeigen, dass und warum nicht alle hysterischen Erscheinungen psychisch zu erklären sind, und es liegt deshalb die Aufgabe vor, auch diejenigen hysterischen Erscheinungen zu lokalisieren, welche nicht psychischer Natur sind.

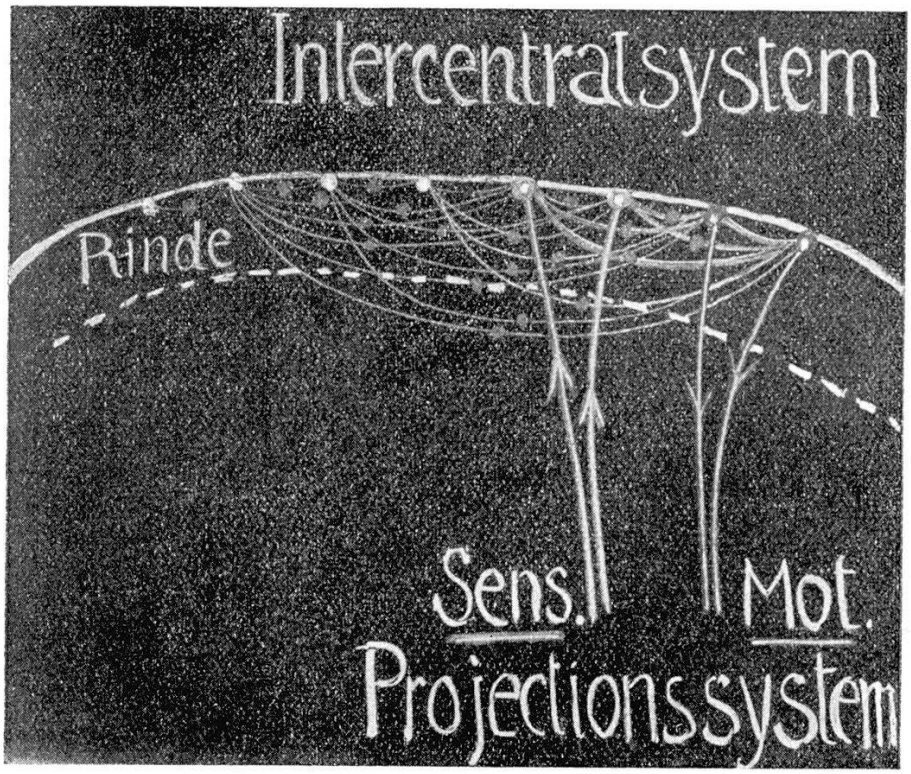
Eine solche anatomische Lokalisation auch der rein körperlichen hysterischen Erscheinungen ist nun, gestützt auf unsere anatomischen und physiologischen Kenntnisse des Grosshirns, sehr wohl möglich, und gerade im Lichte dieser Lokalisation verschwindet dann der scheinbare Gegensatz zwischen den psychischen und den somatischen Erklärungen der Hysterie, welcher so viel Verwirrung gestiftet hat.

Die Entstehung der hysterischen Erscheinungen ist nämlich in die uns wohl bekannten Regionen des Grosshirns zu verlegen, wo sich die geistigen und körperlichen Funktionen gewissermassen die Hand reichen, nämlich in diejenigen Gebiete, welche ich als *Interzentralgebiete* oder *Interzentralsysteme* bezeichne.

Wenn ich deshalb nun kurz auf diese anatomischen Verhältnisse eingehe, so stütze ich mich dabei auf den von Flechsig nachgewiesenen Gegensatz zwischen Projektionssystemen und Assoziationssystemen der Grosshirnrinde. Es ist dabei für meinen Zweck bedeutungslos, dass im Gegensatz zu der ursprünglichen Flechsigschen Darstellung durch neuere hirnarchitektonische Forschungen nachgewiesen wurde, dass Projektionssysteme und Assoziationssysteme im Grosshirn überall mehr oder weniger miteinander gemischt vorkommen, also räumlich nicht so scharf getrennt sind, wie Flechsig annahm. Das ist nebensächlich. Ich ersetze dabei die Flechsigsche Bezeichnung Assoziationssysteme durch die Bezeichnung *Interzentralsysteme,* weil man unter Assoziationen bisher — wie ich zeigen werde mit Unrecht — meist bloss etwas Geistiges versteht, während ich den Interzentralsystemen nicht bloss geistige, sondern ausdrücklich auch *körperliche* Funktionen zuschreibe. Ich unterscheide also in der Architektonik des Grosshirns Projektionssysteme und Interzentralsysteme. Unter Projektionssystemen verstehe ich im Einklang mit dem allgemeinen Sprachgebrauch und mit Flechsig die sogenannten motorischen und sensiblen Zentren der Grosshirnrinde samt den sie mit der Peripherie verbindenden motorischen und sensiblen Neuronen und Neuronenketten. Demgegenüber bezeichne ich als Interzentralsysteme die den übrigen Teil der Hirnrinde einnehmenden, im ganzen der Hirnoberfläche parallel verlaufenden, zum Teil auch in Form der v. Monakowschen Assoziationsbündel einen Umweg durch die weisse Substanz zurücklegenden Faserzellnetze, welche nicht direkt, sondern bloss vermittelst der Projektionssysteme mit der Peripherie verbunden sind. Ich wähle dabei die Bezeichnung interzentral statt des ebenfalls sinngemässen Wortes transzentral (trans nicht im Sinne von jenseits, sondern von quer, hindurch), weil dieses letztere Wort in der Aphasielehre schon in einem andern Sinne vergeben ist, welcher von der unrichtigen Bezeichnung der Sprachregionen als Sprachzentren ausgeht.

Die beistehende Figur gibt eine auf das einfachste reduzierte

schematische Abbildung dieser Verhältnisse. Man muss sich dabei nach Sherrington vorstellen, dass durch die hier in schematischer Vereinfachung dargestellten, in Wirklichkeit aber ungeheuer kompliziert gebauten Interzentralsysteme prinzipiell jeder Punkt der Hirnrinde mit jedem andern Punkt derselben in leitender und funktionsbeeinflussender Verbindung steht. Die Ganglienzellen der Interzentralsysteme (es handelt sich bei diesen nicht etwa um einfache Faserzüge) sind als Umschaltstationen zu betrachten. Ein Blick auf



die wunderbaren Abbildungen Ramon y Cajals zeigt, in welcher ungeheuren Kompliziertheit in Wirklichkeit dieses einfache Schema der Projektions- und Interzentralsysteme sich darstellt. Diese Kompliziertheit hat ihr Analogon bloss in der Kompliziertheit der Menschenseele, deren Domäne ja die Interzentralgebiete sind.

Wie ich schon angeführt habe, nehme ich an, dass die Interzentralsysteme sowohl körperliche als geistige Funktionen haben, indem ein Teil ihrer Funktionen mit, ein anderer ohne geistige Parallelprozesse, bzw. Bewusstseinsvorgänge verläuft. Gewöhnlich werden bloss die mit Bewusstseinsvorgängen verbundenen Erregungen als Assoziationen bezeichnet. Es liegt aber kein Hindernis vor, auch von *körperlichen Assoziationen* zu sprechen. Solche

körperliche Assoziationen besorgen die eupraktische und koordinierte Ausführung ideatorischer Willensimpulse, die kortikalen Reflexe und die koordinierte Sammlung sensibler Impulse zuhanden der Wahrnehmungen. Es ist dabei sehr wahrscheinlich, dass durch den Prozess der Umschaltung der sogenannten Aufmerksamkeit, die selbst eine Interzentralfunktion ist, körperliche zunächst bewusst verlaufende Assoziationen unbewusst werden können und umgekehrt. Die Aufgabe der Interzentralsysteme ist hiernach, abgesehen von den geistigen Vorgängen des Denkens, Fühlens, Wollens und der Wahrnehmung, der anatomische Anschluss der Sensibilität und Motilität der Projektionssysteme an den Bewusstseinsinhalt. Hierfür sind die Interzentralsysteme gewissermassen der *Rangierbahnhof*.

Es handelt sich nun bei den hysterischen Erscheinungen um diejenigen funktionellen, das heisst wohl kolloidal bedingten lokalisierten Erregbarkeitsveränderungen der Interzentralsysteme, welche sich körperlich auswirken und je nach ihrer Natur entweder Lähmungs- oder Reizerscheinungen hervorrufen. Diese Veränderungen sind genau nach den Grundsätzen der anatomischen Lokaldiagnosen in den Interzentralsystemen gewissermassen als funktionelle Herdläsionen zu lokalisieren. Auf dieser Lokalisation beruht die Eigenart der hysterischen Symptome, selbst lokalisiert zu sein. Hiernach lassen sich also die hysterischen Symptome ganz scharf als *körperliche Symptome von funktioneller interzentraler Genese* definieren. Nur Symptome, welche dieser Definition entsprechen, oder ihr wenigstens nicht widersprechen, dürfen als hysterische bezeichnet werden.

Wenn in dieser Definition nur von körperlichen Symptomen die Rede ist, so darf dies nicht so verstanden werden, als ob ich das Vorkommen geistiger Symptome bei hysterischen Zuständen leugnen wollte. Dass dies nicht zutrifft, geht schon daraus hervor, dass ich den Interzentralsystemen sowohl körperliche als natürlich auch nahe damit verknüpfte geistige Funktionen zuschreibe. Die Mitbeteiligung der Psyche zeigt sich denn auch z. B. darin, dass sich die hysterischen Anfälle oft mit ausgesprochenen psychischen Erscheinungen verbinden, deren Erklärung bei der interzentralen Lokalisation keine Schwierigkeiten macht. Allein es handelt sich hier nicht darum, sondern um die Definition dessen, was für den Begriff „hysterisch“ wesentlich ist, und da können nur die körperlichen Symptome in Betracht kommen, weil nur sie Anlass gegeben

haben zur Aufstellung des Begriffes „Hysterie“ und weil die geistigen Symptome fakultativ und deshalb für die Definition nicht charakteristisch sind und auch bei Zuständen vorkommen, bei welchen niemand von Hysterie spricht. Ich werde auf diese so viel missverstandene Frage in der folgenden Darstellung noch wiederholt zurückkommen müssen.

Meine *Beweisführung* für die interzentrale Lokalisation der den somatischen hysterischen Symptomen zugrunde liegenden funktionellen Veränderungen ist folgende:

Zunächst gibt es einige bekannte Beispiele, wo notorische isolierte Interzentralveränderungen auf grob anatomischem Wege zustande kommen, welche zeigen, dass der Versuch der interzentralen Lokaldiagnose auf keiner blossen Konstruktion beruht, sondern auf durchaus reeller Basis steht. Solche interzentrale, anatomisch bedingte Symptomenkomplexe, welche also den besten Begriff von der symptomatischen Eigenart der interzentralen Lokalisation und somit auch von der Natur der hysterischen Symptome geben, sind die gewöhnlichen anatomischen *Aphasien* und *Apraxien* und echten *Agnosien*. Denn die dabei anatomisch lädierten, irrtümlicherweise als Sprach-, Praxie- und Gnosiezentren bezeichneten Regionen des linken Gehirns sind nichts anderes als die fokalen Interzentralgebiete der Sprache, des Handelns und des Erkennens. Die Projektionssysteme der Motilität und der Sinne bleiben bei diesen Läsionen, gerade wie es auch für die hysterischen Erscheinungen charakteristisch ist, vollkommen frei. Der motorisch Aphasische z. B., der nicht sprechen kann, hat keine Lähmung seiner Sprachmuskeln, der sensorisch Aphasische, der kein gesprochenes Wort versteht, hat keine Gehörstörung. Interessanterweise haben nun diese anatomischen Aphasien, Apraxien und Agnosien ihre funktionellen hysterischen Doppelgänger. Am bekanntesten ist von diesen die als Teilerscheinung des hysterischen Mutismus, aber auch isoliert auftretende hysterische Aphasie. Sie ist offenbar, je nach ihrer besondern Eigenart, genau gleich zu lokalisieren wie das entsprechende anatomische Aphasiebild. Weniger bekannt, aber zweifellos ebenfalls vorkommend, sind hysterische Agnosien. Die interzentrale Lokalisation erscheint auch für sie nach ihren anatomischen Vorbildern gegeben. Sehr bekannt dagegen sind wieder die hysterischen Schattenbilder der anatomischen Apraxie. Als solche möchte ich nämlich die von mir so genannten *funktionalisierten hysterischen motorischen*

Lähmungen bezeichnen, wie die hysterische Aphonie und Abasie-Astasie, wo keine vollkommenen motorischen Lähmungen, sondern bloss der Ausfall besonderer Funktionen, in diesen Fällen derjenigen des Lautsprechens oder des Gehens und Stehens bei Erhaltensein aller übrigen motorischen Funktionen der betreffenden Muskelgebiete, also bei intaktem Projektionssystem, vorliegt. Im Lichte meiner Auffassung der hysterischen Erscheinungen als funktioneller körperlicher, interzentraler Läsionen lässt sich direkt der Satz prägen: Die anatomisch bedingten Aphasien, Apraxien und Agnosien sind nichts anderes als anatomisch bedingte und dadurch stabilisierte hysteroide Symptomenkomplexe. Ihre anatomische Lokalisation beweist also für ihre hysterischen Doppelgänger mit voller Sicherheit die nämliche Lokalisation und dadurch mit einer an Sicherheit grenzenden Wahrscheinlichkeit auch die interzentrale Lokalisation für diejenigen hysterischen Symptome, zu denen man bisher noch keine anatomischen Parallelbilder gefunden hat. Ich bezweifle übrigens nicht, dass, sobald man sich erst einmal mit meiner Auffassung vertraut gemacht haben wird, man weitere anatomische Parallelbilder zu hysterischen Symptomenkomplexen auffinden wird und dass daraus eine detaillierte Lokaldiagnose der Hysterie erwachsen wird.

Wenn hiernach für diese funktionalisierten hysterischen Lähmungen die Frage der Lokalisation völlig klar erscheint, indem dieselben gewissermassen als funktionelle Apraxien aufzufassen sind, so fügen sich auch die totalen hysterischen Lähmungen sehr gut der interzentralen Lokalisation, obgleich sich diese Lokalisation dann nicht direkt, sondern bloss aus der hysterischen Konstellation mit Wahrscheinlichkeit beweisen lässt. Man braucht ja bei einer totalen hysterischen Armlähmung, wie man sie so häufig nach Traumen sieht, bloss anzunehmen, dass es sich hier um sehr ausgedehnte, die sämtlichen Verbindungen zwischen den Interzentralgebieten und den motorischen Projektionsgebieten lähmende funktionelle Lokalisationen handelt.

Nicht minder als viele hysterische motorische Lähmungen zeigen auch die typischen *motorischen hysterischen Reiz- oder Krampferscheinungen*, besonders die eigentlichen hysterischen Anfälle und manche Kontrakturen, hysterische rhythmische Krämpfe und Ticformen usw. in ihrer hochkoordinierten Symptomatologie, welche oft in so auffälliger Weise psychische

Vorgänge mimt, die unzweideutigen Merkmale der funktionalisierten, d. h. interzentralen Lokalisation. Auch die hysterische Chorea, wie sie bei Kindern so häufig durch Nachahmung entsteht, ist als funktionelle interzentrale Reizerscheinung zu deuten. Es ergibt sich dies ohne weiteres, wenn man die von mir vertretene Lehre von einer physiologischen Choreafunktion in der Grosshirnrinde (bei Verlegenheit und lang erzwungener Körperruhe) und von dem Auftreten der gewöhnlichen pathologischen Choreaformen durch Wegfall von Hemmungen dieser physiologischen Funktion akzeptiert (vgl. mein Lehrbuch der klinischen Unterrichtsmethoden, VI. Aufl., 1920, Bd. II, 2 S. 661 und 1391).

Bei alledem darf aber nicht verschwiegen werden, dass das Gebiet der als hysterisch aufgefassten Krampferscheinungen noch einer weit gehenden Sichtung bedarf. Denn wahrscheinlich müssen manche dieser bisher zur Hysterie gerechneten Krampferscheinungen, nämlich viele ticartige Bilder und namentlich wohl ein grösserer Teil der bisher sogenannten hysterischen Kontrakturen im Lichte unserer neuern Kenntnisse der Striatumerkrankungen zu diesen letztern gerechnet werden. Es ist sehr wahrscheinlich, dass es dabei auch funktionelle Striatumerkrankungen gibt und diese sind dann, wenn man nicht aufs neue den Begriff der hysterischen Erscheinungen verwischen will, von den letztern auszuschliessen als besondere Art funktioneller Erkrankungen, welche ich als *Striatumneurosen* oder abgekürzt als *Striatosen* zu bezeichnen vorschlage. Möglicherweise ist die Zweiteilung, welche Babinski bei den Kriegsneurosen vorgenommen hat, indem er die eigentlichen hysterischen, nach seiner Ansicht „pithiatischen", d. h. durch Suggestion zustande kommenden Erscheinungen von sogenannten Reflexneurosen trennt, zu welchen er namentlich schwere Kontrakturen rechnet, die er der suggestiven und auch andern Behandlungen wenig zugänglich fand, darin begründet, dass es sich bei dieser zweiten Babinskischen Gruppe um solche Striatumneurosen, wenn nicht gar um anatomische Striatumerkrankungen handelt.

Das Epileptoidwerden gewisser hysterischer Anfälle (sogenannte Hysteroepilepsie) erklärt sich durch das Übergreifen der krampfhaften Erregung von den Interzentralsystemen auf die Projektionssysteme der sogenannten motorischen Zentren, als deren charakteristisches Herdsymptom wir ja die epileptoiden Entladungen längst kennen.

Ich möchte nun speziell betonen, dass die von mir behauptete interzentrale Genese der echt hysterischen motorischen Symptome keineswegs ohne weiteres involviert, dass dieselben, entsprechend den landläufigen Theorien von den „hysterischen Willenslähmungen“ und „Willenskrämpfen“ mit geistigen Parallelprozessen verbunden, bzw. im eigentlichen Sinn des Wortes psychogen sein müssen. Denn meine interzentrale Lokalisation ist keineswegs, weder allgemein, noch in betreff der motorischen Erscheinungen, zu verwechseln mit einer psychischen Theorie der Hysterie. Denn entsprechend dem von mir aufgestellten Begriff der körperlichen Assoziationen stelle ich auch den Begriff der *körperlichen Engramme* demjenigen der geistigen Engramme gegenüber. Dieser in betreff des Wesens der sogenannten Engramme nichts präjudizierende, nur zur leichtern Verständigung geschaffene Ausdruck soll hier, wie überhaupt, nichts anderes bezeichnen, als diejenigen, z.B. auch dem Gedächtnis zugrunde liegenden Veränderungen, welche potentiell in den Hirnelementen, speziell in den Interzentralsystemen, von jeder Erregung, welche in ihnen stattgefunden hat, zurückbleiben. Die körperlichen Engramme entstehen also aus den körperlichen Assoziationen durch den Prozess, den man gewöhnlich bildlich als Einschleifung der Bahnen bezeichnet, und sind in den Interzentralsystemen jederzeit zur körperlichen Ekphorierung, d. h. zum Wiederaufleben im Sinne der Wiederbetätigung der betreffenden körperlichen Assoziation disponibel.

Die prinzipiell wichtige Annahme selbständig gewordener körperlicher Engramme, die ja in Wirklichkeit, wenn es auch nie in dieser Form ausgesprochen wurde, auch der modernen Aphasie- und Apraxielehre zugrunde liegt, ergibt sich aus der Tatsache, dass man eingeübte komplizierte Bewegungen und Handlungen oft ohne jede Beteiligung des Bewusstseins (denn ich negiere ein sogenanntes Unterbewusstsein) ausführt. Man denke an die Leistungen eines Violinvirtuosen bei der Ekphorierung schwieriger Passagen, an welche er bei der Ausführung gar nicht denkt. Es weist dies darauf hin, dass die körperlichen Engramme eine von den geistigen, aus welchen sie hervorgegangen sind, unabhängige Existenz annehmen und dann ohne Bewusstseinsvorgänge ekphoriert und somit auch unabhängig von solchen gestört werden können.

Mit dieser Annahme der Selbständigkeit körperlicher Engramme steht die klinische Analyse anatomischer Fälle von Aphasie, Apraxie

und Agnosie in bestem Einklang: Bei der Broca schen und Wernicke schen Aphasie (den irrtümlich sogenannten zentralen Aphasien) und bei den sogenannten ideatorischen Apraxien Liepmanns sind wahrscheinlich sowohl die geistigen als die körperlichen Engramme der betreffenden Funktionen zerstört, ebenso wie bei manchen Agnosien. Dagegen scheint es sich bei den (ebenfalls irrtümlich sogenannten) subzentralen Formen der motorischen und sensorischen Aphasie und bei den von Liepmann als „motorisch" bezeichneten Apraxieformen bloss um das Verschwinden oder Inaktivwerden der körperlichen Engramme bei Erhaltenbleiben der geistigen zu handeln und das nämliche gilt für diejenigen Agnosien, bei welchen zwar die Objekte nicht mehr sinnlich erkannt, aber doch noch vorgestellt werden können.[1]

Daraus ergibt sich also, dass hysterische Lähmungen und Krämpfe nicht eo ipso als „Willenslähmungen" und „Willenskrämpfe" aufzufassen sind, und in der Tat widerspricht dem die Selbstbeobachtung intelligenter Hysterischer, trotz der durch die interzentrale Lokalisation bedingten psychoiden Beschaffenheit der Erscheinungen. Denn der Hysterische kann offenbar doch am besten, und überhaupt nur er ganz allein, über den Zustand seines Willens Aufschluss geben, und er negiert regelmässig die Beteiligung seines Willens, als Willenszwang und Willenslähmung, an den in Frage stehenden Erscheinungen und charakterisiert diese als rein körperlich.

Übrigens verliert die Unterscheidung psychogener und nicht psychogener Entstehung der hysterischen Erscheinungen bei der

[1] Die Annahme, dass komplizierte körperliche Engramme nicht den Interzentralgebieten der Hirnrinde sondern niedrigeren Zentren, vielleicht sogar, soweit sie spinale Gebiete betreffen, dem Rückenmark angehören, ist aus den verschiedensten Gründen abzulehnen. Schon der „psychoide" Charakter komplizierterer, ohne begleitende Bewusstseinsvorgänge reekphorierter Bewegungen und die mühevolle psychische Erlernung derselben spricht gegen diese Möglichkeit und vielmehr für die interzentrale, zerebrale Lokalisation. Wenn dies für die motorischen Engramme gilt, so involviert es auch mit grosser Wahrscheinlichkeit eine gleiche Lokalisation der zugehörigen sensiblen Engramme, da man sich die erwähnten virtuos und ohne Bewusstseinscorrelat sich vollziehenden Leistungen ja doch nur durch das Zusammenwirken motorischer und sensibler Engramme, durch eine Art höherer interzentraler enggeschlossener Reflexe vorstellen kann. Die anatomischen Aphasien, Apraxien und Agnosien sind ausserdem, wie aus dem oben Angeführten hervorgeht, direkte Beweisstücke für die interzentrale Lokalisation nicht bloss der psychischen sondern auch der körperlichen Engramme der betreffenden Funktionen.

interzentralen Lokalisation einen grossen Teil ihrer Bedeutung, weil die Interzentralgebiete die gemeinsame Berührungsfläche der körperlichen und geistigen Funktionen, gewissermassen die Wasserscheide derselben sind. Für die symptomatische Definition der hysterischen Erscheinungen muss aber an der körperlichen Natur der Symptome festgehalten werden, weil nur die körperlichen Symptome begrifflich charakteristisch sind.

Auch die *hysterischen Sensibilitätsstörungen* (Anästhesien und Hypästhesien), welche oft als hysterische Stigmata bezeichnet werden und welche in den alten Hexenprozessen eine so verhängnisvolle Rolle als „Stigmata diaboli" gespielt haben, müssen interzentral lokalisiert werden. Der Beweis liegt darin, dass auch die Sensibilitätsstörungen oft funktionalisiert, d. h. bloss für bestimmte Funktionskombinationen, vorhanden sind. Ich will bloss einige der bekannteren Tatsachen anführen, aus welchen dies hervorgeht. Vor allem die Tatsache, dass die Kranken durch ihre Sensibilitätsstörungen oft gar nicht belästigt werden, so dass man sie zufällig bei der Untersuchung, zur Verwunderung der Kranken, entdeckt. Es deutet dies darauf hin, dass die psychischen höhern Reflexfunktionen der Sensibilität, die sensibel bedingten Regulationen des Ichs nach der Umwelt, erhalten sind, ähnlich wie die ebenfalls corticalen einfachen Hautreflexe. Die Störung ist also funktionalisiert und betrifft bloss die bewusste Wahrnehmung. Bekannt ist auch die Tatsache, dass der hysterisch einseitig Amaurotische binocular oft mit dem monocular blinden Auge sieht, wie es die Stereoskopversuche beweisen. Die Störung ist in diesem Fall funktionalisiert für das monoculäre Sehen. Die Literatur enthält eine grosse Anzahl ähnlicher Beobachtungen auch auf andern Sinnesgebieten (vgl. z. B. Janet, „L'état mental des hystériques", 1911). Man kann also auch vielen sensiblen hysterischen Störungen den funktionalisierten Charakter beilegen, der für die interzentralen Störungen so charakteristisch ist. Hierdurch wird auch für die nicht funktionalisiert sich äussernden hysterischen Sensibilitätsstörungen die interzentrale Genese wahrscheinlich. Psychisch brauchen aber die hysterischen Sensibilitätsstörungen darum, aus den bei den motorischen Störungen angeführten Gründen, ebenso wenig zu sein, wie diese, sondern sie können auch bloss die körperlichen sensiblen Assoziationsvorgänge und Engramme, bzw. den Anschluss der Sensibilität an die Psyche oder den Bewusstseinsinhalt betreffen.

Die interzentrale, d. h. hysterische Genese von *Schmerzen* bleibt dagegen, obschon sie möglich ist, meist zweifelhaft, da sich Schmerzen sehr leicht auch von den Projektionssystemen aus erklären lassen. Jedenfalls muss deshalb die Diagnose auf hysterische Schmerzen mit grösserer Vorsicht gehandhabt werden, als es bei dem in der Neurosenlehre herrschenden begrifflichen Chaos gewöhnlich geschieht, um so mehr als das Symptom Schmerz eine Hauptdomäne der positiven Intensitätsneurose, der Nervosität, und nicht der Hysterie ist. Vielleicht kann die Feststellung funktionalisierter, d. h. bloss an bestimmte zentrale Funktionen gebundener Schmerzen bei Hysterie uns in der Diagnose interzentraler, d. h. echt hysterischer Schmerzgenese weiter bringen.

Aus der interzentralen Lokalisation der hysterischen Symptome erklärt sich die grosse Mannigfaltigkeit ihrer Auslösung bei bestehender Disposition, d. h. der *Ätiologie.* Denn man darf nicht vergessen, dass das Interzentralgebiet gewissermassen die Brennfläche ist, in welcher alle zentripetalen körperlichen und geistigen Einflüsse zum körperlichen und geistigen Ich zusammenstrahlen. Neben psychischen, meist affektbetonten Einwirkungen und Traumen spielen bekanntlich auch Gifte, wie Alkohol und Blei, eine bedeutende Rolle als agents provocateurs der Hysterie, und die grosse Labilität des Interzentralgebietes unter dem Einfluss körperlicher und geistiger Einwirkungen, welche ja die Bedingung des normalen körperlichen und geistigen Lebens mit allen seinen Anpassungsmöglichkeiten ist, erklärt, dass bei bestimmten Erregungskonstellationen auch der sonst Gesunde vorübergehend hysterische Erscheinungen darbieten kann, ohne dass er deshalb von den Anhängern der „degenerativen" Natur der Hysterie als „degeneriert" taxiert werden darf.

Diese mannigfaltigen interzentralen Einwirkungen schliessen nun natürlich auch die hysterogenen Einflüsse der *Nachahmung* und *Suggestion* ein. Aber darin liegt kein Grund, mit Bernheim und Babinski die hysterischen Erscheinungen nur auf Suggestion zurückzuführen. Suggestion ist bloss eine der vielen Einwirkungsmöglichkeiten auf die Interzentralerregbarkeit. Die Hypnose ist nichts anderes, als eine durch Suggestion hervorgerufene lokalisierte interzentrale Erregbarkeitsveränderung von echt hysterischem Charakter, welche Wundt, ohne eine eigentliche Erklärung zu geben, symptomatologisch als Einengung des Bewusstseins charakterisiert

hat. In der höchst bedenklichen Tatsache der fast allgemeinen Hypnotisierbarkeit gesunder und intelligenter Menschen, in der Entstehung hysterischer Erscheinungen durch Nachahmung, in den Massensuggestionen, Volkspsychosen und Massenhysterien zeigt die für das gewöhnliche Leben, für Erziehung, Anpassung usw. so nützliche Labilität und Plastizität der interzentralen Erregbarkeiten ihren Pferdefuss.

Nach meiner Auffassung von der körperlich geistigen Doppelnatur der Interzentralfunktionen erweist sich die Beteiligung der Psyche an den hysterischen Erscheinungen, wie schon angedeutet, als fakultativ, und da wo sie vorhanden ist, als leicht verständlich. Ich leugne also das Vorkommen psychischer Symptome und sogar die Psychogenese einzelner körperlicher Symptome bei Hysterischen keineswegs. Die obligatpsychische Natur der Hysterie und ihre Bezeichnung als Psychoneurose oder gar als Psychose ist dagegen aufs schärfste abzulehnen. Man vergleiche in dieser Beziehung auch, was ich später über den angeblichen hysterischen Charakter sagen werde. Die gegenteilige, meist von Psychiatern stammende Auffassung der Hysterie als Psychose steht in Widerspruch zu den häufigen rein somatischen Formen von Hysterie, welche wir auf den internen Kliniken sehen, und ist auf die häufige Kombination von Hysterie mit Geisteskrankheiten, besonders Schizophrenie, zurückzuführen, eine Kombination, welche bei der Lokalisation auch der Psychosen in den Interzentralsystemen leicht verständlich ist. Diese Kombinationen sind aber bei dem Fundamentalbedürfnis des menschlichen Geistes, die Naturerscheinungen zu ordnen, und bei der Notwendigkeit, die einzig pathognomonischen körperlichen hysterischen Symptome entsprechend unserem Untersuchungsplan endlich einmal scharf zu definieren, kein Grund, alles in einen Topf zu werfen. Wenn ein Typhus sich sehr oft mit Pneumonie kombiniert, so ist dennoch der Typhus keine Pneumonie. Bei der Hervorhebung der häufigen Kombinationen von Schizophrenie mit hysterischen Erscheinungen will ich es vorläufig dahingestellt lassen, ob auch die *katatonischen Muskelspannungen* hysterischer Natur sind und nicht vielmehr mit Rücksicht auf das bei den hysterischen Kontrakturen Gesagte auf Striatumneurosen beruhen.

Auf die Beziehungen des *Stotterns* und des *Strabismus* zu den hysterischen Erscheinungen, sowie auf das Vorkommen von hysterieähnlichen Erscheinungen bei *anatomischen Herdläsionen*

des Gehirns, Hirntumoren, Hydrocephalus, Meningitis, bei *multipler Sklerose* und *Infektionskrankheiten,* wie Typhus, ferner auf die Tatsache, dass *choreatische Symptomenbilder* sowohl als hysterische Erscheinungen, wie auch auf infektiöser und selbst anatomischer Basis vorkommen, kann ich hier in Anbetracht der beschränkten Zeit nicht eingehen, und ich verweise in dieser Beziehung auf meine an anderer Stelle erfolgende ausführlichere Darstellung des Gegenstandes und auf meine klinischen Vorlesungen. Wenn sich das Sprachgefühl dagegen sträubt, in allen diesen Fällen von hysterischen Erscheinungen zu sprechen, was sachlich nach meiner Definition in den Fällen von anatomischen Hirnerkrankungen in der Tat nicht berechtigt erscheint, so kann man doch von hysteroiden Erscheinungen sprechen, wenn man nicht vorzieht, was ich für viel zweckmässiger halte, die alte Hystera überhaupt aus dem Spiele zu lassen und nach der von mir in dem folgenden vorgeschlagenen Nomenklatur einfach von Interzentralsymptomen zu sprechen.

Man wird nach diesen wegen der Beschränktheit der Zeit summarischen Auseinandersetzungen, welche in meiner klinischen Vorlesung über die Neurosen ihre detailliertere Begründung gefunden haben, meinen Standpunkt verstehen, wenn ich das ceterum censeo ausspreche, *hysteriam esse delendam.* Die Hysterie muss „abgeschafft" werden. Ich meine dies in doppeltem Sinne. Nicht nur sehe ich, wie aus meiner ganzen Darstellung hervorgeht, in der Hysterie keine selbständige Krankheit, sondern einen die ganze Pathologie und, in Form ungewöhnlicher Suggestionswirkung, auch das physiologische Leben durchsetzenden Symptomenmechanismus, sondern ich bin auch der Ansicht, dass es die höchste Zeit ist, endlich einmal auch die Worte Hysterie und hysterisch aufzugeben. Denn diese Bezeichnung ist trotz ihres Alters eine nicht besonders ehrwürdige Reliquie der alten Uterustheorie der Hysterie, und es hat wirklich keinen Zweck, diese Mumie noch weiter zu konservieren, ausser etwa in der Geschichte der Medizin und der menschlichen Irrungen.

Dann muss man freilich etwas Besseres an die Stelle setzen, und da schlage ich vor, die hysterischen Symptome als *funktionelle somatische Interzentralsymptome* oder in Anlehnung an den Bleulerschen Begriff der Schizophrenie als *somatische schizoneurotische Symptome,* die Hysterie, da man doch nicht so bald darauf verzichten wird, auch für hysterische Symptomen-

komplexe als Ganzes einen Namen zu gebrauchen, als *somatische Interzentralneurose* oder *somatische Schizoneurose* zu bezeichnen und damit auch zu definieren. Denn die Hysterie ist gewissermassen das körperliche Analogon der Schizophrenie, was der Wortbestandteil „Neurose" gegenüber „Phrenie" markieren soll. Hier die von BLEULER betonte Spaltung und Disharmonie der geistigen Persönlichkeit, dort, bei den hysterischen Erscheinungen, die Spaltung, Disharmonie, Unordnung und Unbotmässigkeit der körperlichen Interzentralfunktionen, gewissermassen der körperlichen Persönlichkeit. Denn was ist es z. B. anderes als eine funktionelle *Spaltung,* wenn die hysterische einseitige Blindheit nur darauf beruht, dass der Kranke seine optischen Eindrücke beim monokulären Sehen nicht mehr dem Bewusstseinsinhalt anzufügen vermag, wie dies die bekannten Stereoskopversuche beweisen. Durch die Ähnlichkeit der Namen Schizoneurose und Schizophrenie soll auch das häufige Zusammenvorkommen von hysterischen und schizophrenen Symptomenbildern signalisiert werden, welches Anlass gegeben hat zu der meiner Ansicht nach unberechtigten Aufstellung eines schwarz gemalten besondern *„hysterischen Charakters"*, der sich in Wirklichkeit aus schizophrenen, den hysterischen Symptomenkomplexen als solchen nicht notwendig angehörenden Zügen zusammensetzt. Ich negiere das gelegentliche Vorkommen dieses abnormen, übrigens in den Einzelfällen stark abweichenden Charakters bei Hysterischen nicht; aber er ist fakultativ und lässt sich nicht in dem Begriff der Hysterie unterbringen. Nur die Verwechslung mit „schizoiden" Beimengungen hat JANET zu seiner verblüffend an die BLEULERsche Definition der Schizophrenie erinnernden Definition der Hysterie als „Désaggrégation mentale" Anlass gegeben. BERNHEIM sagt mit Recht von diesem angeblich hysterischen Charakter: „Il n'y a pas de vice qu'on n'ait pas endossé au pauvre hystérique, c'est toujours l'ancienne possession diabolique adaptée à la psychologie moderne."

Es ist, wie gesagt, selbstverständlich, dass auch abgesehen von solchen Kombinationen mit eigentlichen Psychosen sich hysterische, also körperliche funktionelle Interzentralsymptome mit geistigen Anomalien verbinden können. Denn wenn jemand in seinen Interzentralsystemen sich körperlich auswirkende „Sparren" hat, so ist es klar, dass häufig auch die in denselben oder wenigstens eng benachbarten Gebieten sich abspielenden geistigen Funktionen

nicht immer ihren normalen Verlauf nehmen, und dass der Betreffende dann oft auch an geistigen „Sparren“ leiden wird. Ich muss aber nochmals besonders mit Rücksicht auf monosymptomatische hysterische Erscheinungen, wie die hysterische Aphonie und Abasie betonen, dass dies fakultativ ist. Und wie mancher hat auf der andern Seite geistige Sparren, ohne deshalb hysterisch zu sein! Denn sonst würde ja die Verbreitung der Hysterie keine Grenzen mehr kennen. Wenn geistige Verschrobenheiten und Absonderlichkeiten bei Hysterischen aus naheliegenden Gründen, nämlich wegen der Lokalisation der hysterischen Erscheinungen in den Interzentralgebieten, häufiger vorkommen mögen als bei sonst Gesunden, so ist es doch wünschenswert, endlich einmal zu einem scharfen Begriff dessen, was hysterisch ist, zu kommen, und dies ist nur möglich, wenn man von allen diesen zufälligen Beimischungen absieht, Tabula rasa macht, und in der Begriffsfassung nur von den eindeutigen körperlichen Symptomen ausgeht, ohne welche der Hysteriebegriff überhaupt nie entstanden wäre. Dass gegebenenfalls auch die psychischen Symptome in der klinischen Beschreibung der synthetischen Hysteriebilder erwähnt werden, ist ja ganz in der Ordnung, sie würden aber nur dann in den Hysteriebegriff einbezogen werden können, wenn sie erstens konstant wären, und wenn die Hysterie als selbständige Krankheit und nicht bloss als Symptomenmechanismus anerkannt werden könnte.

Es ergibt sich aus meiner ganzen Darstellung von selbst, dass ich der zuweilen die Hysterie begleitenden Nosophilie (dem „Krankseinwollen“) und der Reichardtschen „Wunschrichtung“,[1] der Neigung zu Simulation und Übertreibung usw., ebensowenig wie dem angeblich hysterischen Charakter in der Definition hysterischer Erscheinungen Bedeutung einräumen kann, sondern annehme, dass es sich dabei um heterogene Beimischungen handelt, die leider auch ohne Hysterie nur zu häufig vorkommen.

Auch in der *Therapie* bewährt sich die Auffassung der hysterischen Erscheinungen als funktionelle Interzentralsymptome. Vor allem erklärt diese Auffassung die gegen hysterische Krankheitsbilder gerichtete Wirkung so zahlloser funktionstherapeutischer Beeinflussungen, deren gemeinsames Merkmal ist, dass sie die Erregbarkeiten und die Erregbarkeitskonstellationen der Interzentral-

[1] Vgl. z. B. Reichardt, Deutsche med. W.-Schr. 1921, Nr. 3.

systeme beeinflussen. Die Zahl dieser Mittel ist ebenso gross wie die Zahl der Einflüsse, welche hysterische Erscheinungen provozieren können. Ihre Wirkung ist im Lichte der funktionellen interzentralen Erklärung leicht verständlich, mag es sich dabei um Wachsuggestion oder hypnotische Suggestion, um Heilungen in Lourdes oder um solche durch das faradische Schreck- und Überrumpelungsverfahren handeln. Denn alle diese Einwirkungen verändern das Zustandsbild sowohl der körperlichen als der geistigen interzentralen Erregbarkeiten. Dass die Suggestion oft so bedeutende Wirkungen hat, erklärt sich daraus, dass sie einen bequemen Zugang zu den Interzentralsystemen vermittelt. Aber nicht bloss erklärt meine Theorie die Wirksamkeit aller dieser bewährten Verfahren, sondern sie gibt auch Anregung zu immer neuen individuell ausgewählten, dem Einzelfall angepassten Behandlungsmethoden. In erster Linie kommen dafür psychotherapeutische, für jeden Fall neu zu erfindende Verfahren in Betracht; denn der nächste, wenn auch nicht der einzige Weg zu den Interzentralfunktionen, auch zu den körperlichen, führt über die Psyche.

* * *

Hochgeehrte Anwesende! Die Geschichte der Hysterie zeigt in typischer Weise, in welches undurchdringliche Dunkel uns die in neuerer Zeit so viel gerühmte sogenannte *„funktionelle" Medizin* führt und zu welcher Klarheit wir überall da gelangen, wo uns das Licht der *Morphologie* und *Anatomie* voranleuchtet. Der Hysteriebegriff war bisher mit keinerlei morphologischen Vorstellungen verbunden und deshalb unklar. Ich habe versucht, ihn durch anatomische Vorstellungen zu klären. Möge durch diese sichtenden und ordnenden Untersuchungen überhaupt nun endlich etwas mehr Klarheit und Logik in das Kapitel der sog. allgemeinen Neurosen hineinkommen und eine *energetische* Auffassung der *Intensitätsneurosen* und eine *funktionell anatomische Lokaldiagnostik der hysterischen Erscheinungen* dadurch begründet werden. Wenn vielleicht von dem, was ich Ihnen heute vorgebracht habe, manches noch nicht ganz klar geworden sein sollte, was ja bei einer so summarischen Darstellung sehr verständlich ist, so verweise ich Sie auf meine ausführlichere Darstellung des Gegenstandes, die an anderer Stelle erfolgen soll. Ich danke Ihnen für Ihre schwer geprüfte Aufmerksamkeit.

Das
Aarmassiv, ein Beispiel alpiner Granitintrusion

Prof. E. Hugi

Meine Damen und Herren!

Drei Hauptfragen sind in unsern Tagen bei der Erforschung der alpinen Granitmassive mehr und mehr in den Vordergrund getreten:

1. Die Frage nach der chemisch-physikalischen Beschaffenheit des Magmas und nach dem Vorgange der Granitbildung selbst.

2. Die Beeinflussung des Nebengesteins durch die Granitintrusionen und deren postmagmatische Wirkungen.

3. Die Zusammenhänge zwischen Alpenfaltung und eruptiver Tätigkeit, die primären und sekundären Einwirkungen der gebirgsbildenden Kräfte auf die granitischen Gesteinskörper und ihre Schieferhüllen.

Keines dieser drei Probleme kann für sich allein erörtert werden, sie stehen vielmehr alle in engster Wechselbeziehung zu einander und nur durch ihre gemeinsame Betrachtungsweise lassen sich weiter ausholende Fragen der Entstehungsgeschichte unserer kristallinen Alpen ihrer Lösung entgegenführen.

Schon liegen einige Jahrzehnte hinter uns zurück, seitdem man die unterirdischen Schmelzflüsse, aus denen die Eruptivgesteine sich bilden, noch für gewöhnliche Schmelzen hielt, vergleichbar denjenigen, die man im Laboratorium herstellen kann, oder die bei manchen technischen Prozessen entstehen.

Nach heutigen Begriffen verstehen wir unter dem *Magma* nicht mehr eine Schmelze im landläufigen Sinne des Wortes, sondern eine molekulare Lösung von schwer und leicht löslichen Stoffen, die für jedes Druck- und Temperaturpaar in einem ganz bestimmten Lösungsverhältnis zu einander stehen.

Bei höherer Temperatur und höherem Druck ist das gegenseitige Lösungsvermögen dieser Mehrstoffsysteme grösser, bei sinkendem Drucke und sinkender Temperatur fallen die schwer löslichen Bestandteile nacheinander entsprechend ihrem Löslichkeitsgrad

aus der Schmelzlösung aus und in gleichem Masse reichern sich die leicht löslichen und zugleich leicht flüchtigen Komponenten in ihr an. Eine fortwährende Steigerung des Innendruckes ist die direkte Folge dieses Vorganges. Magmaabkühlung und Verminderung des äussern Druckes bewirken daher eine fraktionierte Kristallisation und eine fraktionierte Destillation (Abkühlungsdestillation) des Magmas; als deren letzte Fraktion werden die leichtflüchtigen Stoffe mit hoher Dampfspannung ins Nebengestein hinausgepresst.

Diese Vorstellungsweise über die physikalisch-chemische Natur des Magmas hat sich in der modernen Petrographie seit Jahren mehr und mehr Geltung verschafft, sie ist jetzt wohl allgemein zur Anerkennung gelangt, und doch können wir uns des Eindruckes nicht erwehren, dass auch heute noch solche Auffassungen in bezug auf die Petrogenesis der alpinen Granitmassive nicht genügend zur Auswertung gekommen sind.

Schon der *Vorgang* der *Granitbildung* selbst wird ganz beherrscht von der Löslichkeit der magmatischen Stoffe in ihrer Abhängigkeit von Temperatur und Druck. Als Granit bezeichnen wir eine Mineralkombination, bestehend aus Quarz, Orthoklas, natronreichem Plagioklas und Biotit. Unter diesen Hauptgemengteilen hat sich der Glimmer als erstes Mineral, der Quarz als letzte Komponente ausgeschieden.

Wäre der Granit durch Abkühlung aus einer trockenen Schmelze entstanden, so hätte sich der Bestandteil mit dem höchsten Schmelzpunkt, der Quarz, zuerst verfestigen müssen. Der Glimmer aber, der den niedrigsten Schmelzpunkt besitzt, würde zuletzt auskristallisiert sein. Die Ausscheidungsfolge ist aber in Wirklichkeit die umgekehrte, weil das granitische Magma nicht eine Schmelze, sondern eine Lösung darstellt, aus welcher der Glimmer als schwer lösliche Komponente, der Quarz dagegen in leicht flüchtiger Phase sich ausscheidet. Dieser letztere ist aus dem Magma nicht direkt als SiO_2 auskristallisiert, sondern hat sich aus ihm in Form der beiden leichtflüchtigen Destillate SiF_4 und H_2O abgespalten, die erst in ihrer Wechselzersetzung

$$SiF_4 + 2\,H_2O \longrightarrow SiO_2 + 4\,HF$$

den Quarz sich bilden liessen.

Es muss uns heute als Tatsache gelten, dass manche der Mineralgemengteile einem erstarrenden Granit noch nach seiner Hauptverfestigung in Form fluider Phasen zugeführt werden können.

Diese leichtflüchtigen Stoffe des Magmas beeinflussen aber auch noch in anderem Sinne die Granitbildung. Sie setzen die Viskosität der an und für sich zähflüssigen, kieselsäurereichen Schmelzlösungen herab, erhöhen dadurch die molekulare Beweglichkeit und befördern so die Individualisierung der Stoffe, d. h. ihre Kristallisation; sie machen aber auch die Systeme äussern Einflüssen gegenüber empfindlicher.

Im Entwicklungszyklus der Magmen, im besondern der granitischen Schmelzflüsse spielt die stoffliche Sonderung nicht nur im Kristallisationsvorgang eine wichtige Rolle, sondern sie bedingt auch noch in viel umfassenderer Weise die *Differentiation* derselben.

Unter Einfluss der Schwerkraft, der Temperatur, des Druckes und wohl noch anderer untergeordneter Ursachen hat ein ursprünglich vorliegendes Stamm-Magma die Tendenz sich in einzelne Teilmagmen zu spalten. Der Verlauf dieses Differentiationsvorganges strebt auf der einen Seite der Ausbildung eines kieselsäurereichen Gesteines, andererseits einem basischen Pole zu. Die Erreichung dieses Endzieles und die Einstellung des besondern Chemismus des Spaltungsproduktes wird wesentlich begünstigt und bedingt durch den Gehalt eines Magmas an fluiden Bestandteilen.

Mit den chemisch-physikalischen Eigenschaften der unterirdischen Schmelzflüsse hängt aufs engste auch zusammen ihre *Eruptivität,* d. h. ihr Vermögen entgegengesetzt dem Gesetze der Schwere aus dem Erdinnern in höhere Teile der Erdkruste emporzusteigen, oder in besonderem Falle an die Erdoberfläche auszubrechen.

Die ältern Vulkanologen, Geologen und Petrographen neigten vorherrschend zu der Ansicht, dass das Magma bei seinen Intrusionen und Eruptionen rein passiv durch orogenetische und epirogenetische tektonische Bewegungen in die Höhe gepresst werde. Sie vertraten die sogenannte *Abstautheorie.*

Auf anderer extremer Seite glaubte man, dass umgekehrt die dem Magma innewohnende Kraft als Ursache der Gebirgsbildung aufzufassen sei, und Bernhard Studer, der hervorragende Berner Geologe, war einer der ersten, der die Alpen, im besondern das Aarmassiv, durch die aktive Kraft des granitischen Schmelzflusses emporheben liess.

Die Zeit erlaubt es uns nicht, der historischen Entwicklung dieser Ideen nachzugehen, sonst würden wir finden, dass auch hier der goldene Mittelweg am nächsten zur Wahrheit führt: Infolge der hohen Dampfspannung der mit fortschreitender Abkühlung im

Magma sich anreichernden, leichtflüchtigen Bestandteile erhalten die intratellurischen Schmelzlösungen eine eigene juvenile innere Kraft, die sie befähigt, in die feste Erdkruste einzubrechen, Teile derselben emporzuheben oder sie sogar vollständig zu durchschlagen. Wo aber gebirgsbildende Vorgänge Spalten in die Kruste rissen oder wo sie das Magma selbst schon in die Höhe stauen, da werden selbstverständlich die Bedingungen zu seiner Intrusion und Extrusion noch weit günstiger sein. In der Tat lässt sich nicht nur in den Alpen, sondern auch in andern Kettengebirgen mit eruptiven Zentren häufig der sichere Nachweis erbringen, dass die Intrusionstätigkeit mit den letzten Phasen der Gebirgsbildung zusammenfällt. Es ist ein gegenseitiges und wechselweises Sichunterstützen von passivem Emporgepresstwerden und aktiver Intrusionskraft, denen die Alpengranite ihre „mise en place“ verdanken. Dass dabei auch der Innendruck des Magmas eine wesentliche Rolle gespielt hat, das kommt uns entschieden zum Bewusstsein, wenn wir die magmatischen Restlösungen auf Gängen und feinsten Äderchen sich kilometerweit ins Nebengestein injizieren sehen und wenn sie, unabhängig von jeder tektonischen Faltung, die Schieferhülle in intensivste und verworrenste Injektionsfältelungen zu legen vermögen (Ptygmatischer Faltungsvorgang).

Doch es besteht noch eine weitere Möglichkeit, die das Magma befähigt, dem sich bildenden Eruptivgestein in der festen Erdkruste den notwendigen Platz zu verschaffen. Infolge seiner hohen Temperatur und seiner grossen chemischen Aktivität schmilzt sich das Magma in das Nebengestein hinein, so etwa wie wenn man einen glühenden Lötkolben durch die Fasern eines Brettes durchstösst. Nach dieser *Einschmelzungshypothese* werden auch ganze Schollen vom Dache des Nebengesteins losgebrochen, sie sinken in das Magmabad hinein und werden in diesem mehr oder weniger vollständig aufgeschmolzen. Es findet also direkt auch ein Platzaustausch zwischen Magma und Nebengestein statt, bei dem sich die chemisch-physikalischen Gegensätze, die an den Kontaktflächen bestehen, nach Möglichkeit auszugleichen suchen.

Diese Wechselwirkung zwischen dem eruptiven Magma und seiner Schieferhülle ist nicht nur in örtlichem Sinne zu verstehen, sondern die hohe Temperatur der Schmelzlösung, ihre leichte molekulare Beweglichkeit, die meist sehr bedeutenden chemischen Unterschiede zwischen Magma und Nebengestein bedingen auch einen stofflichen Austausch zwischen beiden, der sowohl nach aussen wie

nach innen sich auswirkt. Solche gegenseitige Beeinflussungen lassen sich schon rein theoretisch voraussagen, aber sie finden in der Natur auch ihre tausendfache Bestätigung in all den mannigfaltigen Erscheinungen, die man mit der Gesamtbezeichnung der *Kontaktmetamorphose* zusammenzufassen pflegt. Zwei Hauptmöglichkeiten stehen für diese Kontaktwirkungen offen:

Vollzieht sich der stoffliche Ausgleich nach innen, indem Teile des Nebengesteins im Magma aufgeschmolzen werden, dieses chemisch verändernd und dem sich bildenden Eruptivgestein eine schlierige Beschaffenheit verleihend, so sprechen wir von endogener Kontaktmetamorphose. Äussern die magmatischen Agentien dagegen ihre Wirkungen nach aussen hin, so bringen sie die exogenen Kontakterscheinungen hervor, die nach der Art und Weise der Übertragung der magmatischen Stoffe sich verschieden abstufen können:

Wird die Stoffabfuhr ins Nebengestein und dessen chemische und mineralogische Umwandlung durch das Magma selbst vermittelt, so handelt es sich um die Kontaktmetamorphose im engern Sinne des Wortes, oder Injektionskontaktmetamorphose genannt, wenn die Magmaintrusionen auf Gängen und Adern die Schieferhülle vollständig aufblättern und durchflechten.

Findet die magmatische Stoffabwanderung statt in Form der abdestillierenden leichtflüchtigen, gasförmigen Phasen, so bringen diese die pneumatolytischen Kontaktwirkungen hervor, und werden endlich, wie das in den äussersten Kontaktbereichen gewöhnlich der Fall ist, nur noch die heissen wässerigen Lösungen, die dem Magmaherd als letzte Destillationsprodukte entsteigen, zum Werkzeuge des stofflichen Ausgleiches gemacht, so vollzieht sich die hydrothermale Kontaktmetamorphose.

Zwischen diesen drei letzten Arten der Einwirkung des Magmas auf das Nebengestein sind selbstverständlich keine scharfen Grenzen gegeben, es bestehen nur graduelle Unterschiede zwischen ihnen.

In den Alpen tragen die weitausholenden Kontaktumwandlungen noch ein besonderes Gepräge an sich, indem sie sich unter gleichzeitigem Einflusse tangential wirkender tektonischer Kräfte vollzogen haben. Mit Weinschenk bezeichnen wir diese besondere Art der kontaktmetamorphen Gesteinsumwandlungen als Piëzokontaktmetamorphose.

Wenn die Einwirkungen des tektonischen Druckes nicht vor oder während der Erstarrung des Eruptivgesteins und seiner

Kontaktmetamorphose, sondern nach der vollständigen Verfestigung der Gesteine erfolgt sind, so vermochten sie die vorher ausgebildeten Mineralbestände und Strukturen in anderer Weise umzuwandeln. Das früher Gewordene wird in neue Formen übergeführt, über das ursprüngliche Bild legt sich ein neues Gepräge. Altes und Neues verdeckt und verschleiert sich. Durch diese dynamometamorphe Beeinflussung wird daher die petrographische Forschung sehr erschwert und leicht irregeleitet. Auf der andern Seite jedoch wird sie dadurch in enge Beziehung gebracht zu der tektonischen Geologie, und das Studium der Alpenpetrographie, ausgehend von der mikroskopischen Detailuntersuchung, wird übergeleitet zu grosszügigen, petrographisch-tektonischen Fragen.

Nach diesen Ausführungen, die den Vorgang einer alpinen Granitintrusion mit allen ihren Folgeerscheinungen im allgemeinen zu veranschaulichen suchten, soll nun im zweiten Teil meines Vortrages all diesen Tatsachen an dem einen Beispiele des Aarmassives näher nachgegangen werden und von den so gewonnenen Gesichtspunkten aus wird im fernern ein Ausblick zu gewinnen sein auf die Entstehungsgeschichte unserer kristallinen Alpen überhaupt.

Meine Damen und Herren! Wenn ich es heute versuche, Ihnen eine Übersichtsdarstellung über die Petrographie und Geologie des Aarmassives zu geben, so bin ich mir der Schwierigkeiten wohl bewusst, die sich gerade jetzt einer solchen entgegenstellen. Noch ist die Forschung im vollen Flusse begriffen, ihre bis dahin erreichten Resultate sind noch lückenhaft, und manche der im folgenden vertretenen Anschauungen müssen uns einstweilen noch als zur Diskussion gestellte, offene Fragen gelten. Ich möchte Sie deshalb bitten, die Darstellung, die ich Ihnen heute geben kann, nicht als etwas definitiv Feststehendes aufzufassen, sondern vielmehr nur als ein Momentbild vom Stande unserer wissenschaftlichen Arbeit betrachten zu wollen. Dennoch freue ich mich, verehrte Anwesende, Ihnen bei Anlass unserer Jahresversammlung gerade hier in Bern über das Aarmassiv sprechen zu dürfen. Von Bern aus haben ein Bernhard Studer, ein Armin Baltzer, ein Edmund von Fellenberg im Aarmassiv gearbeitet und ihre klassischen Untersuchungen sind für unsere Arbeit grundlegend geworden. Hier in Bern stehen mir zudem eine Anzahl junger Leute zur Seite, die mit jugendlicher Kraft und Begeisterung ihr Bestes tun, um die petrographisch-geologische Erkenntnis der Gebirgsgruppe zu fördern.

Unter dem *Aarmassiv* verstehen wir den Komplex kristalliner Gesteine, der sich in langelliptischer Form mit zirka 115 km Länge vom untern Lötschental im W bis zum Tödi im E erstreckt. Die grösste Breite erreicht diese Gebirgsmasse zwischen Stechelberg im Lauterbrunnental und Brig im Rhonetal mit zirka 25 km, und beinahe eine ebenso grosse Querausdehnung besitzt das Massiv im Grimseldurchschnitt. Mit dieser grössten Breite fällt auch die grösste Vertikalerhebung des Gebirges zusammen, das im Finsteraarhorn mit 4275 m kulminiert.

Eine erste petrographisch-geologische Einteilung ist für den mittlern Teil des Aarmassives zuerst von A. Baltzer im Jahre 1888 durchgeführt worden; sie umfasst folgende fünf in der Längsrichtung des Massives verlaufende, von N nach S aufeinanderfolgende Zonen:

1. Zone der nördlichen Gneise.
2. „ „ sericitischen Phyllite und Gneise.
3. „ „ Hornblendeschiefer.
4. Granit-Gneis-Zone.
5. Zone der südlichen Gneise.

Im Jahre 1893 hat Edmund von Fellenberg diese Gliederung unserer Gebirgsgruppe auch für den westlichen Teil übernommen, und später legte sie A. Heim seinen Aufnahmen im östlichen Aarmassiv zugrunde.

Die Einteilung stützt sich in erster Linie auf die äussere Erscheinungsweise des Gebirges und auf tektonische Momente. Die innern petrographischen Zusammenhänge und hauptsächlich die genetischen Beziehungen der einzelnen Massivteile bringt sie weniger zum Ausdruck. Nach diesen Gesichtspunkten, die für die neuere petrographische Forschung vor allem massgebend sein müssen, können wir heute ein wesentlich einfacheres und übersichtlicheres System der petrographisch-geologischen Gliederung des Massives benutzen. Unter Weglassung von Einzelheiten lässt sich im Prinzip die oben erwähnte fünffache Zonengliederung in eine Zweiteilung zusammenfassen. Vom genetischen Standpunkte aus haben wir nur voneinander zu unterscheiden:

1. Die granitischen Intrusivkerne, und
2. die Schieferhüllen derselben mit den mechanisch eingeklemmten und hineingeschleppten Sedimentschuppen.

Diese Gliederung bringt aber nicht nur die genetischen Verhältnisse des Gebirges zum Ausdruck, sondern sie hat auch ihre tektonische Berechtigung:

Die granitischen Intrusivmassen entsprechen den Antiklinalteilen des Massives, die Schieferhüllen und Sedimenteinlagerungen dagegen stellen seine synklinalen Zonen dar.

Soweit heute die Untersuchungen im Aarmassiv fortgeschritten sind, lassen sich hier folgende Teilintrusionen auseinanderhalten. Diese sind als Spaltenergüsse eines einheitlichen Herdes aufzufassen, die sich in ihrem Längsverlaufe zum Teil gegenseitig ablösen (vikarierende Spaltenergüsse).

Wir können von N nach S fortschreitend unterscheiden:

1. Das Gasteren-Innertkirchner-Teilmassiv;
2. das Erstfelder-Teilmassiv;
3. die Hauptintrusion des Aaregranites mit ihren Teilergüssen des Wiwanni-Granites und des Rusein-Diorites. (Vgl. Fig. S. 95)

Wollen wir nun aber das alpine Granitinjektionssystem in seiner ganzen Grosszügigkeit verstehen, so dürfen wir diese Einzelintrusionen des Aarmassives nicht für sich allein ins Auge fassen, sondern wir müssen sie in Beziehung und in Vergleich zu bringen suchen mit den benachbarten Granitmassiven, mit denen sie primärgenetische Verwandtschaftsverhältnisse aufweisen, oder mit denen sie in sekundär-tektonischen Beziehungen stehen.

Die nördlichste Intrusionsspalte des Aarmassivs entspricht dem:

Innertkirchner-Gasteren-Teilmassiv. Dasselbe beginnt im E mit geringer Breitenausdehnung in der Gegend des Wendenjochs. Unter wachsender Mächtigkeit steigt es gegen W auf bis zum Petersgrat, um von hier mit stark geneigtem Axialgefälle unter die helvetischen Sedimente und die darüber sich lagernden Decken unterzutauchen. Nach rund 50 km unterirdischem Verlauf hebt sich im Rhonetal der Granitrücken ebenso rasch wieder empor, wie er sich vorher abgesenkt hat und setzt sich im

Aiguilles-Rouges-Massiv als zirka 30 km langer Spaltenerguss gegen SW fort. In petrographisch-geologischer Beziehung stellt dieses letztere Massiv das vollständige Äquivalent des Innertkirchner-Gasteren-Teilmassives dar.

Nach einer weitern kurzen Überdeckung durch sedimentäre Gesteine tritt auf französischem Gebiet dieser lange vom Gadmental bis an die Romanche mit zirka 300 km Länge offen oder ver-

deckt sich fortsetzende schmale Spaltenerguss im Belledonne-Massiv nochmals zutage, um erst südlich von Grenoble unter der Erdoberfläche zu verschwinden.

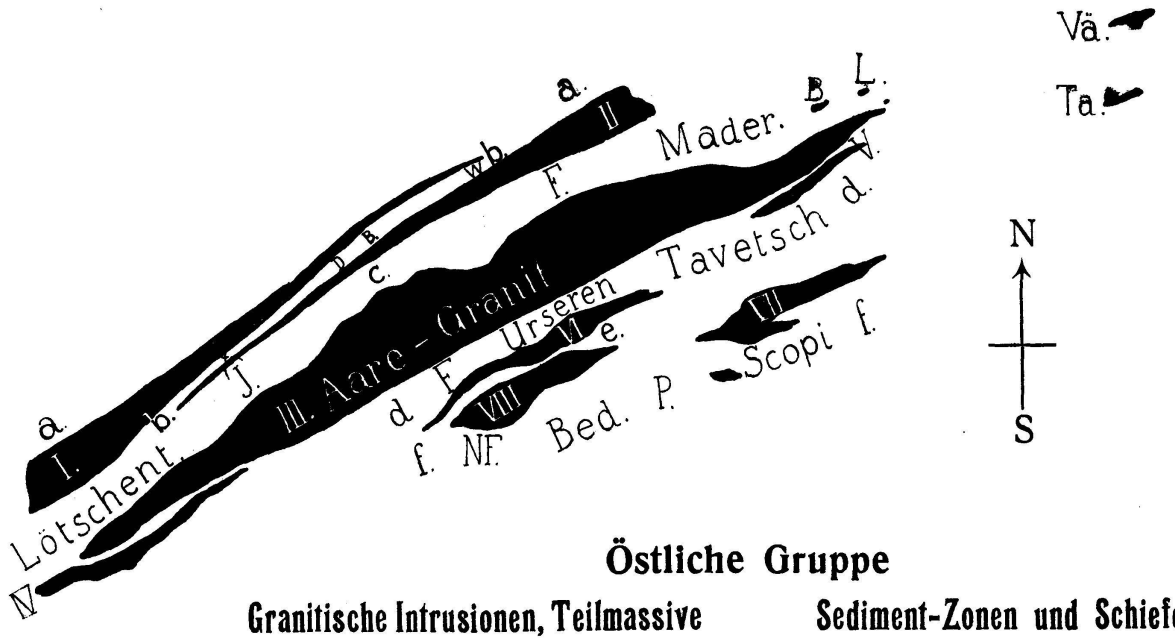
Auf aarmassivischem Gebiet hat der Innertkirchner-Gasteren-Teilerguss sein Eruptivzentrum im Gasterengranit. Dieses rein granitisch ausgebildete Gestein geht unter dem Kander- und Tschingelfirn in die resorptionsreiche Randfacies jenes Normalgranites über. Durch endogene Kontaktmetamorphose (Aufschmelzen von Tonschiefern und Mergeln) hat sich das granitische Magma in den Randzonen der Intrusivmasse stellenweise mit Tonerde übersättigt und dadurch eine fleckig-schlierige Beschaffenheit und einen besondern charakteristischen Mineralbestand erhalten. Vereinzelte im Granit eingeschlossene silikatreiche Marmorschollen stellen die hochmetamorphen Resorptionsreste paläozoischer, sedimentärer Kalke dar. Am Rande solcher Marmorschollen liessen sich interessante Differentiationserscheinungen des granitischen Magmas verfolgen, die einerseits zu extrem sauren pegmatitischen Spaltungsprodukten, anderseits zu äusserst basischen Differentiaten (Peridotit) geführt haben.

Diese randliche Beeinflussung reicht tief in den Granitkörper hinein und lässt eine scharfe Abgrenzung zwischen diesem und seiner Schieferhülle nicht feststellen, beide gehen durch allmähliche Übergänge ineinander über. Aus dieser Tatsache ergibt sich die Schlussfolgerung, dass das Magma mit seinem Nebengestein lange Zeit im thermischen Gleichgewicht gestanden hat, es muss also die Erstarrung dieses Granites in relativ grosser Tiefe erfolgt sein. Mit dieser Annahme steht auch in vollkommener Übereinstimmung die strukturelle Beschaffenheit des Gasterengranites, der im Gegensatz zu allen übrigen Granitabarten des Aaarmassives, da wo er nicht eine nachträgliche mechanische Veränderung erfahren hat, ein durchaus richtungslos-körniges Gestein darstellt.

Wie von dem zentralen Eruptionspunkte des Gasterentales aus die spaltenförmige Intrusivmasse sich gegen ihren Ostflügel fortwährend verjüngt, so verhält es sich gerade umgekehrt mit dem Erstfelder-Teilmassiv. Diese nächst südlich folgende Intrusionszone hat ihre grösste Breite im Reusstal, in der Umgebung von Erstfeld. Die Granitmasse taucht hier unter den autochthonen und parautochthonen helvetischen Sedimenten auf und setzt sich nach W, südlich der Innertkirchner-Gasteren-Intrusion verlaufend und mit dieser vikarierend, in abnehmender Breite fort, um wahrscheinlich im Grate Jungfrau-Breithorn-Tschingelhorn zu endigen.

Anordnung
der
„autochthonen“, granitischen Intrusionen

Maßstab 1 : 1,125,000



Westliche Gruppe

a. Mt. Buet Dts d. Midi - Z.
I. **Aiguilles Rouges T.-M.**
b. Salvan - Z.
II. **Arpille T.-M.**
c. Chamonix-Col de Balme - Z.
III. **Mont Blanc T.-M.**
IV. **Quarzporphyr V. Ferrex.**
d. Val Ferrex - Z.
V. **Mont Chetif T.-M.**

Östliche Gruppe

Granitische Intrusionen, Teilmassive

Aarmassiv

I. **Gasteren-Innertkirchner-T.-M.**
II. **Erstfelder-T.-M.**
III. **Aaregranit-T.-M.,** mit Fenster am Bifertengrätli (B), im Limmernboden (L) und bei Vättis (Vä).
IV. **Wiwannigranit-T.-M.**
V. **Ruseindiorit,** mit Fenster von Tamins (Ta).

Gotthardmassiv

VI. **Gamsbodengranit.**
VII. **Medelser-Cristallina-Granit.**
VIII. **Fibbiagranit.**

Sediment-Zonen und Schieferhüllen

a. autochthone u. parautochthone helvetische Z.
b. Jungfraukeil-Dossenhorn-Benzlauisee-Wendenjoch-Z.
c. Lötschental-Fernigen-Maderanertal - Z.
d. Furka-Urseren-Tavetsch - Z.
e. Guspis - Z.
f. Nufenen-Bedretto-Piora-Scopi - Z.

Ob die kleine Arpille-Granitmasse im Rhonetal südwestlich von Martigny als Fortsetzung des Erstfelder-Teilmassives aufzufassen ist, werden weitere Untersuchungen erst noch nachzuweisen haben.

Östlich des Reusstales tritt der Erstfeldergranit nirgends mehr zutage. Bei Erstfeld sowohl, wie besonders weiter westlich, entspricht dieses Gestein ebenfalls einer resorptionsreichen Randfacies. Auch dieser Granit ist sehr glimmerreich und besitzt bisweilen eine prachtvoll fluidale bis schieferige und schlierige Beschaffenheit. Infolge der mechanischen Beeinflussung durch die tertiäre Alpenfaltung ist die Schieferstruktur oft noch deutlicher zur Ausprägung gelangt.[1]

Diesen äussern Intrusionsspalten des Aarmassivs läuft parallel eine in ihren Ausmassen noch viel mächtigere innere Eruptionszone. Ihr gehört der zentrale Aaregranit mit seinen Flügel- und Randergüssen (Ruseindiorit, saurer Randerguss der südlichen Gneiszone, Wiwannigranit, Mittagsfluhgranit) zu. Dieser Hauptintrusivkern des Massives, der in seinem zentralen Teile durch Schiefereinlagerungen selbst wieder aufgeteilt erscheint, hat nach E und W hin eine symmetrischere Ausbildung, er besitzt wie dieses selbst die Form einer langgezogenen Ellipse. In der Tödigruppe erhebt sich der Granitrücken mit seiner Schieferhülle aus seiner sedimentären Bedeckung. Er steigt gegen W an, kulminiert im Finsteraarhorngebiet und taucht gegen den untern Teil des Lötschentales wieder rasch ab, um sich nach unterirdischem Verlaufe von Gampel bis Martigny südwestlich des Rhonetales zum Massiv des Mont Blanc-Granites zu erheben (vgl. Figur S. 95); in den französischen Westalpen schwillt dieser Intrusivkern im Pelvoux-Massiv nochmals zu einem mächtigen Ergusse an und tritt in dem kleinen Massiv des Mercantour auf dem Kontinent zum letzten Mal zu Tage. Es begleitet also diese Intrusionsspalte in ihrem westlichen Verlaufe den grossen Faltenbogen der Westalpen.

Wie die Granite der äussern Teilmassive in petrographischer Beziehung nahe Verwandtschaftsverhältnisse aufweisen, so ist das in noch viel ausgesprochenerem Masse der Fall bei den Graniten des innern Eruptionsbereiches. Diese tragen einen besondern Charakter an sich. Man hat sie deshalb mit dem gemeinsamen Namen der Zentral-Granite oder Alpen-Granite im engern Sinne des Wortes (ältere Bezeichnung Protogine) belegt.

[1] Bezüglich der petrographischen Verschiedenheiten zwischen Erstfelder- und Innertkirchnergranit vgl. die Arbeiten von Sauer, Lotze und Huber.

Denselben Gesteinshabitus weisen auch die Granite auf, welche dem Gotthard-Massiv angehören, das sich als weiterer grosser Granitergruss südlich an das Aarmassiv anlehnt. Es ist ebenso wie der Aaregranit durch Schiefereinlagerungen mehrfach aufgespalten und deshalb selbst wieder in einzelne Teilmassive aufgelöst.

Unter den besondern petrographischen Eigentümlichkeiten des Aaregranites (und das gilt auch für die Zentral-Granite überhaupt) müssen als wichtigste folgende hervorgehoben werden: Der Granit besitzt immer eine mehr oder weniger deutlich ausgesprochene schieferige Beschaffenheit, in einzelnen Zonen ist ihm eine gut ausgebildete porphyrische Struktur eigen (Augengneise). Die dunklen Glimmerschüppchen sind kristallographisch schlecht ausgebildet, tintenklecksartig zerteilt, meist stark ausgebleicht. Der Quarz kommt nur untergeordnet in grössern einheitlichen Individuen vor, meistens ist er aufgelöst in ein zuckerkörniges Aggregat, den sogenannten Sandquarz oder Körnelquarz. Die Feldspäte erscheinen erfüllt von Entmischungsprodukten der Feldspatsubstanz, vornehmlich von Sericitschüppchen und Zoisitnädelchen.

Man hat alle diese Besonderheiten des Mineralbestandes und der strukturellen Ausbildung als reine Effekte der Dynamometamorphose, als Wirkungen des Gebirgsdruckes auf das schon verfestigte Gestein ansprechen wollen. Neuere mikroskopische Untersuchungen haben, wie später näher auszuführen sein wird, den Beweis erbracht, dass das nur zum geringern Teile der Fall ist. Vielmehr hat der Granit diese Eigenschaften in der Hauptsache schon bei seiner ursprünglichen Erstarrung erhalten, indem das Magma sich unter besondern Bedingungen verfestigte. In erster Linie war dabei massgebend einseitig wirkender Druck, wie er nur in höhern Teilen der Erdkruste zur Geltung kommt. Weinschenk hat als erster auf diese Möglichkeit der Magmaverfestigung hingewiesen und sie als Piëzokristallisation bezeichnet.

Im Gegensatz zum richtungslosen Gasterengranit, dem die charakteristischen Eigenschaften des Zentral-Granites vollständig fehlen und der in grösserer Tiefe unter dem Einfluss allseitigen hydrostatischen Druckes erstarrt ist, muss der Aaregranit in einem höhern Niveau zur Kristallisation gelangt sein.

Deshalb auch beobachten wir an diesem Intrusivkörper relativ scharfe Kontaktgrenzen zwischen dem Granit und seiner Schieferhülle. Die endogenen Kontaktwirkungen, sofern solche überhaupt

konstatiert werden können, reichen im allgemeinen nicht tief in den Granit hinein, im Gegensatz zu den Beobachtungen am Innertkirchner- und Erstfelder-Granit. Aber auch die ausgesprochene Schieferstruktur des Aaregranites müssen wir in erster Linie auffassen als eine primäre Wirkung des in höheren Teilen der Erdkruste zur Geltung gelangenden, orientierten Dislokationsdruckes, der ein einseitiges Ausweichen der Stoffteilchen zuliess. Unter seinem Einflusse haben sich in dem langsam sich verfestigenden und immer viskoser werdenden Schmelzflusse die blätterigen und tafeligen Gesteinsgemengteile mit ihren grossen Flächen parallel, in ihre stabilste Gleichgewichtslage, d. h. senkrecht zur Druckrichtung eingestellt. Erst in zweiter Linie und in untergeordneter Weise ist die Schiefrigkeit des Granites auf eine dynamometamorphe Beeinflussung zurückzuführen. Die sekundären Pressungswirkungen haben wohl kaum mehr erreicht, als dass sie die bereits primär angelegten Struktureigentümlichkeiten schärfer zum Ausdruck brachten, und wenn der Druck vielleicht auch die Rolle eines Katalysators zu übernehmen vermag, so hat er doch in chemischer Beziehung nicht viel Neues geschaffen. Und selbst der Mineralbestand und die Struktur können in diesem Falle, abgesehen von einzelnen Pressungsknotenpunkten (Ruschelzonen), keine wesentliche Umstellung erfahren haben; wie wollte man sonst über den Widerspruch hinwegkommen, dass der Gasterengranit, trotzdem er ebensosehr dem einseitig wirkenden Drucke der tertiären Alpenfaltung ausgesetzt war wie der Aaregranit, dennoch nicht die so ausserordentlich charakteristischen mineralogischen und strukturellen Merkmale dieses letzteren an sich trägt.

Es scheint, dass wir überhaupt unsere Vorstellungen über die Bildung der Alpengranite, gestützt auf die Ergebnisse neuerer mikroskopischer Untersuchungen in verschiedener Hinsicht modifizieren müssen. Wenn auch zu einem bestimmten Zeitpunkt der Verfestigung die Hauptgemengteile des Granites bereits in die feste Phase übergetreten sind, so dürfen wir in diesem Augenblick doch noch nicht mit einem vollständigen Abschluss des Kristallisationsvorganges rechnen. Wir haben uns vielmehr vorzustellen, dass der allmählich entstehende Kristallbrei noch vollkommen von den fluiden Stoffen des Magmas durchsetzt wird. Unter ihrem Einflusse besitzt er noch eine beträchtliche Beweglichkeit und Plastizität infolge weitgehender Umkristallisationsmöglichkeit, die sich mit jeder Veränderung des Druckes und der Temperatur wieder neu

einstellt. Der labile Gleichgewichtszustand des Kristallhaufwerkes geht erst dann zu grösserer physikalisch-chemischer Stabilität über, wenn die vom Magma abdestillierenden pneumatolytischen und hydrothermalen, postvulkanischen Agentien aufhören, den in Bildung und steter Umbildung begriffenen Granit zu durchgasen und zu durchtränken.

So muss auch der Aaregranit unter oft wiederholten Phasenwechseln aus einem gasreichen Magma auskristallisiert sein. Mikroskopisch lässt sich mit Sicherheit verfolgen, dass ein Teil der Feldspatsubstanz und insbesondere der grösste Teil des Quarzes zu einem Zeitpunkt ausgeschieden wurden, zu welchem das Kristallaggregat sich schon zu bestimmten Strukturformen konsolidiert hatte. Jene Letztausscheidungen aber haben sich unter Bedingungen vollzogen, unter denen die früher entstandenen Granitgemengteile nicht mehr bestandfähig waren; sie wurden zum Teil wieder aufgelöst (magmatische Korrosion), oder haben eine weitgehende Umwandlung erfahren:

Durch die chemisch ausserordentlich aktiven Restschmelzen des Magmas wurden die zuerst ausgeschiedenen dunkeln Gemengteile des Granites zerfressen, ausgefasert und ausgebleicht. Dem Biotit wird zum Teil sein Eisen- und Titangehalt entzogen, er geht über in Chlorit und Sericit. Kieselsäurereiche, kali- und natronhaltige Feldspäte scheiden sich spät noch aus dem gasreich gewordenen Magma aus; sie sind, gleich wie der Quarz, erfüllt von feinen Flüssigkeitseinschlüssen und Gasporen (vibrierende Libellen), die bei einem bestimmten Dispersitätsgrad dem Feldspat eine charakteristische dunkelblaugraue Färbung verleihen. Solch dunkelgetönte Orthoklase und Mikrokline können direkt als Leitmineralien für die magmatischen Letztausscheidungen, für die Aplite und Pegmatite gelten.

Zu diesen letzten Ausscheidungen gehört, wenigstens zum Teil, auch die Bildung des sogenannten Körnel- oder Sandquarzes. Das oft zu beobachtende vollständige Fehlen optischer Störungen, auch an grössern Quarzkörnern, die typische granulitische Struktur der Aggregate, das glatte Abstossen an mechanisch vollkommen ungestörten Feldspäten, das korrosive Eindringen des feinen Mosaiks in andere Granitgemengteile, und endlich das häufige Hindurchsetzen ungestörter Glimmerblättchen durch das feinkörnige Quarzaggregat, all diese Ercheinungen machen es wahrscheinlich, dass dieser Sandquarz in der eben beschriebenen Form als primäre, wenn auch späte magmatische Ausscheidung und nicht als sekundäres dynamo-

metamorphes Zertrümmerungsprodukt ursprünglicher, grösserer Quarzindividuen aufzufassen ist.

Als letzte Phasenabspaltungen entstiegen dem magmatischen Herde noch heisse, wässerige, mineralreiche Lösungen. Auch sie wirkten stark verändernd auf den scheinbar schon verfestigten Granit und waren ebenfalls wieder imstande, die Stabilitätsfelder der einzelnen Mineralgemengteile ganz neu zu orientieren. Bereits Bestehendes wird nochmals aufgelöst und neue Mineralkombinationen werden geschaffen. So hat es sich gezeigt, dass durch diese letzten hydrothermalen Umwandlungen, z. B. im Bietschhorngebiet, ganze Pegmatitgänge unter Erhaltung ihrer ursprünglichen charakteristischen Struktur vollständig in Talk übergeführt worden sind. Die Erscheinung ist so frappant, dass man versucht wäre, von einer Pseudomorphose des Talkes nach Pegmatit zu sprechen. Dieser selben Einwirkung hydrothermaler Agentien ist auch die weitverbreitete Epidotisierung, Chloritisierung, Sericitisierung und Serpentinisierung mancher aarmassivischer, metamorpher Gesteine auf Rechnung zu setzen.

Viel ausgesprochener noch als in den Neubildungen und fortwährenden Umbildungen des Granites selbst kommt die Tätigkeit der leichtflüchtigen Bestandteile des Magmas zur Geltung bei ihrer *kontaktmetamorphen Einwirkung* auf das Nebengestein. Am Aaregranit erweisen sich diese Kontaktwirkungen als besonders charakteristisch und ausgedehnt. Wenn auch die eigentliche Kontaktgrenze zwischen beiden Gesteinen eine auffallend scharfe ist, so sieht man doch allenthalben die aplitischen und pegmatitischen Injektionen, d. h. diese gangförmig auftretenden, sauren Differentiationsprodukte des granitischen Magmas weit in die Schieferhülle hinausgreifen und sie in intensivster Weise durchadern. Von ihnen und auch direkt vom granitischen Herde aus sind im besondern die pneumatolytischen Agentien und hydrothermalen Lösungen weit in die Schieferhülle hinaus vorgedrungen und haben ihr vorherrschend sedimentäres Substratum hochmetamorph verändert. Die paläozoischen mergeligen Tonschiefer sind infolge der Injektion, silikatischen Imprägnierung und fluiden Stoffzufuhr übergegangen in Glimmerhornfelse, Hornblende-Biotit-Gneise, Biotitgneise, Epidot- und Chloritführende Gesteine und Kalkglimmerschiefer. Es fand eine weit ausholende Feldspatisierung (Neubildung von Orthoklas, Mikroklin und hauptsächlich von Albit) des Nebengesteines statt, die sich mit oft wiederholten Rekurrenzen vom Intrusivgestein aus nach

aussen in allen Stadien des Abklingens verfolgen lässt und die in den äussersten Kontaktbereichen gewöhnlich durch eine Verquarzung, Turmalinisierung und Vererzung des Nebengesteins abgelöst wird.

Die leichtflüchtigen Destillationsprodukte des Magmas vermitteln die Zufuhr von allen möglichen Stoffen ins Nebengestein. Unter diesen sind neben Kieselsäure als wichtigste zu nennen: K, Na, F, Cl, Ti, Ce, Mn, B, Fe, W, Mo, Ca, P, S. Dass unter dem Einflusse dieser chemisch zum Teil sehr wirksamen Substanzen sich ganz neue und meist ausserordentlich charakteristische Mineralbestände der Schieferhülle herausbilden mussten, lässt sich leicht verstehen. Besonders auffallend ist die durchgreifende Vererzung mancher dieser Kontaktgesteine. Leider ist aber die Erzimprägnation zu allgemein verteilt, sie hat sich zu wenig auf einzelne Punkte konzentriert, als dass ihr, so bemerkenswert sie auch in wissenschaftlicher Beziehung sein mag, eine technische Bedeutung zukommen könnte. Es handelt sich hauptsächlich um sulfidische und oxydische Eisenerze (Magnetkies, Magnetit, Eisenglanz), Molybdänglanz, und in einem seltenen Fall (Reusstal) um Manganerz (Manganblende).

Die kontaktmetamorphen kristallinen Schiefermassen bilden im Aarmassiv, abgesehen von einigen, zwischen ihnen ganz untergeordnet auftretenden Sedimentschuppen mit dem Granit zusammen das ganze Gebirge, und ihre Metamorphose ist höchst eigener Art. Es muss uns daher wundern, dass man bis in die jüngste Zeit hinein den sie betreffenden Gesteinsumwandlungen eine so geringe Aufmerksamkeit geschenkt hat, oder vielleicht besser gesagt, dass man mit diesen Schiefern petrographisch-genetisch wenig anzufangen wusste, trotzdem aus anderen nicht alpinen Gebieten durch viele klassische Arbeiten das Wesen der Kontaktmetamorphose schon längst aufs beste bekannt war. Diese auffallende Tatsache erklärt sich jedoch leicht, wenn wir wissen, dass in den Alpen die Kontaktwirkungen eine von den normalen Kontaktgesteinen verschiedene Facies annehmen. Es bedurfte langjähriger Studien, bis diese besondere Kontaktmetamorphose als solche erkannt wurde. Ihre Eigenart hat man, wie im allgemeinen Teil dieses Vortrages bereits erwähnt wurde, in der Bezeichnung der Piëzokontaktmetamorphose zum Ausdruck gebracht. Ihre Merkmale sind darin gegeben, dass an Stelle der richtungslosen Produkte der normalen Kontaktmetamorphose sich vorwiegend ausgesprochen schieferige Gesteine herausbilden, und dass die neuentstehenden Mineralien

sich entweder durch ihre kleinen Molekularvolumina, oder aber durch ihren Hydroxylgehalt auszeichnen. Dieselben einseitig wirkenden gebirgsbildenden Kräfte, die im sich verfestigenden Magma die Piëzokristallisation bedingten, verursachten gleichzeitig auch die besondere Ausgestaltung der jener parallel verlaufenden Piëzokontaktmetamorphose des Nebengesteins, die uns auch durch ihre gewaltige Ausdehnung in Erstaunen setzen muss. Aber gerade weil Granitintrusion und Gebirgsbildung nebeneinander hergingen, beziehungsweise sich gegenseitig unterstützten, wurden die aus dem Magma abdestillierenden fluiden Stoffe nicht nur durch ihre eigene Gastension, sondern gleichzeitig auch durch den tektonischen Druck so aussergewöhnlich weit in die Schieferhülle hinausgedrängt. Diese intensive Durchtränkung war um so leichter möglich, als durch die tangentialwirkenden Kräfte der Gebirgsbildung das Nebengestein gelockert und zerruschelt worden war. Auf tausendfältigen neugeöffneten Bahnen konnten nun die leichtflüchtigen Mineralisatoren kilometerweit in die Schieferhülle hinaus vordringen. Solche enorme Ausdehnungen der Kontakthöfe war man bis jetzt nicht gewohnt. Aber noch ein zweiter Grund mag es sein, der bis in die jüngste Zeit hinein die kontaktmetamorphen Vorgänge alpiner Gebiete so schwer hat erkennen lassen, das ist der Einfluss der mechanisch wirkenden Dynamometamorphose, durch welche die Hauptfaltung der Alpen zur Tertiärzeit die früher gebildeten Mineralkombinationen und Strukturbilder der Kontaktgesteine viel mehr, als wie das beim Granit der Fall war, noch in besonderer Weise verändert hat.

Diese Zusammenhänge zwischen Granitintrusionen und Gebirgsbildung, zwischen Kontaktmetamorphose und nachfolgender Dynamometamorphose leiten uns zu der wichtigen Frage der *Altersfolge der alpinen Granitintrusionen* über. Nach den Arbeiten von A. Sauer, J. Königsberger, A. Lotze und nach eigenen Untersuchungen lässt sich die nachstehend angeführte Sukzession der Granitintrusionen in ihrem Wechsel mit den verschiedenen Alpenfaltungen feststellen:

1. Intrusion des Erstfelder-Granites (Unter-Karbon).
2. Erste herzynische Faltung.
3. Intrusion des Innertkirchner → Gasteren → Aiguilles-Rouges-Granites. Zwischen Unter- und Oberkarbon.
4. Zweite herzynische Faltung.

5. Intrusion des Aaregranites. (Ober-Karbon.)

Zeit des Erdenfriedens. In unserem Alpengebiete Ruhe der Gebirgsfaltungen, Intrusionen und Eruptionen.

6. Hauptfaltung der Alpen. (Tertiär.)
7. Intrusion südlich der Alpen gelegener postalpiner Granite. (Bergeller-Granit, periadriatische Eruptiva, Tonalite.)
8. Postvulkanische Tätigkeit dieser jungen Intrusionen.

Aber nicht nur zwischen den einzelnen Teilintrusionen des Aarmassives lassen sich Unterschiede der Ausbruchzeiten konstatieren, sondern selbst auf ein und derselben Eruptionspalte ist das Empordringen des Magmas nicht vollkommen gleichzeitig erfolgt:

Der Innertkirchner-Granit, die Randfacies des Gasteren-Granites geht natürlich in seiner Erstarrung dem letztern etwas voran, und die Bildung des Gasteren-Granites wiederum ist, nach petrographischen Tatsachen zu schliessen, etwas älter wie diejenige des Aiguilles-Rouges-Granites. Die ganze Intrusionsspalte muss sich im Verlauf geologischer Zeiten von E nach W aufgerissen haben.

Dieselbe Tatsache lässt sich auch feststellen an der Aaregranitintrusion. Mit dem Fortschreiten der Intrusionstätigkeit von E nach W vollzog sich hier ausserdem gleichzeitig noch eine ausgesprochene Differentiation des Magmas, indem es seine chemische Beschaffenheit mit der vor sich gehenden Erstarrung veränderte. Die Intrusion begann im östlichen Aarmassiv mit dem Empordringen basischer Differentiate und schloss mit der Bildung einer sauren Granitfacies im westlichen Massivteile ab. Diese Magmaspaltung hat sich schon in abyssischen Tiefen vollzogen. Es ist deshalb von besonderem petrographischem Interesse, im mittlern Aarmassiv (Grimselgebiet) konstatieren zu können, dass hier vom normalgranitischen Magma syenitische basischere Differentiationsprodukte mit in die Höhe gerissen und im Granit als gang- bis linsenförmige Körper eingeschlossen worden sind.

Vom mittlern zum westlichen Aarmassiv scheint selbst ein Saurerwerden der gangförmig auftretenden basischen Spaltungsgesteine (Lamprophyre) Platz zu greifen.

Im Durchschnitt des Grimselprofiles lässt sich übrigens auch in der Querrichtung des Massives eine zeitliche Sukzessionsfolge

verschiedener Ausbrüche und eine Differentiation der Magmen feststellen: Der Hauptintrusion des Granites ging am Südrand desselben das Eindringen basischerer Magmen (Syenite, Diorite, Pyroxenite) voraus und es ist wahrscheinlich, dass die Eruption des aplitischen Mittagsfluh-Granites (saures Magma), der den eigentlichen Aaregranit auf der Nordseite in einer schmalen Zone flankiert, diesem selbst in seiner Eruption nachgefolgt ist. Wie auch südlich der Grimselpasshöhe zwischen den Aaregranit und jene basischen Gesteine als jüngster Nachschub des granitischen Magmas noch ein, von E nach W sich vermächtigender, saurer Randerguss eingedrungen ist.

Je mehr wir überhaupt in alle petrographische Detail einzudringen vermögen, um so mehr werden sich geringe zeitliche Unterschiede in den Ausbruchsphasen all der kleinen Teilintrusionen herausstellen. Es bestärkt sich in uns mehr und mehr der Eindruck, dass die „mise en place“ der einzelnen Massive und Teilmassive kein einheitlicher Vorgang war, sondern sich in eine Anzahl Unterphasen auflöste, also wohl über eine längere geologische Zeitdauer sich ausgedehnt haben muss. Dieses grosse Spiel hat sein Widerspiel auch im Ablauf der einzelnen Faltungsvorgänge der Alpen.

Der rhythmische Wechsel zwischen Intrusionstätigkeit und Gebirgsbildung bedingt es, dass der primären Beeinflussung der Graniterstarrung und der Kontaktmetamorphose auch sekundäre Einwirkungen des tektonischen Druckes auf die längst erstarrten oder noch unter dem Einfluss der postmagmatischen Tätigkeit stehenden Massive nachfolgen mussten. Dieser Veränderung von Struktur und Bau des Gebirges durch die letzte Alpenfaltung haben wir uns im folgenden zuzuwenden.

Die Tektonik des Aarmassives zeigt ein in seinen Hauptlinien klares Bild: Die kristallinen Kerne standen als starre in grosser Tiefe der Erdkruste verankerte Massen da, als sie mit ihren Schieferhüllen und sedimentären Bedeckungen von dem, von Süden her erfolgenden Schube der tertiären Alpenfaltung betroffen wurden. Die Granitklötze stellten dem tektonischen Drucke einen grössern Widerstand entgegen, als die viel plastischeren Sedimente und die zwar spröden, aber nach ihren Clivageflächen doch relativ leicht verschiebbaren Schiefer. Die Granitrücken vermochten der Faltenbildung nicht zu folgen, sie blieben zurück gegenüber den viel leichter beweglichen Sedimenten und Schiefern. Sie wurden

aber wie um ein Scharnier nach Norden umgeklappt und zum Teil in einzelne Schuppen zerrissen, ob sie jedoch wesentlich von ihrer ursprünglichen Grundlage losgetrennt worden sind, ob wir ihre Bodenständigkeit heute aufgeben müssen und sie mit P. Beck als „Paramassive“ bezeichnen sollen, das zu entscheiden stehen uns gegenwärtig noch zu wenig Tatsachen zur Verfügung. Jedenfalls aber haben sich südlich der der Faltung Widerstand leistenden Massive Sedimente und Schiefermassen zusammengestaut. Mit zunehmendem Drucke wurden die plastischeren sedimentären Gesteine in liegenden Falten über die Granitkerne hinweggelegt und sind als solche auf der Nordseite der Massive hinuntergeglitten oder sie haben sich in weitausholenden Decken ins Vorland vorgeschoben, am weitesten da, wo die untertauchenden Massivrücken freiere Bahn gestatteten (Dent de Morcles-Diablerets-Wildhorn-Decke).

Die kristallinen Schiefer vermochten diesen Faltungsbewegungen nur noch zum Teil zu folgen. Unter möglichster Ausnützung ihrer primären Schieferstrukturen wurden sie von Süden her an die Intrusivkerne angepresst und als zerhacktes Schuppenwerk über sie hinweggeschoben, wohl auch mit einzelnen Sedimentresten zwischen die Granitteile eingeklemmt.

In besonderer Weise äusserte sich die mechanische Inanspruchnahme, Umformung und Umlagerung der Sedimente und Schiefer da, wo sich diese zwischen zwei Massivklötzen befanden, so z. B. im Lötschental zwischen den Teilmassiven des Gasteren-Granites und des Aaregranites. Einzelne besonders in Linsenform auftretende kristalline Gesteinskomplexe (Amphibolite) werden aus ihrer Umhüllung herausgepresst (wie der Zwetschgenstein aus seiner Fruchthülle) und diskordant auf die Schiefer des vorgelagerten Massives hinaufgeschoben.

Dieselbe Erscheinung lässt sich noch in viel grösserem Ausmass nachweisen zwischen Gotthardmassiv und Aarmassiv. In der sogenannten Urserenmulde wurden Sedimente und kristalline Schiefer beim starken Herandrängen des Gotthardmassives (je südlicher die Massive oder einzelne Massivteile liegen, um so weiter scheinen sie von ihrem ursprünglichen Standorte verschoben zu sein) wie zwischen die Backen eines Schraubstockes eingeklemmt, herausgequetscht (hier ist die Wurzelregion der helvetischen Decken zu suchen) und über das Aarmassiv hinweggefaltet und hinweggeschoben. Dem von S her mächtig anprallenden Stosse vermochte aber das Aarmassiv selber nicht ganz standzuhalten. An einer fast messer-

scharf verlaufenden, gewaltigen Verwerfungslinie, die zu den auffälligsten tektonischen, petrographischen und auch landschaftlichen Erscheinungen in den Alpen gehören dürfte, ist ein Teil der Südflanke des Massives losgerissen und als Riesenschuppe auf den nördlichen, Widerstand leistenden Massivteil hinaufgeschoben worden. An dieser Linie erscheint tatsächlich das Gebirge wie auseinandergeschnitten, tief eingesägte Scharten und lang ausgedehnte Seen- und Quellenhorizonte begleiten sie. Die Gesteine sind vollständig ausgewalzt und verquarzt (Mylonitbildung). Hier kommt es in drastischster Weise zum Ausdruck, nach welcher Art die Dynamometamorphose die Gesteine zu verändern imstande ist.

Wenn wir nun die Tektonik der nördlich gelegenen granitischen Intrusivmassen unserer Alpen vergleichen mit derjenigen der Granitkerne der penninischen Decken, im besondern mit den Graniten des Tessiner- und Simplonmassives, und wenn wir gleichzeitig das geologische Alter, die petrographische Facies und die Kontaktwirkungen dieser Intrusionen berücksichtigen, dann ergeben sich, wie mir scheint, einige recht bemerkenswerte Beziehungen:

Die beiden Teilmassive des Innertkirchner-Gasteren- und des Erstfeldergranites haben der tertiären Alpenfaltung gegenüber vollständig als Stauklötze gewirkt, sie sind, wie sich mit besonderer Deutlichkeit aus ihren mechanischen Kontaktverhältnissen mit den nördlich vorgelagerten autochthonen Sedimenten ergibt, durch die gebirgsbildenden Kräfte der Tertiärzeit in zahllose Schuppenpakete zerrissen worden. Ihre Starrheit hat ihnen nicht erlaubt, sich in irgendwelchen Faltungen den neuen tektonischen Verhältnissen anzupassen.

Die herzynischen Faltungsvorgänge dagegen sind auf die Ausgestaltung ihrer petrographischen Facies ohne Einfluss geblieben, weil ihre Erstarrung in Tiefen erfolgte, in denen das Magma nur dem hydrostatischen Druck unterworfen war. Nirgends können wir an diesen nördlichsten Teilintrusionen Kontaktwirkungen konstatieren, die jüngere als karbonische Sedimente betroffen hätten (ausgenommen vielleicht im Gasterental). Ihre Intrusionszeit hat sich tatsächlich auch als der Unter- bis Ober-Karbonzeit zugehörend erwiesen.

Der Aaregranit weicht in seinem tektonischen Verhalten kaum etwas vom Innertkirchner-Gasteren- und Erstfeldergranit ab. Seine mächtige Intrusivmasse hat den Hauptwiderstand, den starren Rückgrat des Massives gebildet. Auch dieser lakkolithische

Eruptivkörper wurde durch die tertiär-tektonischen Einflüsse umgeklappt, zerschuppt und zerrissen und vielleicht auch um ein Geringes von Ort und Stelle geschoben.

Die Erstarrung des Granites ist zur Ober-Karbonzeit in höherem Niveau der Erdkruste aus einem sehr gasreichen Magma erfolgt: Piëzokristallisation, Piëzokontaktmetamorphose. Porphyrische Ausbildung ist besonders in den südlichen Teilen des Massives vorherrschend. Eine intensive Feldspatisierung war durch lang andauernde Kali- und Natronzufuhr bedingt.

Aus dem Reichtum des Magmas an fluiden Bestandteilen erklärt sich auch die weitausholende Kontaktmetamorphose, die auf der Südseite des Massives infolge nachhaltiger Einwirkung der postvulkanischen Agentien noch triasische Ablagerungen mitbetroffen hat (Baltschiedertal).

Die Erscheinungen des Aaregranites akzentuieren sich am Gotthardmassiv noch deutlicher: Gegenüber der tertiären Alpenfaltung zeigen diese Intrusivkerne schon eine grössere Beweglichkeit. Das Massiv hat zweifellos eine viel bedeutendere S-N-Verschiebung erfahren, als wie das beim Aarmassiv der Fall ist. Die Erstarrungstiefe dürfte gegenüber derjenigen des Aaregranites weiter abgenommen haben und ebenso die Erstarrungszeit eine noch jüngere sein. Jedenfalls sind auf der S-Seite des Gotthardmassives triasische und auch jurassische Sedimente durch die postmagmatische Tätigkeit noch kontaktmetamorph umgewandelt worden. Mit dem hohen Gehalt an leichtflüchtigen Bestandteilen dürfte auch hier die ausgesprochene Porphyrstruktur der Gotthardgranite (Augengneise) und im besondern die auffallend intensive und durchgreifende Albitisierung und Paragonitisierung der Schieferhülle (Natronzufuhr) in Beziehung zu bringen sein.

Ein noch weit verschiedeneres tektonisches Verhalten im Vergleich zu den nördlichen Granitmassiven weisen die Granitkerne der penninischen Decken auf. Sie haben der Alpenfaltung nicht mehr einen starren Widerstand entgegenzusetzen vermocht. Als Massen von hoher Plastizität sind sie mit ihren Schieferhüllen und überlagernden Sedimenten in harmonische, weitausholende, liegende Falten gelegt, ja sogar in einzelne Lappen zerfaltet worden.

Petrographisch sind diese Granite gekennzeichnet durch eine ausgesprochene Augengneisstruktur. Ihre Erstarrung und Feldspatisierung muss unter dem Einflusse schiebender Druckwirkungen stattgefunden haben. Eine Art gestörter Kristallisation führte zu

ihrer Flaser- und Schieferstruktur. Die letzte Verfestigung ist in höherem Niveau erfolgt wie bei den nördlichen Intrusivzentren des Aarmassivs und diesen gegenüber dürften auch die bedeutenden postmagmatischen Nachwirkungen viel jünger sein. Im Kontakt mit diesen südlichen „Gneisen" finden wir die Trias- und Jurasedimente noch hochmetamorph umgewandelt. Vor allen Dingen haben die kristallin gewordenen porösen Dolomite die Rolle von Absorptions- und Kondensationsapparaten für die fluiden Stoffe gebildet, die noch zur Zeit der Alpenfaltung jungen, in geringer Tiefe befindlichen Herden entströmt sein müssen. Durch die reichliche Zufuhr von Natron, von Cl, F, B, Be, As, S und erzbildenden Substanzen haben die Dolomitvorkommnisse des Simplongebietes, des Binnentales, des Campolungopasses usw. ihren Mineralreichtum erhalten, der z. T. mit demjenigen der Pegmatite südalpiner Granitintrusionen und ihrer Kontaktgesteine übereinstimmt. Die bisherige Erklärungsweise der Umkristallisation dieser Trias-Sedimente durch regionalmetamorphe Vorgänge wird immer unzureichend sein müssen, da sie sich über die Herkunft der zugeführten Stoffe keine Rechenschaft zu geben vermag. Die Annahme der kontaktmetamorphen Umwandlung dagegen wird gestützt durch die Tatsache, dass die stofflichen Veränderungen der metamorphen Gesteine mit dem chemischen Charakter des Magmas und mit den anderswo als richtig erkannten magmatischen Destillationsgesetzen in voller Übereinstimmung stehen.

Während also auf der N-Seite der Alpen im Kontakt mit den ältern Graniten die Trias-Sedimente keine Spur von kontaktmetamorpher Einwirkung an sich tragen, zeigen sich diejenigen der penninischen Deckengebiete als typisch pneumatolytisch und hydrothermal metamorph umgewandelt. An den hier auftretenden jüngern Graniten war offenbar am Ende der Triaszeit die postvulkanische Tätigkeit ihres Herdes noch nicht erloschen, und diese verlieh auch den Granitmassen auf der S-Seite der Alpen noch zur Zeit ihrer tertiär tektonischen Umpressung eine viel grössere Beweglichkeit und Geschmeidigkeit.

Dass auf der S-Seite der Alpen in der Tat in postalpiner Zeit noch mächtige eruptive Massen in die Höhe gedrungen sind, beweist das Bergeller-Massiv und all die periadriatischen Eruptivzentren. Der prachtvoll porphyrische, richtungslose Granit des ersteren, der nach Ablauf der Alpenfaltung ungestört kristallisieren konnte, deutet mit seinen klassisch entwickelten Kontaktmetamorphosen an, dass auch hier die Granitbildung aus einem sehr gasreichen Magma erfolgt ist.

Wenn wir all diese Tatsachen uns vor Augen halten, so ergibt sich folgender grosser Zusammenhang zwischen den Granitintrusionen unserer Alpen und den Faltungsvorgängen des Gebirges: Die Erstarrung der alpinen Granitmassive schritt von Norden nach Süden vorwärts und gerade deshalb vielleicht vollzogen sich die gebirgsbildenden Vorgänge in entgegengesetzter Richtung fortschreitend von Süden nach Norden. Auf der Südseite der Alpen mussten sich daher Granitintrusionen (so weit sie voralpin sind) und Gebirgsfaltung am ehesten gegenseitig primär beeinflussen. Die eine erleichterte die tektonische Beweglichkeit der Massen und die andere verlieh dem erstarrenden Granit seine besondere fazielle Ausbildung.

Bis jetzt ist man bei der Erforschung der alpinen Granitmassive meistens von den grossen tektonischen Tatsachen ausgegangen und hat daraus die Rückschlüsse gezogen auf die letzten Ursachen aller Erscheinungsformen. Wir haben den Versuch gewagt, den umgekehrten Weg einzuschlagen. Wir suchen das letzte petrographische Detail zu erforschen, um in voller Auswertung desselben das tektonische Verhalten des kristallinen Gebirges aus den letzten Gründen abzuleiten.[1]

Verehrte Anwesende! Wir wären Ihnen dankbar, wenn Sie unserer Arbeitsweise auch fernerhin Ihr Interesse zuwenden wollten.

---

[1] Zu diesem Vortrage vgl. auch A. Heim: Nachträge zum Aarmassiv, „Geologie der Schweiz" Bd. II. Lfg. 12, S. 918 und ff.

In jener Darstellung werden zum Teil andere Auffassungen vertreten, als wie sie hier zum Ausdruck gebracht worden sind. Sachlich erübrigt es sich, nach dem oben Gesagten näher auf diese Divergenzen zwischen der Darstellung von Prof. Heim und meinen hier gemachten Mitteilungen einzugehen. Dagegen scheint mir folgende Erklärung am Platze zu sein:

Auf Wunsch von Prof. Heim stellte ich ihm eine Zusammenfassung der neuern Ergebnisse der petrographisch-geologischen Erforschung des Aarmassivs für die „Nachträge" in der „Geologie der Schweiz" zur Verfügung.

Prof. Heim sah sich nun veranlasst, meine Notizen in gekürzter Form und beliebiger Verwendung in der „Geologie der Schweiz" wiederzugeben. Leider kamen in dieser Umarbeitung meine Beweisführungen und mein Tatsachenmaterial nur in unvollständiger Weise zur Verwertung, so dass tatsächlich meine Ergebnisse zum Teil als „blosse Vermutungen und Annahmen" in der Luft zu hängen scheinen. Die obigen Ausführungen mögen daher dazu beitragen, dasjenige, was in jener Darstellung unvollständig und von anderem Gesichtspunkt aus betrachtet zum Ausdruck gekommen ist, nach dem heutigen Stande unserer Arbeiten über die alpinen Granitintrusionen zu ergänzen.

Die natürliche Form der Stoffe als physikalisch-chemisches Problem

Prof. Dr. V. Kohlschütter

Es ist mir nicht leicht gemacht, nach dem Ausblick in die grosse Natur, der uns eben erschlossen wurde, Ihre Gedanken zurückzulenken in die engen Zirkel chemischer Arbeits- und Denkweise; aber kein Hintergrund kann vielleicht besser auch den in ihrem Ausmass so viel bescheideneren Erscheinungen, die ich vorzuführen habe, Bedeutung verleihen, als jene Formenwelt, die sich aufbaut auf einem gigantischen physikalisch-chemischen Geschehen, und die zum grossen Teile doch erst verstanden wird aus den unscheinbaren Spuren, die die formgebenden Kräfte im Stoff hinterlassen haben und den Inschriften, die die Mikroskopie des Dünnschliffs als Angaben über ihre Entstehungsbedingungen entziffert. Und noch stehen wir unter dem Nachhall der eindrucksvollen Worte, die der Herr Präsident an uns über die Bedingtheit und Auswirkung des Lebens in der materiellen Form gerichtet hat. So spannt sich für das Auge des Naturforschers in ungeheurem Bogen zwischen zwei Polen das Problem der Form aus — dasselbe Problem, das auf der andern Seite auch den Horizont des naiven Weltbewohners nicht minder wie des Künstlers bestimmt, denn alle Orientierung in der räumlichen Umwelt, in die wir gestellt, gründet sich schliesslich auf unser Auffassungsvermögen und Verständnis für die Form der Dinge.

I.

Was hat die Chemie als Lehre vom individualisierten Stoff zu diesem Problem der Form zu sagen? Welche Fragen hat sie zu stellen?

Man teilt wohl gelegentlich das Gebiet des Chemikers von Nachbarwissenschaften ab, indem man ihm die Behandlung der Stoffe, losgelöst von ihren zufälligen Formen zuweist. Aber die Stoffe erscheinen ihm in irgendeiner Form; welche darf er als

nicht zufällig ansehen? Was ist danach für ihn natürliche Form, was Form überhaupt?

1. Man kann weiter ausgreifen und zur Form alle Zustände mitsamt dem gasigen, flüssigen und gelösten rechnen; hält man sich aber an den eigentlichen Begriff der Form als einer Erscheinungsweise des begrenzten Raumes, so darf man wohl sagen: eine natürliche Form sei jede durch die eigenen Kräfte eines materiellen Systems zustande kommende Stoffanhäufung, die in erkennbarer Weise gegen ihre Umgebung abgegrenzt ist. Die Abgrenzung kann eine Masse Materie als einheitlichen Körper aus dem Raum herausschneiden, oder sie kann im Körperinnern auftreten, d. h. die Körpergrenze ist unter Umständen nebensächlich oder willkürlich, und ein nach aussen unbegrenzt gedachter Raum wird nur von innen heraus durch Aufteilung gewissermassen zur Form belebt. Daher gehört zur Kennzeichnung einer Form auch die Art der Raumerfüllung, die demnach — wenn wir ausdrücklich oberhalb der molekularen Dimensionen bleiben — kontinuierlich oder diskontinuierlich, homogen oder dispers sein kann; molekular-theoretisch aber ist jede Form eine selbständig bis zur Erkennbarkeit abgegrenzte Molekelhäufung.

Dann sind Kristalle und Tropfen sowie Teilchen undefinierbarer Gestalt über und unter der mikroskopischen Abbildbarkeit ebenso natürliche Formen, wie die Zusammenhäufungen und Verknüpfungen von solchen jeder Art und Grösse, einschliesslich der organischen Strukturen und der oft auffälligen, aber nicht zufälligen Ausbildungsweisen mancher Stoffart, von denen im folgenden die Rede sein soll.

2. Hinsichtlich der Beziehung der Form zum individuellen Stoff lassen sich — historisch und noch jetzt — zwei Meinungen oder besser vielleicht Stimmungen verfolgen. Auf der einen Seite eine gewisse Gleichgültigkeit gegenüber der unmittelbaren Erscheinungsform: Der Inbegriff des Wesens eines Stoffes ist die chemische Formel; wenn die Form, in der er auftritt, auch nicht gerade für etwas Zufälliges oder willkürlich Erteilbares gehalten wird, so erscheint sie doch als etwas Akzessorisches und Nebensächliches, das sich über die chemische Natur lagert. Tatsächlich ist ja derselbe chemische Körper in sehr verschiedener äusserer Form erhältlich. Daher auch die lange gehegte Ansicht, dass besondere Kristallisationskräfte den chemischen Stoff zum Kristall zusammenschliessen. Auf der andern Seite freilich weiss

man, dass einem bestimmten Stoff eine bestimmte Form zugeordnet ist, dass die Form ein Ausfluss seiner Eigenart ist. Das ganze reiche Tatsachenmaterial, das die chemische Kristallographie in der Überzeugung vom innern Zusammenhang zwischen Form und Stoffart gesammelt hat, konnte doch schliesslich auch auf den Chemiker strengster Observanz nicht ohne Eindruck bleiben, auch schon bevor die neue Kristallphysik die Verbindung zwischen Kristallstruktur und Molekularkonstitution hergestellt und die Identität der chemischen und kristallbauenden Kräfte erwiesen hat. Die Form, und nicht nur die kristallographisch bestimmbare Form, wird daher zum Kennzeichen der Stoffart, und folgerichtig gilt verschiedene Form bei gleicher Zusammensetzung als Merkmal verschiedenen chemischen Wesens. Die Literatur der präparativen Chemie wimmelt von α, β, γ-Modifikationen und Allotropien desselben Stoffes, die auf Grund der Formverschiedenheit aufgestellt wurden, und noch heute ist z. B. der Brauch nicht ganz geschwunden, kolloide Beschaffenheit eines Produktes als Eigenschaft eines bebestimmten Stoffes anzugeben.

3. So weit beide Anschauungen innerhalb gewisser Grenzen den Tatsachen genügen: Eine einheitlichere Stellungnahme zur Form der Stoffe ergibt sich wohl von unserer Fassung des Formbegriffs aus. Denn in ihr liegt ein Hinweis auf den Gegensatz, die Zustände der Formlosigkeit, wo die Materie keine eigene Abgrenzung hat und zu Einzelmolekeln aufgeteilt ist, und das gibt die Einstellung auf eine bestimmte Betrachtungsweise: Die Form beginnt, wo eine Sonderung im homogen erfüllten Raum auftritt; Form ist infolgedessen ein Zustand, der einen Aggregationsprozess abschliesst; sie wird so zu einem Bestandteil von diesem und er selbst rückt damit in den Vordergrund. Das aber ist die typisch physikalisch-chemische Betrachtungsweise, die im Gebiete der chemischen Vorgänge den einheitlichen Stoff als die Verkörperung des Endzustandes betrachtet, der sich in einem System reaktionsfähiger Körper hergestellt hat; und so wie für die physiologische Morphologie Formbildung eine Lebenserscheinung, die Form selbst ein Entwicklungsprodukt ist, so muss die natürliche Form des einheitlichen Stoffes als das Resultat ihres Bildungsvorganges angesehen werden.

Diese genetische Betrachtung der Form zeichnet ihrer Erforschung den Weg vor. Die chemische Formbeschreibung hat auszugehen von den Zuständen molekularer Unabhängigkeit und Un-

ordnung; sie hat zu untersuchen, wie die Materie aus der Formlosigkeit des Dampfes, der Flüssigkeit und Lösung durch chemische Reaktion oder blosses Absinken der Temperatur zur Entwicklung geformter Körper mit selbständiger Raumerfüllung und Abgrenzung gelangt, und muss die einzelne Form zu verstehen suchen aus den Vorgängen, die zu ihr führen.

Dadurch wird zunächst die Form selbst noch auf eine andere Art zugänglich als durch die blosse chemische und physikalische Anatomie des Objektes. Indem man aber die Eigenschaften zu kennzeichnen sucht, die sich aus der speziellen Aggregationsweise ergeben, zeigt sich eine zweite Aufgabe für eine solche physikalisch-chemische Morphologie: Die Form der Stoffe greift erfahrungsgemäss selbst in das chemische Geschehen ein; sie bestimmt und beeinflusst Ablauf und Ergebnis reaktiver Prozesse, und daher ist auch in dieser Richtung nach dem Zusammenhang zwischen Form und chemischen Tatsachen zu fragen.

4. Und noch ein weiterer bedeutungsvoller Gesichtspunkt ist mit der genetischen Einstellung gegeben: In der molekularen Aufteilung befindet sich die Materie auf ihrem höchsten Energieniveau; der Übergang in andere Zustände erfolgt, wo er möglich ist, unter Verlust freier Energie, und dieser ist am grössten, wenn die ehedem freibeweglichen Molekel sich in Raumgitter eingeordnet haben. Sobald die Verdichtung beim einheitlichen Kristall angelangt ist, der zugleich als Zustand vollkommenster Ordnung und grösster Annäherung der Molekel in jeder Beziehung den Gegenpol zur gasigen und gelösten Erscheinungsart des Stoffes darstellt, ist der Stoff im Hinblick auf eine Zusammenhäufung unter der Wirkung seiner eigenen Kräfte ins Gleichgewicht gekommen. Da aber die Welt nicht von Anfang bis zu Ende aus Kristallmodellen besteht, vielmehr die grösste Mannigfaltigkeit geformten Stoffes uns in anderer Gestalt entgegentritt, so erscheinen alle diese andern Formen als Stationen auf dem Wege von der molekularen Zerteilung zum Kristall. Der Abstand im Energiegehalt zwischen beiden entspricht der Kraft, die den Stoff seiner letzten Verdichtungsstufe zutreibt; wenn diese nicht erreicht wird, so müssen Hemmungen die Stoffverteilung auf höhern Stufen festhalten; es ist daher den Wirkungen nachzugehen, die in den Verdichtungsvorgang eingreifen, den Kräften, die ihn von seinem Endziel abdrängen, den Kristallisationsprozess verzögern, stören, unterdrücken;

daher logischerweise auch denen, die das normale Produkt, den Kristall, hervorbringen. Hierin liegt eine gewisse Umkehrung des Standpunktes; wir fragen nicht: was führt den Stoff zu einer bestimmten Form zusammen? sondern: was hindert ihn, seine normale Form als ausgebildeter Kristall anzunehmen?

Tatsächlich sind die Formen, in denen wir die Stoffe in der Wirklichkeit antreffen, zu einem grossen, wenn nicht zum grössten Teile, Kompromisse zwischen dem Kristallisationsvermögen und dessen Störungen; es sind Gebilde, die nicht ins Formgleichgewicht des idealen Kristalls gekommen sind, wenn viele auch durchaus stabil erscheinen; und hier liegt auch eine der Wurzeln für das unterschiedliche chemische Verhalten gleich zusammengesetzter aber ungleich geformter Stoffe, denn die Reaktionsfähigkeit muss der Energiestufe entsprechen, auf der der Stoff angelangt ist. Solche Formen sind es vor allem, denen die folgenden Darlegungen gelten.

Die ganze Betrachtung findet ihre experimentelle Begründung in der so überaus wichtigen Erkenntnis, die wir namentlich den Herren Debye und Scherrer verdanken, dass selbst die weitestgehende Zersplitterung der Kristallisation, die z. B. zu kolloiden Metallösungen führt, doch noch Bruchstücke übrig lässt, in denen die kristallographischen Elementarkörper erkennbar sind. Die Beseitigung des grundsätzlichen Gegensatzes zwischen amorphen und kristallinen festen Stoffen, die hiermit angebahnt ist, bedeutet eine Befreiung von Beschränkungen in der einheitlichen Betrachtung, die sich zunächst in der Auffassung der Beziehungen zwischen dem Stoff und seiner natürlichen Form für solche Gebilde auswirken kann, die als spezifische Formen sich der Aufmerksamkeit aufdrängen und weder durch ihre chemische Formel noch durch ihre Kristallstruktur irgendwie ausreichend beschrieben sind.

II.

Ich kann hier nicht ausführen, wie die angedeutete Betrachtungsweise tatsächlich eine vollständige Übersicht über die Gesamtheit der Formbildungsvorgänge ermöglicht, wenn sie sich im weitern namentlich auf ihre speziellere Einteilung nach den Ausgangszuständen, aus denen sie erfolgen, gründet. In Teilgebieten, z. B. der Gesteins- oder Metallehre, die von dem formlosen Zustand

des Flüssigen ausgehen, verhilft sie schon jetzt zu einem weitgehenden Verständnis natürlicher Formen.

Gestatten Sie mir dagegen, da mir auferlegt ist hier von eigenen Untersuchungen zu reden, etwas näher auf einige ihrer Anwendungen in Gebieten einzugehen, für die sie noch nicht so einheitlich zur Durchführung gelangt ist. Solche Gebiete grenzen sich ab, wenn als Ausgangszustände der Formentwicklung die homogene Stoffverteilung gewählt wird, wie sie einerseits in der molekularen, ungeordneten Zerteilung des gasförmigen und gelösten Zustandes, anderseits in der atomistischen Ordnung der kristallinen Raumgitter vorliegt.

Hier hat sich nicht nur für eine Anzahl spezieller Stoffe eine Klarstellung des Verhältnisses verschiedener Formen und ihrer Bildungsbedingungen ergeben, sondern auch ein Einblick in allgemeinere formbestimmende Faktoren und ihre Wirkungsweise. Die Beispiele sind zugleich geeignet, einige Eigentümlichkeiten in der Art von Vorgängen, auf denen die Formbildung beruht, zu illustrieren und verdienen auch deswegen Interesse, weil sie das Verhalten einfacher Stoffe unter Bedingungen zeigen, die mir charakteristisch zu sein scheinen für einen grossen Teil von Formungsvorgängen in der belebten und unbelebten Natur und deren Besonderheit mindestens mitbedingen, wenn nicht ausmachen.

1. Nur summarisch will ich mich dabei auf eine Reihe von Untersuchungen beziehen, die an die jedem experimentierenden Chemiker geläufige Erfahrung anknüpfen, dass häufig ein und derselbe Stoff völlig reproduzierbar in verschiedenen Formen auftritt, wenn er nach verschiedenen Reaktionen erzeugt wird. Diese Formen stehen zu einander nicht im Verhältnis irgend einer chemischen oder physikalischen Isomerie; sie sind auch nicht nachträglich ineinander überführbar, sondern erhalten ihren spezifischen Eigenschaftenkomplex nur durch den Bildungsvorgang und mögen daher als „*Bildungsformen*“ bezeichnet werden.

Der Mechanismus ihrer Entstehung ist ganz allgemein der, dass ein Stoff im Augenblick, wo er aus molekularer Zerteilung Formeigenschaften annimmt, dem Einfluss chemischer und physikalischer Faktoren unterliegt, die auf die Form wirken können. Eine Bildungsform ist somit die morphologische Reaktion des Stoffes auf die Gesamtheit seiner Bildungsbedingungen. Wenn dabei die stoffliche Individualität vielfach vor den Einflüssen

anderer Art stark in den Hintergrund tritt, so ist doch den Stoffarten gewissermassen eine verschiedene Plastizität eigen, eine grössere oder geringere Neigung, auf die Umstände zu reagieren, so dass das Problem nach dieser Seite schliesslich doch in eine chemische Frage auszumünden scheint.

Die nachweisbaren Faktoren, mit denen das Kristallisationsvermögen in Wechselwirkung tritt, sind zahlreich; mittelbar oder experimentell bestimmen Temperatur und Konzentration, Gegenwart anderer Stoffe und Beschaffenheit des Mediums, auch wohl mechanische und elektrische Zwangsbedingungen und manches andere die Bildungsform; mehr theoretisch kommen Keimbildungs- und Wachstumsvermögen, Bildungsgeschwindigkeit und Grenzflächenkräfte, Diffusion und osmotische Vorgänge mit ihren mannigfaltigen Abhängigkeiten von den äussern Bedingungen in Betracht.

2. Hierdurch wird ein grosser Spielraum für die Variation von Bildungsformen gegeben; ja, grundsätzlich wäre wohl zu erwarten, dass im Gegensatz zu der Beschränkung, der die Zahl der möglichen Kristallformen nach den kristallographischen Gesetzen unterliegt, für einen einzigen Stoff eine unbegrenzte Menge natürlicher Formen dieser Art existieren müsste. Die Erfahrung scheint insofern dem zu widersprechen, als sich in der Regel bei einem Stoff eine relativ kleine Anzahl typischer Formbildungen heraushebt, so dass man sich erinnert fühlt an die Begrenztheit der Zahl organischer Formentypen, ohne die wohl eine morphologische Systematik überhaupt nicht durchführbar wäre. Es ist dies wohl nur so zu verstehen, dass oft ein Faktor unter denen, die im Bildungsprozess mitwirken, innerhalb gewisser Grenzbedingungen vorwaltet, vielleicht auf Grund des besondern Zahlenwertes einer Stoffkonstanten, an die er anknüpft.

Infolgedessen scheint es nicht undenkbar, dass sich einmal eine Übersicht über die morphologischen Erscheinungen bei einer Stoffart gewinnen lässt, die von den Faktoren ausgeht, welche die dreidimensionale Fortführung des elementaren Raumgitters beeinträchtigen. Die Grundform würde diejenige sein, bei der ein Minimum störender Faktoren in Wirksamkeit getreten, also der ideale Kristall; die Art und Zahl der Störungsfaktoren liefert gewissermassen den Grad der Komplikation und damit den Typus der Störungsform; das Intensitätsverhältnis der einzelnen Faktoren führt zur Spielart innerhalb des Typus.

3. Lassen Sie mich an einem sehr bekannten Beispiel der Stoffbildung aus Lösung eine solche Abstufung in den Typen von Bildungsformen veranschaulichen. Unter den einfacheren anorganischen Stoffen hat von je der kohlensaure Kalk wegen des Reichtums seiner Formen die besondere Beachtung von Kristallographen, Mineralogen, Geologen, aber auch von Biologen gefunden; wegen ihrer Art bot er sich auch mir neuerdings wieder als geeignetes Material zum Studium allgemeiner Verhältnisse an. In die Formenfülle des einen Stoffes bringt bekanntlich die Unterscheidung des rhomboedrischen Calcits und des rhombischen Aragonits die erste Gliederung. Ihr liegt eine rein strukturelle Verschiedenheit in den Elementarkörpern zugrunde, die uns heute nichts angeht; die zahlreichen Kristallgestalten, z. B. des Calcits, gehören bereits in das Gebiet der Bildungsformen. Zwar ist auch der Kristallhabitus, als gesetzmässige Beeinflussung der Ausbildungsart, zuerst eine Funktion der Struktur -- Herr Niggli hat unlängst von der chemischen und kristallographischen Koordinationslehre aus höchst fruchtbare Anschauungen hierüber entwickelt — er wird aber auch von den Bildungsbedingungen bestimmt. Zu den wirksamen Umständen gehört besonders die Anwesenheit bestimmter „Lösungsgenossen", als Angriffspunkt ihrer Wirkung aber lässt sich die relative Wachstumsgeschwindigkeit einzelner Flächen mit Sicherheit bezeichnen. Lösungsgenossen, die den Habitus ändern, müssen schnellwachsende Flächen in langsam wachsende verwandeln. Die unbeeinflusste Form des bei gewöhnlicher Temperatur kristallisierenden Calciumcarbonats ist das Grundrhomboeder des Calcits; wenn durch gewisse Salze flächenreichere Kristalle hervorgerufen werden, so haben wir eine Komplikation des normalen Vorgangs, wenn auch noch keine eigentliche Störung des Kristallisationsprozesses. Allem Anschein nach hat man es mit einer Komplexbildung zu tun, welche die von den Atomen und Jonen bestimmter Flächen ausstrahlende Anziehung gegenüber den Bestandteilen in der Lösung teilweise abblendet, so dass hier ein vor allem chemischer Einfluss besteht.

4. Eine Steigerung des Effektes zeigt sich, wenn die kristallisierende Substanz gleichzeitig anwesende Stoffe adsorbiert, wie es namentlich bei kolloiden Beimengungen der Fall ist. Die chemische Beziehung zum Lösungsgenossen tritt hier oft ganz zurück; die Formbeeinflussung aber geht von den fremdstofflichen Adsorptionsschichten aus, die sich am wachsenden Kristall bilden. Zunächst

vermag die Kristallisationskraft unter Umständen über solche Störungen hinwegzuwirken und die ausscheidbare Materie noch zu normal begrenzten Polyedern zusammenzuführen; diese sind aber schon nicht mehr regelrechte homogene Kristalle, sondern bis zu einem gewissen Grade disperse Körper. Bei stärkerem Fremdstoffgehalt entwickeln sich ein- oder zweidimensional verzerrte Kristalle, bis schliesslich eigentümlich garbenförmige oder blumenartig aufgeblätterte Bildungen erscheinen.

Zur Beeinflussung des Wachstums bestimmter Flächen tritt hier eine Verteilungswirkung des kolloiden Fremdstoffes für den kristallisierenden Körper, die zum Teil auf einer Begünstigung der Entstehung neuer Keime unter gleichzeitiger Unterdrückung ihres Wachstums beruht. In höchst gesteigertem Masse liegt diese Wirkung jenen kolloiden Bildungen zugrunde, die die eigenartigen Aggregationsformen pathologischer Konkremente oder gewisser Kalksinter bedingen. Bei einigen Bildungsformen anderer Stoffe wird sie noch zu erwähnen sein; jedenfalls liegt in ihr ein sehr weit verfolgbarer formbestimmender Fremdstoffeffekt vor.

5. Einen noch wesentlich höhern Grad der Abweichung vom normalen Calcitkristall repräsentieren Körper, die meist als „Kristallite“ bezeichnet werden, am sinngemässesten aber vielleicht nach Vogelsangs Vorgang „Kristalloide“ zu nennen wären, wenn dieser Name durch eingewurzelten Gebrauch nicht schon anders festgelegt wäre. Es handelt sich dabei nicht um die durch übereilte Kristallisation entstehenden skelettartigen Verkümmerungsformen echter Kristalle, noch um Körper, die durch Gegeneinanderwachsen in der Annahme ihrer gesetzmässigen polyedrischen Gestalt behindert wurden, wie die Strukturelemente erstarrter Schmelzen, die beide unter dem Namen Kristallite gehen. Gemeint sind vielmehr charakteristisch gegliederte, vielfach höchst symmetrisch gebaute Einzelindividuen, oft von zierlichster und reizvollster Gestalt an den Grenzen mikroskopischer Sichtbarkeit, die langsam auch aus Lösungen entstehen. Sie scheinen Produkte einer selbständigen Entwicklung zu sein, denn sie wachsen — aber sie wachsen nicht wie Kristalle durch fortlaufende Stoffanlagerung zu sich selbst ähnlichen Körpern, sondern häufig unter reicherer Ausgestaltung ihrer Körperform, und anderseits sind es nicht mehr oder minder zufällige Aggregate aus Formelementen, die auch isoliert auftreten. Man ist versucht, sie als eine Art anorganischer

Organismen zu kennzeichnen; jedenfalls erinnert die Gliederung ihrer Gesamtmasse oft an organische Formen, und als Modelle oder wohl gar vermeintliche Grundlagen solcher haben Kalkgebilde dieser Art wiederholt biologisch eingestellte Beobachter — ich nenne nur Bütschli — beschäftigt.

Das Mittel, sie hervorzurufen, ist gewöhnlich ebenfalls der Zusatz wesensfremder Lösungsgenossen; Fremdstoffe gehen auch in sie über, aber der Gehalt daran ist nebensächlich und zufällig und macht nicht das Wesen der Form aus. Der Vorgang ihrer Entstehung ist ziemlich kompliziert. Keimverteilung und Wachstumsbeeinflussung durch Adsorptionsschichten spielen dabei ebenso eine Rolle, wie bei den vorher erwähnten Formen; wichtiger aber scheint — im speziellen Falle des kohlensauren Kalkes — die vorausgehende Bildung eines unbeständigen Hydrates zu sein, dessen Zerfallsmaterial vom Augenblick des Auftretens an einem Jneinander chemischer, osmotischer, kapillarer Vorgänge ausgesetzt ist, wie es bei einigen später zu erwähnenden Erscheinungen noch etwas übersichtlicher in seinen Grundlagen zutage treten wird.

III.

1. So lehrreich für die Erkenntnis der Ansatzstellen der Formungswirkungen die eben behandelten Bildungsformen sind: an Bedeutung und Mannigfaltigkeit werden sie übertroffen von solchen, bei denen die typische Form nicht in isolierten polyedrisch umgrenzten oder charakteristisch gegliederten Individuen, sondern erst in grössern Aggregationen und durch das Zusammenwirken vieler Einzelteile oder Teilchen zum Ausdruck kommt. Die natürliche Form, die sich bisher in der Gestalt einzelner Objekte ausprägte, wird jetzt mehr zum Zustand, dessen Beurteilung nicht an einen Körper von bestimmter Ausdehnung gebunden ist; die Abgrenzung im Körperinnern, die Art der Raumerfüllung und innere Verknüpfung der Teile werden zum Hauptmerkmal.

Wenn ein Stoff wie Silber einmal als metallischer Regulus auftritt, ein andermal als kristalline Kruste oder spiegelnder Beschlag, als schwarzes Pulver oder Fadengeflecht, wie in manchen natürlichen Vorkommnissen, so sind das alles verschiedene Bildungsformen im letzteren Sinne.

Bei ihrer Entstehung sind dieselben Faktoren am Werke, die den Habitus von Kristallen beeinflussen und die geformten nicht-

kristallinen Gebilde hervorbringen. Auch bei ihnen handelt es sich um eine Störung des normalen Kristallisationsprozesses, die am durchgreifendsten ist, wenn die Verdichtung aus dem molekularen Zustande in irgend einem Medium auf den höchsten Stufen kolloider Zerteilung festgehalten wird. Eine solche stellt selbst wieder einen Ausgangszustand dar, von dem aus der Stoff einer weitern Aggregation zustrebt. Als ein Extrem entstehen so die kolloiden Strukturen, die sich aus ultramikroskopischen Teilchen aufbauen; die Aufstufung in den Dimensionen der Teilkörper aber und die verschiedene Art, in der sie zum neuen Körper zusammengefasst werden, ergeben die mannigfachsten Variationsmöglichkeiten. Die nähern Umstände, unter denen ein Bildungsprozess dieser Art abläuft, pflegen obendrein von vornherein eine grosse Zahl von Komplikationen einzuschliessen, so dass die Entstehung zahlreicher Formentypen und mannigfacher Spielarten innerhalb derselben verständlich wird.

2. Einigermassen einfache und übersichtliche Verhältnisse trifft man an, wenn die Bildung von Stoffen aus der molekularen Zerteilung eines Dampfes inmitten eines neutralen Gases erfolgt. Die Konzentration und die Natur des letzteren bestimmen dann den Grad der Zerteilung, bei dem die Verdichtung stehen bleibt, und die daraus sich entwickelnden Häufungsformen. Das Medium wirkt hier lediglich stoffverteilend, und zwar sind es vor allem die Stösse der Gasmolekel gegen die sich bildenden Teilchen, die Einfluss gewinnen.

Dieser Wirkungsfaktor hat sich sehr anschaulich ergeben in der mikroskopischen Verteilungsform der Kondensationsprodukte von Metalldämpfen, sowie der ultramikroskopischen Struktur von Ablagerungen, zu denen sich durch elektrische Atomstrahlen zerstäubte Metalle oder der durch chemische Umwandlung aus Phosphordampf erzeugte rote Phosphor verdichten, und recht instruktive Bildungsformen werden gewonnen, wenn durch Verdampfung und Oxydation von Metallen im Lichtbogen Oxyde zunächst als Rauch erzeugt und dann elektrisch niedergeschlagen werden: Die lockern Massen stellen vollkommene Analoga der aus kolloiden Lösungen koagulierenden Gele dar, unterscheiden sich von solchen aber dadurch, dass sie bei ihrer Bildung den mannigfaltigen Wechselwirkungen mit der Flüssigkeit entzogen waren, die die eigentlichen kolloiden Strukturen beeinflussen; sie bringen daher das Aggre-

gationsvermögen der Materie in seiner Abhängigkeit vom zerteilten Stoff selbst viel reiner zur Anschauung als diese.

3. Einen Schulfall für die komplizierte Entstehungsweise mancher spezifischen Formen über den Zwischenzustand kolloider Zerteilung im flüssigen Medium stellt die Bildung der glänzenden Silberablagerungen dar, die der Herstellung der von uns täglich benutzten Spiegel zugrunde liegt. Hier handelt es sich darum, das Metall aus der Lösung einer seiner Verbindungen in festhaftender Schicht mit seinem typischen Reflexionsvermögen auf Glas niederzuschlagen. Dies wird erzielt, indem die Silberabscheidung durch eine auch in ihrem chemischen Mechanismus schon kunstvoll abgestimmte Reaktion mittels „oberflächenaktiver" Stoffe, die sich in der Grenzfläche der Flüssigkeit anreichern, an die Glaswand verlegt wird. Das Reduktionsmittel selbst oder kolloide Nebenprodukte bewirken hier als Adsorptionsschicht eine Verteilung der Keime und behindern zugleich deren Weiterwachsen, während sie selbst allmählich durch die Reaktion aufgezehrt werden und die primäre Bildung kolloiden Metalls sofort zur Koagulation weiterschreitet. So bedingt eine uhrwerkartige Verzahnung chemischer und kapillarer Vorgänge die besondere Ausbildungsart, denn das Wesen dieser Silberform liegt darin, dass eine disperse Haut aus Teilchen von kolloiden Dimensionen in flächenhafter dichter Lagerung entsteht, wodurch die Eigenschaften des kompakten Metalls im Gegensatz zu sonst aus Lösung entstehenden Abscheidungsformen in gewissem Umfange zur Geltung gebracht werden.

4. Die speziellen Formungseffekte bei den angeführten Beispielen kommen also zustande, indem das Streben zur Kristallbildung in Konkurrenz mit andern Kräften tritt. Dabei prägt sich in einer Stufenfolge von Aggregationsformen eine kontinuierliche Wirkungsreihe aus, an deren einem Ende das Kristallisationsvermögen fast unbeeinträchtigt waltet, auf den weitern Stufen noch merkbar vorherrscht, allmählich zurücktritt und am andern Ende schliesslich völlig unterdrückt erscheint. Namentlich gut hat sich dies unter den besondern Bedingungen der elektrolytischen Metallabscheidung, die ja nichts anderes als ein lokalisierter Kristallisationsprozess ist, verfolgen lassen. Aber auch auf jenen letzten Stufen macht sich die Kristallisationskraft noch in positiven Wirkungen geltend: sie gibt der Stoffzusammenlagerung auch da eine Richtung, wo eine eigentliche Kristallgestalt weder im ganzen

noch in einzelnen Strukturbestandteilen erkennbar ist. Die „gerichtete Koagulation“ gewisser kolloider Lösungen, über die wir durch eine Untersuchung Herrn Wiegners an Vanadinsäure- und Fibrinsolen Wichtiges erfahren haben, gehört als formbestimmender Faktor in diesen Zusammenhang, und vor allem sucht eine „Sammelkristallisation“ den Stoff aus der instabilen Anordnung in einer Störungsform dem erst im einheitlichen Kristall erreichten Gleichgewicht zuzutreiben. Auffällige mechanische Kontraktionserscheinungen, die an manchen elektrolytischen Niederschlägen beobachtet werden, sowie optische und elektrische „Nachwirkungen“ in dünnen Häuten sind nachträgliche Formänderungen, die auf einer solchen beruhen.

5. Die für eine jede der betrachteten Formen charakteristische Raumerfüllung und innere Abgrenzung entsteht dadurch, dass die Verdichtung auf einer bestimmten Zerteilungsstufe abgebremst wird und die Einzelteilchen in bestimmter Art zu einem neuen Körper zusammengefasst werden. Diese erste Dispersität wird aber häufig unterlagert von einer zweiten innerhalb der Teilchen selbst; von den verschiedenen Möglichkeiten ihres Zustandekommens sei eine gezeigt, wo die Verhältnisse chemisch besonders einfach liegen.

Elementares Arsen existiert in zwei Modifikationen: einer gelben, nicht metallischen, von der Dichte zirka 2, die regulär kristallisiert und äusserst instabil ist, sowie einer grauen, metallischen, von der Dichte zirka 5,7, die in ausgebildeten hexagonalen Kristallen durch Sublimation erhalten wird. Diese graue Modifikation wird in vielen typischen Bildungsformen angetroffen: als schwarzer Spiegel durch Niederschlagung aus verdünntem Dampf und durch Zersetzung von Arsenwasserstoff an einer Fläche, als braune Fällung bei der Reduktion gelöster Verbindungen, als grauschwarzes Pulver aus Rauch. In allen Fällen bildet sich zuerst, wenn auch sehr vorübergehend, die unbeständige gelbe Modifikation. Mit ihr wird die Form des Produktes durch die Reaktionsbedingungen im Rohbau angelegt; sehr rasch jedoch erfolgt die Umwandlung der gelben Form unter Zusammenbruch ihres regulären Raumgitters, und die Folge ist, dass nunmehr jedes kristalline Strukturelement der Bildungsform eine Pseudomorphose von grauem nach gelbem Arsen darstellt, somit ein disperses Metallkorn, denn das Volumen bleibt im grossen und ganzen unverändert, während doch die Dichte des den Raum erfüllenden Stoffes von 2 auf 5,7 gestiegen ist. Die

Teilchen des dispersen Korns sind aber selbst in eine regelmässige Anordnung gebracht auf Grund der Stoffverteilung im ursprünglichen regulären Kristall, dessen äussere Form ihnen eine bestimmte Lagerung angewiesen hat. An den Umwandlungsprodukten grösserer Individuen lässt sich gut beobachten, was auch mit den kleinern Teilchen geschieht: von der Mitte der Flächen aus ist Material in das Innere gesunken; so dass die Pseudomorphosen symmetrisch deformierte Gebilde darstellen, die nach Aussehen und auch Wesen an die früher erwähnten gegliederten „Kristalloide" von Calciumcarbonat erinnern. Zugleich wird verständlich, dass solche Bildungsformen auf Grund ihrer pyknometrisch ermittelten Dichte mehrfach als besondere Modifikationen angesehen wurden, denn jedes pseudomorphe Korn schliesst einen bestimmten Bruchteil unzugänglichen Hohlraumes ein.

6. Verwandt mit diesen Vorgängen der Entstehung gesetzmässig gegliederter Formen durch polymorphe Umwandlung ist die Formbildung durch thermische Zersetzung von festen Verbindungen, die wiederum für Silber systematisch studiert wurde; ein Verständnis der dabei entstehenden unterschiedlichen Formen war auch hier selbst in Einzelheiten auf derselben Grundlage möglich:

Das im ursprünglichen Raumgitter einer Verbindung regelmässig verteilte Metall muss beim Zusammenbruch des Gitters infolge der Entfernung der andern Bestandteile sich neu aggregieren. Dies geschieht in einer von der vorherigen Verteilung vorgezeichneten Ordnung im Raum des ehemaligen Kristalls, wobei die sonstigen Bedingungen der von Fall zu Fall verschiedenen Reaktionen als formbestimmende Umstände mitwirken, so dass jede Verbindung eine spezifische Bildungsform liefert.

Ähnliches spielt übrigens auch bei der auf etwas andern chemischen Grundlagen beruhenden Abscheidung von Silber aus festen Verbindungen in den Prozessen der photographischen Bildentwicklung eine Rolle, für die die spezifische Form, in der das Silber auftritt, von unmittelbarer praktischer Wichtigkeit ist.

IV.

Bei den bisherigen Erscheinungen hatte für den Formeffekt mehrfach schon ein Moment Bedeutung, das noch eine kurze Sonderbetrachtung verdient, nämlich die örtliche Bindung des Bildungsvorgangs, im Gegensatz zu seinem Ablauf im gleich-

artig erfüllten Raum. Eine solche kann veranlasst sein durch Verlegung der Reaktion in eine Grenzfläche, oder dadurch, dass der Formbildungsvorgang von einem kristallinen Körper ausgeht, und auch noch andere Grundlagen haben; um das Gemeinsame und Besondere derartiger Vorgänge hervorzuheben, fasse ich sie als „*topochemische*“ Prozesse zusammen. Sie sind von speziellem Interesse, weil ein grosser Teil natürlicher Formbildungen sich unter solchen topochemischen Bedingungen vollzieht, denn bei den Wachstums- und Erneuerungsvorgängen im tierischen und pflanzlichen Organismus oder bei Umbildungen im Mineralreich erhält ein neues chemisches Produkt häufig nur dadurch seine spezifische Form, dass es an der Stelle oder im Raum seiner Muttersubstanz auftritt.

Ich will daher noch an einigen Beispielen zeigen, wie die Entstehung besonderer Formen von diesem Gesichtspunkt aus verständlich wird; sie erlauben zugleich, einige eigenartige Wirkungen zu erkennen, die die natürliche Form umgekehrt auf chemische Prozesse ausübt.

1. Einer der schönsten Erfolge der an Ergebnissen so reichen röntgenometrischen Methode der Herren Debye und Scherrer ist die Ermittlung der Raumgitterstruktur des Graphits und der Nachweis, dass zwischen Graphit und „amorphem“ Kohlenstoff, wie er etwa im Russ vorliegt, kein chemischer Unterschied besteht. Graphit und Kohle erscheinen danach nur als verschiedene Bildungsformen derselben Modifikation des schwarzen Kohlenstoffs, wie ich auch aus einem reichhaltigen chemischen Tatsachenmaterial im Rahmen der hier benutzten Anschauungen ableiten konnte. Damit entsteht aber die Frage, durch welche Bedingungen die Bildung von festem Kohlenstoff entweder auf den graphitischen oder den russartigen Typus gelenkt wird, denn die beiden Arten treten selbst noch wieder in mannigfaltigen Ausbildungsformen auf.

Das Debye-Scherrersche Strukturbild liefert für die Graphitbildung die Bedingung, dass 1. eine Verkettung von Kohlenstoffatomen in lückenlos von Sechsringen bedeckten Ebenen, und 2. eine Übereinanderlagerung derartiger Ebenen unter vertikaler Verbindung erfolgt. Wo die ausgedehntere Entwicklung dieses Raumgitters gestört wird, kommt es nicht zur Bildung von typischem Graphit, sondern das aus zusammengehäuften Raumgitterbruchstücken bestehende Reaktionsprodukt stellt amorphe Kohle dar.

Die physikalisch-chemische Analyse der künstlichen und natürlichen Graphitbildungsprozesse lehrt nun, dass überall da, wo Kohlenstoff sich aus einem molekularen Zustand durch Vorgänge abscheidet, die irgendwie örtlich gebunden sind, Graphit entsteht, weil dann die Entwicklung des normalen Gitters begünstigt wird.

Besonders instruktiv tritt dies zutage, wenn man die Kohlenstoffbildung etwa durch Zersetzung von Kohlenoxyd an metallischen Kontaktflächen vor sich gehen lässt, wo sie bereits bei 500° erfolgt. Dieselbe Reaktion liefert dann unter gleichen äusseren Bedingungen je nach der Ausgestaltung des Reaktionsortes graphitischen oder russartigen Kohlenstoff, und das Produkt trägt deutlich den Stempel der topochemischen Bildungsbedingungen, insofern es die Beschaffenheit des Reaktionsortes wiederspiegelt. Eine dünne elektrolytische Nickelschicht von bestimmter Struktur, die die Kohlenoxydspaltung katalysiert hat, lässt nach ihrer Lösung in Säure einen dünnen Graphitbelag zurück, der in allen Einzelheiten ihrer Form entspricht, während ein lockeres Nickelpulver Kohlenstoff liefert, der einen ziemlich russartigen Eindruck macht.

Wenn sich anderseits in flüssigem, kohlenstoffreichem Eisen die Kristalle eines instabilen Karbids, des sog. Zementits, langsam ausbilden, so scheiden sie durch chemischen Zerfall Kohlenstoff von ihren Umgrenzungen aus ab, der in der umgebenden Schmelze als „Garschaumgraphit“ aufsteigt oder bei deren Erstarren die Karbidkristalle bedeckt, wie das Schliffbild deutlich zeigt. Auf den Kristallflächen sind die topochemischen Voraussetzungen für die Entwicklung des Graphitgitters gegeben; wird aber den Karbidkristallen durch rasche Abkühlung zunächst keine Zeit zum Zerfall gelassen und werden sie dann nachträglich längere Zeit erhitzt, so flockt der Kohlenstoff inmitten des ganzen Raumes der Kristalle in der russartigen Form der sog. „Temperkohle“ aus, weil sich hier seine Bildung nicht an eine Fläche gebunden, sondern in einem grössern Volumen vollzieht; es findet eine Reaktion unter gleichen Bedingungen wie bei der eigentlichen Russbildung in einem Gasraum statt; der Gegensatz von Ortsreaktion und Raumreaktion tritt also hier sehr einleuchtend hervor.

Kohlenstoff von graphitischem Typus lässt sich durch gewisse Oxydationsmittel in eine eigentümliche Substanz, die sog. Graphitsäure verwandeln, die äusserlich die Form des Ausgangsmaterials zeigt, aber nur eine hochdisperse Pseudomorphose nach dem Graphit

darstellt. Ihre chemische Bildung ist schon durch die strukturelle Eigenart des graphitischen Kohlenstoffs bedingt, sie selbst aber liefert beim Erhitzen unter Versprühen und Gasentwicklung Kohlenstoff in Form eines samtschwarzen, äusserst lockeren Russes, in dem das Raumgitter des ursprünglichen Graphits, man möchte glauben, bis zu den Elementarkörpern pulverisiert erscheint. Lässt man aber Graphitsäure in derselben Weise sich unter nur mässigem mechanischen Druck zersetzen, so entsteht Kohlenstoff, der auch als Masse graphitische Beschaffenheit aufweist: durch die Kompression vollzieht sich die Kohlenstoffbildung wieder unter Bedingungen, die eine ausgedehntere Raumgitterentwicklung ermöglichen.

So liefern gerade die Verhältnisse bei der Kohlenstoffbildung ein ausgezeichnetes Beispiel für die gegenseitige Bedingtheit von Form und Reaktion und für eine topochemische Reaktionsfolge, die noch weiter in das Gebiet der rein chemischen Vorgänge verlängert werden kann, wenn man berücksichtigt, dass der bei der Bildungsreaktion in atomistischer Isolierung auftretende Kohlenstoff selbst erst durch eine Kontaktfläche zur Ausscheidung und zum Ringschluss gebracht wird.

2. Mehr in den Raum zurück führen die folgenden Vorgänge, die dennoch örtlich gebunden bleiben.

Wird eine kristallisierte Verbindung, aus der durch Ab- oder Umbau ein unlöslicher Stoff entstehen kann, während sich die Nebenprodukte lösen, in eine geeignete Reaktionsflüssigkeit gebracht, so schreitet die Reaktion von aussen nach innen in den Kristall fort, und unter passenden Umständen wird dieser unter Erhaltung seiner äusseren Form in eine Substanz umgewandelt, die in gleichartiger, disperser Verteilung den Raum des ursprünglichen Kristalls erfüllt. Bei sonst vergleichbaren Bedingungen hängen dann Verteilung und Aggregationsart des neuen Stoffes von derjenigen im ursprünglichen Raumgitter ab. So lassen sich feste Kupfersalze (z. B. basisches Sulfat, einfaches Sulfat, Doppelsulfat) mit Basen pseudomorph zu Hydroxyd umsetzen, dessen Teilchen bei wachsender Molekulargrösse des Ausgangskörpers mit abnehmender Dichtheit zu einem zunehmend lockeren oder luftigen Innenbau zusammengefügt sein müssen, da sie sonst den Raum ihrer Stammkristalle nicht gleichartig ausfüllen könnten. Die verschiedene Dispersität des Hydroxyds verschiedener Herkunft äussert sich nun

auffallenderweise auch in ihrem chemischen Verhalten: Kupferhydroxydniederschläge gehen gewöhnlich unter der Reaktionsflüssigkeit alsbald freiwillig in Oxyd über; die Geschwindigkeit dieser Umwandlung aber stuft sich bei den drei pseudomorphen Körpern derart ab, dass sich das Produkt aus dem basischen Salz praktisch überhaupt nicht, das aus Doppelsulfat ähnlich schnell wie aus Lösung gefälltes Hydroxyd verändert, das aus einfachem Sulfat in der Mitte steht. Chemisch betrachtet, handelt es sich bei dieser Wasserabspaltung um eine jener Kondensationsreaktionen auf Grund der amphoteren Natur der Verbindung, wie sie bei so vielen Molekelvergrösserungen in der Chemie etwa der Polysäuren oder auch der Eiweisskörper und Zucker eine Rolle spielen. Die nähere Untersuchung hat jedoch ergeben, dass sie selbst bei diesem chemisch sehr einfachen Körper an bestimmte Dimensionen der Teilchen und eine gewisse Art ihrer Lagerung gebunden ist; eine rein chemische Reaktion hängt somit von einer feineren Differenzierung der dispersen Form der Stoffart ab und wird durch diese unter Umständen vollständig unterbunden, oder: verschiedene Formen des gleichen Stoffes verhalten sich wie verschiedene Verbindungen.

3. Am Beispiel des Kupferhydroxyds hat sich zugleich verfolgen lassen, wie sich die Form einer Substanz bei Reaktionen noch in einer andern Richtung auswirkt. Die Verbindung lässt sich auf elektrochemischem Wege in verschiedenen Spielarten erhalten, deren Beschaffenheit sehr genau durch die Strombedingungen und die Konzentration des Elektrolyten abgestuft und definiert werden kann. Gehen diese Formen nun in Reaktionen ein, bei denen sich unmittelbar aus dem festen Stoff neue feste Stoffe bilden, so führt dieser an den Ausgangskörper gebundene, also topochemische Vorgang zu Umsetzungsprodukten, die wiederum als Bildungsformen unterscheidbar sind. Die primären Formen werden dadurch in gewissem Sinne zu chemischen Individualitäten erhoben; sie stellen eine Art homologer Grundsubstanzen dar, von denen sich andere Körper ableiten, die ihre Eigenart von dem ursprünglichen Stoff erhalten. So sind einer bestimmten Hydroxydform bestimmte Formen von Oxyd, Oxydul, Sulfid und Sulfür zugeordnet; jeder Ausgangsform schliesst sich demnach eine gewissermassen formhomologe Reihe an — eine Beziehung, deren Bedeutung für natürliche Vorgänge wohl ohne weiteres einleuchtet, zumal wenn man den Zu-

sammenhang zwischen Reaktionsverlauf und Form im Auge behält, der eben beim Kupferoxyd berührt wurde und sich bei einer diesem chemisch nahe stehenden Substanz noch einmal von etwas anderer Seite zeigt.

Bleioxyd existiert in einer roten und einer gelben Form, von denen im gewöhnlichen Temperaturbereich die rote stabil ist. Gleichwohl können sich im flüssigen Medium bei Raumtemperatur beide Formen nebeneinander bilden. Es hat sich nun herausgestellt, dass das instabile gelbe Oxyd immer unmittelbar aus molekularer Lösung entsteht, wie es der Stufenregel entspricht, dass dagegen rotes auf nassem Wege nur erscheint, wenn primär ein ebenfalls instabiles Hydrat zur Ausscheidung gebracht wird, und zwar muss dieses in einem bestimmten Zerteilungszustande auftreten oder, allgemeiner und richtiger, es müssen bestimmte topochemische Reaktionsbedingungen herrschen: deutlich kristallisiertes Hydrat wandelt sich überhaupt nicht um, aus seinen dispersen Formen aber entsteht unter Überschlagung der sonst gewöhnlich sich einstellenden instabilen gelben Stufe direkt rotes Oxyd. Durch eine bestimmte Form wird also ein Widerstand gegen die Annahme des den Stabilitätsbedingungen entsprechenden Zustandes beseitigt und damit zugleich ein grösserer Energiebetrag aus der Reaktion zur Verfügung gestellt.

Die Form, mit der der Stoff in die Reaktion eintritt, vermag somit den Reaktionsverlauf zu lenken; sie hat die Funktion eines Apparates, der nicht nur die chemischen Kräfte der Substanz in bestimmter Richtung und mit bestimmter Ausbeute überträgt, sondern darüber hinaus wie eine Werkzeugmaschine auch die Ansatzweise der Kraftwirkungen zur Erreichung eines bestimmten Effektes regelt.

Ich möchte am Ende dieser Aufzählung experimenteller Erfahrungen meine chemischen Fachgenossen fragen: Liegt in diesen Wechselbeziehungen zwischen Form und Reaktion vielleicht eine Ursache dafür, dass manche künstliche und natürliche Produkte als chemische Individuen völlig identisch und doch nicht das Gleiche sein können? Ein Seitenblick auf den Kautschuk oder den Zellstoff und die Stärke liegt nahe. Ist es undenkbar, dass die Übereinstimmung herzustellen wäre, wenn es gelänge, topochemische Reaktionsbedingungen der gleichen Art, wie sie die Pflanze benutzt in die chemische Synthese einzuführen?

V.

Ich habe Ihnen Gesichtspunkte anzudeuten versucht, unter die sich, wie ich glaube, das Problem der Erscheinungsform der Stoffe einheitlich stellen lässt, und habe an einer Auswahl von Beispielen einige der Mittel gezeigt, deren sich die Natur bedient, um den Stoff mit und ohne Benutzung seiner Individualität zu gestalten. Erlauben Sie mir, diese Darstellung, durch die der ganze Gegenstand dem einen oder andern vielleicht als eine blosse Spezialitätensammlung erscheint, durch eine Bemerkung über die allgemeine Art seiner Bearbeitung sowie ihre Ziele und Grenzen abzuschliessen.

Das grundsätzliche Hilfsmittel sich aus der beängstigenden Mannigfaltigkeit der Formen zu retten, liegt in ihrer genetischen Betrachtung. Diese verweist auf die physikalisch-chemische Untersuchungsmethode, die sich der Vorgänge zu bemächtigen sucht und die Zustände nur als deren Vollendung wertet. Um mit ihr die natürlichen Formen zu erforschen, kann man, wie es die angeführten Beispiele beleuchten sollten, einen doppelten Weg einschlagen. Man kann verfolgen, wie die Materie aus den Zuständen molekularer Zerteilung und Unordnung normalerweise Formzustände aufsucht, und in diesen Vorgang nach und nach einzelne, die Stoffverteilung bestimmende und leitende Faktoren eingreifen lassen — gleichsam eine Fuge spielen, bei der ein Register nach dem andern gezogen wird. Es ist dies das allgemeinere und systematischere Verfahren und scheint als solches den unbedingten Vorzug zu verdienen; tatsächlich erreicht es aber infolge der grossen Zahl zu berücksichtigender Wirkungen bald die Grenze seiner Anwendbarkeit, wenn man über einzelne Störungsfaktoren hinausgeht. Infolgedessen führt es vielfach weiter, von einem bestimmten Objekt auszugehen und durch Analyse der bei seiner Bildung mitwirkenden Umstände das Verständnis gerade dieser Form zu suchen. Auch bei diesem Verfahren ist das Ziel ein allgemeines, sobald man sich dazu versteht, selbst in der vereinzeltsten Form eine Art Symbol zu sehen — nicht in dem Sinne eines Paradigmas, das Analoges vertritt, denn die Kombination von Wirkungen, die die eine Form hervorgebracht hat, wiederholt sich vielleicht kaum ein zweites Mal — sondern in dem einer Veranschaulichung für Mögliches.

Die analytische, chemisch und physikalisch anatomische Untersuchung eines geformten Produktes hat dabei meist nur so viel

Bedeutung, als sie gestattet, aus strukturellen Merkmalen rückwärts den Vorgang zu konstruieren, der zu ihm geführt hat. Man kann das Wesen natürlicher Formen der behandelten Art nicht durch Abtasten und Ausmessen erfassen und nicht durch eine chemische oder physikalische Formel wiedergeben. Die eigentliche Form ist der Inbegriff der Auswirkungen ihrer Bildungsfaktoren in der für den bestimmten Fall charakteristischen Verflechtung, oder auch: diese Verflechtung ist die Form selbst.

Die physikalische Chemie hat die Aufgabe und die Mittel, die Fäden des Geflechtes blosszulegen, die treibenden Kräfte und bedingenden Umstände, die bei der Formentwicklung mitsprechen, aufzudecken, ihre Gesetze zu ermitteln und die Richtung und Intensität ihrer Wirkungen zu bestimmen; aber auch sie kann keinen zusammenfassenden Ausdruck für eine Form liefern, vielfach schon deswegen nicht, weil es sich nicht um Gleichgewichtszustände zu handeln pflegt.

Die natürliche Form ist ein Objekt angewandter physikalischer Chemie, aber ihr eigentliches Problem ist schliesslich ein solches sui generis.

Der Theoretiker wird hiernach die Morphologie der Stoffe als eine Angelegenheit niedern Ranges ansehen; eine wichtige Funktion wird man ihr gleichwohl nicht absprechen können. Sie hat im Reiche der stofflichen Erscheinung die Mechanismen der Einzeleffekte zum Organismus ihrer Gesamtwirkung zusammenzuschliessen und die Materie von der Abstraktion der chemischen Formeln und Gleichungen zur Handgreiflichkeit ihrer Raumbeanspruchung zu begleiten. Denn die Ungleichgewichts- und Störungsformen zwischen Molekeln und Kristallen sind es eben, mit denen sich alles Bemühen um die Erkenntnis natürlicher Bildungen ebenso auseinanderzusetzen hat, wie das Tagewerk der praktischen chemischen Arbeit.

Ihre Verallgemeinerungen, gewissermassen die Gleichungen für gegebene Formen muss die Morphologie in typischen Formbildern suchen, die in der Vorstellung auf Grund gewissenhafter Analyse von Einzelerscheinungen zu entwickeln sind. In ihnen müssen die Sonderfälle mit ihren Abwandlungen aufgehen, und aus ihnen heraus muss die vorstellungsmässige Synthese für den konkreten Fall vollzogen werden. Hierbei wird ein gewisses „Formgefühl“ nicht entbehrt werden können, — wenn es nicht als allzu pathetisch empfunden wird: etwas von dem, was Goethe „exakte sinnliche Phantasie“

nennt, muss in die Betrachtung der Formen gebracht werden, wenn sie verstanden werden sollen.

Habe ich zu befürchten, dass dieser Rückzug auf Phantasie und Gefühl als ein Verzicht auf die elementarsten Grundsätze naturwissenschaftlicher Forschung verdammt wird? Ich glaube nicht, dass es mit Recht geschehen würde, wenn sie dort angerufen werden, wo nur die Wahl bleibt, durch Zahlen und Formeln Starrheit über eine bewegliche Wirklichkeit zu breiten und damit ein unrichtiges und einseitiges Bild der Natur entstehen zu lassen, oder sich zu begnügen, Einzelobjekte zu sammeln, zu beschreiben und abzubilden, wenn man sie doch nicht ignorieren kann.

Eine Morphologie der einheitlichen Stoffe aber, die vom gesicherten Boden physikalisch-chemischer Methodik aus zu klaren Formvorstellungen strebt, wird ihr Teil beitragen, die so unendlich komplizierte Formenwelt der belebten Natur auf die „Urphänomene" der Physik und Chemie zurückzuführen, die auch in ihr nach unser aller Überzeugung herrschen.

Verzeichnis von Arbeiten zur physikalisch-chemischen Morphologie

aus dem Anorganischen Institut der Universität Bern

I. Publikationen in Zeitschriften

Über Reduktion von Silberoxyd mit Wasserstoff und kolloides Silber. Z. Elektroch. Bd. 14, S. 55 (1908).

Über das Spiegelsilber (mit E. Fischmann). Lieb. Ann. Bd. 387, S. 86 (1912).

Versuche über Kondensation von Metalldämpfen (mit C. Ehlers). Z. Elektroch. Bd. 18, S. 373 (1912).

Über feine Metallzerteilungen (mit A. Noll). Z. Elektroch. Bd. 18, S. 419 (1912).

Das Harsilber (mit E. Eydmann). Lieb. Ann. Bd. 390, S. 340 (1912).

Der Einfluss der Gasart auf die Zerstäubung durch Kanalstrahlen. Z. Elektroch. Bd. 18, S. 837 (1912).

Über das schwarze Silber (mit Th. Toropoff). Z. Elektroch. Bd. 19, S. 161 (1913).

Über das durch Metalle gefällte Silber (mit W. Pfander). Z. Elektroch. Bd. 19, S. 169 (1913).

Über den Einfluss von Fremdstoffen auf die Abscheidung von Silber (mit H. Schacht). Z. Elektroch. Bd. 19, S. 172 (1913).

Die Abscheidung von Silber aus Lösung komplexer Salze. Z. Elektroch. Bd. 19, S. 181 (1913).

Das aus festen Verbindungen abgeschiedene Silber (mit E. Eydmann). Lieb. Ann. Bd. 398, S. 1 (1913).

Die Formen des Silbers. Koll. Zeitschr. Bd. 12, S. 285 (1913).

Über das graue und braune Arsen (mit Frank und Ehlers). Lieb. Ann. Bd. 400, S. 268 (1913).

Über die Umwandlung von Phosphordampf in der Glimmentladung (mit Frumkin) Z. Elektroch. Bd. 20, S. 110 (1914).

Über die Bildung von rotem Phosphor durch Oxydation von Phosphordampf (mit Frumkin). Ber. D. Chem. Ges. Bd. 47, S. 1088 (1914).

Über die Kolloidisierung des festen Thoriumoxyds (mit A. Frey). Z. Elektroch. Bd. 22, S. 145 (1916).

Über Kathodenvorgänge bei der Metallabscheidung (mit Vuilleumier). Z. Elektroch. Bd. 24, S. 300 (1918).

Über den graphitischen Kohlenstoff. Z. allg. u. anorg. Ch. Bd. 105, S. 34 (1918).

Zur Kenntnis des graphitischen Kohlenstoffs und der Graphitsäure (mit P. Hänni). Z. allg. u. anorg. Ch. Bd. 105, S. 121 (1918).

Über disperses Aluminiumhydroxyd. Z. allg. u. anorg. Ch. Bd. 105, S. 1 (1918).

Zur Kenntnis des Kalkmörtels (mit Walther). Z. Elektroch. Bd. 25, S. 159 (1919).

Über Entladungselektrolyse. Zur Kenntnis der elektr. Kolloidsynthesen. Z. Elektroch. Bd. 25, S. 309 (1919).

Zur Kenntnis von Elektrodenvorgängen (mit Stäger). Helv. chim. act. Bd. 3, S. 584 (1920).

Über die Natur der spontanen Strukturänderungen von Nickelniederschlägen. Helv. chim. act. Bd. 3, S. 614 (1920).

Zur Kenntnis topochemischer Reaktionen. Ueber die Bildung von Kohlenstoff an Kontaktsubstanzen (mit A. Naegeli). Helv. chim. act. Bd. 4, S. 45 (1921).

Zur Kenntnis topochemischer Reaktionen. Ueber Bildung und Verhalten von Kupferhydroxyd (mit Tüscher). Z. allg u. anorg. Ch. Bd. 111, S. 193 (1920).

Über Zersetzung von Kohlenwasserstoffen durch Kanalstrahlen (mit Frumkin). Ber D. Chem. Ges Bd. 54, S. 587 (1921).

Zur Kenntnis von Elektrodenvorgängen (mit Stäger). Helv. chim. act. Bd. 4, S. 821 (1921).

Über Darstellung disperser Substanzen in gasförmigen Medien (mit Tüscher). Z. Elektroch. Bd. 27, S. 225 (1921).

Über topochemische Reaktionsbeschleunigung und Formentwicklung (mit d'Almendra). Ber. D. Chem. Ges. Bd. 54, S. 1961 (1921).

Über die Struktur des elektrolytisch abgeschiedenen Nickels (mit H. Schödel). Helv. chim. act. Bd. 5, S 490 (1922).

Über den Einfluss der Wechselstromüberlagerung auf das Abscheidungspotential des Nickels (mit H. Schödel). Helv. chim. act. Bd. 5, S. 593 (1922).

II. Noch nicht anderweit publizierte Dissertationen

E. Nef, Zur Kenntnis der Verdampfungserscheinungen von Metallen. 1916.

E. Baumgartner, Zur Kenntnis der Bildungsformen elementarer Stoffe. 1915.

M. Wolff, Zur Kenntnis der Bildungsformen des Zinndioxyds. 1915.

A. Zellweger, Zur Kenntnis der Vorgänge bei der Mörtelbildung. 1921.

A. Sedelinovich, Über das topochemische Verhalten von Bildungsformen des Kupferhydroxyds. 1921.

W Bodmer, Zur Kenntnis der Kolloidsynthese durch Entladungselektrolyse.

R. Jahn, Beiträge zur Charakterisierung in gasförmigen Medien erzeugter disperser Substanzen. 1922.

M. Bobtelsky, Zur Kenntnis des Einflusses von Lösungsgenossen auf die Abscheidungsform von Calciumcarbonat. 1922.

W. Feitknecht, Zur Kenntnis des Kalkmörtels. 1922.

H. Roesti, Zur Kenntnis der Formen des Bleioxyds. 1922.

K. Steck, Ueber topochemische Kristallisation bei kolloiden Metallen 1922.

Ruth Marti, Zur Kenntnis des Aufbaus disperser Aggregationen. 1922.

M. Brunner, Zur Kenntnis der Kolloidsynthese durch Kristallabbau. 1922.

Nelly Neuenschwander, Zur Kenntnis topochemischer Reaktionen: Über Kolloidisierung und chemischen Angriff disperser Metalloxyde. (Soeben abgeschlossen.)

E. Krähenbühl, Zur Morphologie dünner Reaktionsschichten. (Soeben abgeschlossen.)

E. Welti, Zur Kenntnis der Formen des kolloiden Selens. (Soeben abgeschlossen.)

La Génétique expérimentale dans ses rapports avec la Variation et l'Evolution

Dr Arnold Pictet

Sommaire

INTRODUCTION

I. LA VARIABILITÉ A L'ÉTAT NATUREL ÉTUDIÉE EXPÉRIMENTALEMENT

La variabilité étudiée d'une année à l'autre

Variabilité accidentelle ou variabilité par somations — Variabilité permanente ou héréditaire. — Variabilité par mutations. — Mutations-variétés. — Mutations-espèces.

Races géographiques

Races géographiques-somations. — Races géographiques-mutations. — Races géographiques-mutations et somations. — Races géographiques-mutations devenues espèces. — Monstruosités-mutations.

II. VARIABILITÉ PAR CROISEMENTS

Homozygotie et hétérozygotie à l'état naturel. — Formes nouvelles créées par croisements. — Variabilité par hérédité „sex-linked".

CONCLUSIONS

Etat génétique de l'espèce. — Une conception rationnelle du mutationnisme.

Introduction

Mesdames et Messieurs,

Toute notion d'Evolution des êtres organisés, que ce soit celle du lamarckisme, du darwinisme ou du mutationnisme, implique forcément que chaque modification nouvelle survenant dans la caractéristique spécifique doit être héréditaire pour avoir une valeur évolutive. On ne saurait, en effet, envisager l'Evolution sans cette notion de l'hérédité.

D'autre part, le monde organisé se fait remarquer, partout, par une extrême variabilité des espèces, autant dans leur nature physiologique que dans leur structure morphologique, et personne

ne cherche plus à contester le rôle de cette variabilité. Sur ce point, tout le monde est d'accord, et il est certain, comme on l'a toujours envisagé, qu'à la base de l'Evolution se trouve bien la variation, en tant que ce soit une variation germinale et non une variation somatique.

Car le monde organisé, comme vous le savez, répartit sa variabilité sous ces deux formes, les variations individuelles, non héréditaires, ou *somations* — et celles-ci, par conséquent, n'ont jamais joué et ne joueront jamais un rôle dans l'Evolution — et les variations héréditaires ou *mutations;* c'est à ces dernières seulement qu'il y a donc lieu d'attribuer une valeur évolutive.

Rappelons que le plus souvent les somations sont le résultat d'une action du milieu extérieur; les mutations, au contraire, surgissent inopinément d'une lignée, indépendemment de cette action. Elles apparaissent d'emblée, le plus souvent à l'état de races pures, transmettant intégralement à leurs descendants leurs caractères nouveaux. Les mutations étant seules héréditaires, ce qu'a toujours prouvé l'expérience, le mutationnisme devient ainsi la seule théorie permettant de concevoir l'Evolution, alors que le lamarckisme, basé sur la notion très contestable de l'hérédité des caractères acquis, et le darwinisme font faillite sur ce point.

Et pourtant que de faits rigoureusement observés n'ont-ils pas élevé la théorie de Lamarck au rang de dogme? Certes, il n'est pas douteux qu'il existe partout une admirable homologie entre l'organisme et son milieu et rien ne semble mieux approprié à la réalisation des meilleurs avantages possibles que la structure de l'être en rapport avec son genre de vie. La palmure des oiseaux aquatiques, que nous pourrions citer comme exemple, constitue pour ces animaux, certes, un avantage incontestable; mais il n'a jamais été démontré que ce fut la vie dans l'eau qui ait créé cette disposition. Le seul fait que beaucoup d'autres oiseaux vivent dans l'eau depuis des siècles sans avoir jamais acquis de palmure démontre le contraire. Des constatations de ce genre sont nombreuses; il n'a pas davantage été prouvé qu'une fonction nouvelle ait jamais créé un organe nouveau.

Le darwinisme lui-même s'appuie sur un nombre de faits incontestables et il ne viendra à personne l'idée de nier que toute acquisition avantageuse que fait un organisme au cours de son développement, place celui-ci dans une meilleure situation que ses

congénères dans la lutte pour l'existence. Mais quelle peut être la valeur évolutive de ces acquisitions successives si elles ne sont pas héréditaires? Nulle; elles sauveront les individus qui en bénéficient, sans pour cela modifier leur espèce et à chaque génération le caractère devra se recréer.

Ce sont toute une série de constatations de ce genre et de contradictions entre l'expérience et les faits sur lesquels se basent le lamarckisme et le darwinisme [1] qui ont amené plusieurs naturalistes à cette conception du mutationnisme, remettant sur le tapis, en quelque sorte, la notion de l'Evolution des organismes par variations brusques.

Dans le cas de la palmure, le mutationnisme envisage d'une façon au moins aussi logique que le lamarckisme qu'un oiseau terrestre, étant né inopinément avec les pieds palmés, se soit orienté avantageusement vers le milieu aquatique. La zoologie expérimentale connait maintenant suffisamment de cas de ces modifications organiques brusques et héréditaires pour qu'il lui soit permis d'accepter le mutationnisme comme théorie explicative de l'Evolution.

L'étude de la variabilité des organismes a conduit au lamarckisme et au darwinisme; la recherche du patrimoine héréditaire de cette variabilité conduit au mutationnisme. C'est à ces recherches que j'ai consacré 22 années, en expérimentant principalement les Papillons et les Cobayes; nous passerons d'abord en revue, au moyen de projections lumineuses, les principaux résultats de ces expériences.

I. De la variabilité à l'état naturel étudiée expérimentalement

De tous les animaux, ce sont certainement les Lépidoptères qui varient le plus; il suffit de les observer à l'état naturel, de considérer une collection étendue et surtout de les collectionner soi-même, pour se rendre compte à quel point un nombre considérable d'entre eux s'écartent plus ou moins de la caractéristique spécifique. L'ordre des Lépidoptères fournit ainsi un matériel de choix pour l'étude de la variation et de l'hérédité; nous y avons trouvé

[1] Ce sujet a été traité à fond et très justement par M. E. Guyénot, professeur à l'Université de Genève, dans trois de ses publications: Lamarckisme et mutationnisme, *Revue gén. des sciences,* 15 novembre 1921; Mutations et Monstruosités — Le Préjugé de l'Adaptation, *Revue scientifique,* 12 et 26 novembre 1921. Les objections sérieuses que l'on peut faire au lamarckisme et les preuves en faveur du mutationnisme y sont nettement développées.

les données capables de nous amener à une conception rationnelle du mutationnisme, en étudiant la variabilité de ces insectes prise dans leur milieu naturel et en expérimentant le patrimoine héréditaire de cette variabilité.

La variabilité étudiée d'une année à l'autre

Lorsqu'on étudie périodiquement la faune d'une même région, on constate toujours de grands changements, d'une année à l'autre, dans la façon dont y est représentée la variabilité des espèces.

On remarque en effet que des formes aberrantes manquent certaines années, c'est-à-dire ne se rencontrent qu'accidentellement, et que d'autres se trouvent en permanence avec les individus de l'espèce type. Il y a donc une *variabilité accidentelle* et une *variabilité permanente.*

Voici quelques exemples de la première catégorie:

Dans la région du Jura gessien: Emydia striata était presque uniquement représentée en 1907, 1911 et 1912, par sa forme melanoptera qui faisait par contre défaut en 1908, 1909, 1910 et 1913. Au Parc national: les ab. thales et mediofasciata d'Argynnis pales en 1921, et pas en 1920 et 1922. A Genève: une petite forme foncée d'Abraxas grossulariata, en 1911 et pas en 1910 et 1912. Plusieurs formes aberrantes de Nemeophila plantaginis observées au Parc national pendant trois générations appartiennent à cette catégorie.

Parfois la variabilité accidentelle coïncide avec une année exceptionnellement anormale comme climat. Ainsi les ab. navarina et corythalia de Melitaea athalia, très abondantes à Genève en 1905, 1907 et 1911.

La *variabilité permanente* est tout aussi répandue. Exemples: alpina de Melitaea didyma, varia de Melitaea parthenie, merope de Melitaea aurinia, napaea d'Argynnis pales, eremita et nigra de Psilura monacha, grisea et concolor de Dasychira pudibunda; variétés et espèces vivent constamment ensemble.

D'autre part, un grand nombre de variétés permanentes sont seules à représenter l'espèce dans certaines régions; elles prennent alors la qualité de races locales ou géographiques, comme la var. pitho, d'Erebia pronoe, qui remplace complètement l'espèce en Valais, la var. alpina de Lasiocampa quercus, qui se trouve seule dans les Alpes.

Nous devons toutefois faire remarquer qu'il existe certaines variétés accidentelles qui sont permanentes dans une localité donnée. Ainsi, disparoïdes et bordigalensis qui sont seules à représenter leur espèce, Lymantria dispar, dans les pays secs et arides comme les dunes.

Le patrimoine héréditaire de ces trois catégories de variations a été nettement établi par nos expériences de croisements. Examinons-en les principaux résultats.

Variabilité accidentelle ou variabilité par somations. Ce genre de variabilité est tout ce qu'il y a de plus répandu à l'état naturel. Les expériences, excessivement nombreuses, que l'on a pratiquées dans le but de rechercher l'action des différents facteurs de l'ambiance, et dont nous avons donné la bibliographie par ailleurs,[1] ont démontré que la plus grande partie des formes que la systématique nomme aberrations et qu'une grande partie de celles qu'elle désigne sous le nom de variétés, sont accidentelles, créées par l'action du milieu. Sans entrer dans beaucoup de détails à ce sujet, il importe cependant de faire remarquer que très souvent ces variétés diffèrent énormément de la caractéristique pigmentaire de leur espèce, parfois au point de faire croire, à quiconque n'est pas prévenu, à des espèces différentes. Telles sont les formes polaris et atrebatensis de Vanessa urticae, belisaria et fischeri de V. io, testudo de V. polychloros, hygiaea de V. antiopa, qui sont produites uniquement par un fort abaissement ou une forte élévation de la température; certaines variétés confluentes de Zygènes, confluens d'Arctia caja, etc., appartiennent encore à cette catégorie. La démonstration que les caractères distinctifs de ces formes sont créés par la température, l'humidité et d'autres facteurs extérieurs, a été faite maintes fois.

Ainsi, une espèce donnée se trouve représentée à l'état naturel par toute une série de formes dont les caractères sont acquis par l'action du milieu. Ce type de variabilité est-il héréditaire?

La constatation que très rarement la variation accidentelle constitue un passage d'une espèce à une autre suffirait déjà à

[1] Arnold Pictet. Recherches expérimentales sur les mécanismes du mélanisme et de l'albinisme chez les Lépidoptères. *Mém. Soc. Phys. et Hist. nat. Genève.* Vol. 37, 1912, p. 111—278, pl. 1 à 5.

répondre négativement à cette question. En outre, ce qui tendrait également à la trancher dans le même sens, c'est que le plus souvent, une même forme accidentelle n'est pas représentée par un type unique, mais par plusieurs formes légèrement différentes les unes des autres. Ce dernier point ressort absolument des recherches que l'on a pratiquées sur l'action du milieu: Ainsi, si l'on chauffe une cinquantaine de chrysalides de Vanessa urticae à 42°, on en obtiendra une dizaine de polaris appartenant non pas à un type de variation unique, mais à dix types différents. L'étude de la variabilité à l'état naturel confirme la chose.

Mais c'est surtout l'expérimentation qui démontre la non-hérédité des caractères de la variation accidentelle. Il ne sera pas superflu de rappeler quelques-unes de nos expériences dans ce domaine:

En 1900, avec des Lymantria dispar dont nous avions nourri les chenilles, pendant quatre générations, avec du Noyer à la place de Chêne, nous avons déjà démontré la non-hérédité des caractères somatiques acquis. Une seconde démonstration de cette non-hérédité suivit deux ans après en élevant des chenilles de cette même espèce avec Onobrychis sativa et Taraxacum dens-leonis, puis en faisant agir l'humidité sur ses chrysalides. Plus tard, un élevage d'Abraxas grossulariata avec Evonymus japonica à la place de Ribes grossularia confirma ces données, de même qu'un élevage de Porthesia chrysorrhœa avec Prunus laurocerasus. Nos expériences sur l'origine des races géographiques amènent aux mêmes conclusions. Plus récemment, nous avons encore démontré la non-hérédité des caractères acquis dans nos rercherches de suppression de l'hibernation chez Lasiocampa quercus, Porthesia similis, Abraxas grossulariata et Dendrolimus pini. [1]

Parmi les variations accidentelles que nous avons signalées à titre d'exemple se trouve la petite forme foncée d'Abraxas grossulariata (ne pas confondre avec la race d'Angleterre, en tous points semblables, dont nous parlerons plus loin). Les enfants issus

[1] Arnold Pictet. Influence de l'alimentation et de l'humidité sur la variation des papillons. *Mém. Soc. phys. hist. nat. Genève,* vol. 35. 1905, p. 45—128, pl. 1 à 5. — Recherches démontrant la non-hérédité des caractères acquis. *C-R. Soc. phys. hist. nat. Genève,* vol. 37, 1920, p. 24—28. — Recherches sur l'origine de quelques races géographiques. *Arch. Sc. phys. et nat.,* vol. 43, 1917, p. 504 à 506. — Expériences de génétique avec Porthesia similis et d'autres Lépidoptères. *Bull. Soc. lépidopt. Genève,* vol. 4, 1921, p. 202—220.

du croisement entre deux individus de cette forme appartenaient de nouveau au type spécifique. Nous pourrions signaler d'autres exemples.

Dès lors il est démontré que la variabilité accidentelle n'est pas héréditaire; elle est composée uniquement de somations.

Variabilité permanente ou héréditaire. La persistance des individus de cette catégorie à côté de ceux de l'espèce type, ainsi que la présence de formes parfois intermédiaires, indique déjà que les caractères des variétés permanentes sont héréditaires. Cependant, comme preuve supplémentaire, nous pouvons citer les résultats de quelques-unes de nos expériences:

1. Croisements entre Psilura monacha et sa var. nigra. AF_1, la descendance comporte des individus monacha et des nigra.

2. Croisements entre Dasychira pudibunda et sa var. concolor, dont la descendance mendélise normalement.

3. Croisements entre individus de la var. sicula de Lasiocampa quercus, dont les descendants (élevés pendant 5 générations) sont restés des sicula.

Dès lors, il est acquis que les caractères de la variabilité permanente sont héréditaires.

Somations permanentes dans une localité donnée. Il est facile de démontrer que ces somations ne restent constantes que parce qu'elles vivent en permanence dans le climat qui a créé leurs caractères et que ces derniers se recréent à chaque génération, par le fait de la persistance de ce climat. Mais que l'on vienne à transporter les individus de ces somations dans un pays à climat normal, ils reprennent la caractéristique spécifique. Ainsi, en élevant en milieu sec (nourriture desséchée) des chenilles de Lymantria dispar de Genève, nous obtenons des disparoïdes comme ceux des dunes; par contre les enfants de disparoïdes authentiques, élevés dans un climat normal et convenablement nourris, redeviennent des dispar.

Variabilité par mutations. Existe-t-il une variabilité par mutations? Autrement dit, la variabilité permanente héréditaire, dont nous avons parlé, a-t-elle pour origine la naissance inopinée

d'individus s'écartant de leur espèce par un ou plusieurs caractères d'emblée héréditaires ?

Nous savons d'après ce qui précède que la variabilité héréditaire n'est jamais créée par l'action du milieu. A quoi, dès lors, attribuer son origine sinon à la mutation ?

On peut d'ailleurs prouver la variabilité par mutations de diverses manières, soit par l'expérience, soit par l'observation de certaines espèces très variables et de certains genres composés d'espèces voisines, ou bien, dans quelques cas, par l'étude morphologique des armures génitales. Nous arrivons ainsi à constater que, par mutations, peuvent se créer des formes nouvelles peu différentes de leur espèce et lui restant encore rattachées; ce sont les:

Mutations-variétés. Nous désignons ainsi les formes nouvelles nées par mutations de leur espèce, dont elles ne sont pas encore séparées.

Lorsqu'on élève en milieu absolument normal (par exemple en plein air) les chenilles de toute une ponte de Lépidoptères dont les parents appartiennent à un même type, on remarque que les papillons issus de ces élevages peuvent se rattacher à trois catégories:

1. Ils sont tous semblables à leurs parents; ceux-ci sont donc homozygotes. Ce sont surtout les individus de l'espèce type, principalement dans la plaine, qui ont une descendance de cette catégorie.

2. Ils comportent, à côté du type parental, un nombre plus ou moins grand de formes aberrantes, généralement connues à l'état naturel. Dans ce cas les parents, ou l'un des deux, sont hétérozygotes et c'est surtout avec des individus de régions montagneuses que l'on constate une descendance de ce genre.

3. Des formes aberrantes nouvelles, non cataloguées, différant de leurs parents par un ou deux caractères de peu d'importance systématique, c'est à dire insuffisants pour donner à ces formes la signification d'une autre espèce, surgissent parfois inopinément de ces croisements. Ces formes nouvelles sont héréditaires. Nous avons observé la naissance inopinée de petites formes nouvelles héréditaires dans des croisements de quelques papillons, dont en particulier Nemeophila plantaginis et Dendrolimus pini. Voici les résultats de ces expériences:

Un des caractères spécifiques de Nemeophila plantaginis est d'avoir les ailes supérieures traversées par des bandes sinueuses ininterrompues; nous avons trouvé que ce caractère est constant chez les individus qui volent dans le Parc national. En 1920, nous avons croisé trois couples de plantaginis pris à l'état naturel dans cette région et, pendant deux générations, tous les individus sont nés avec les bandes ininterrompues. En 1921, nous avons croisé deux autres couples, également pris à l'état naturel au Parc national, dont les descendants (F_1) se répartissent en une série de variétés, toutes représentées dans la région, et possédant toutes les bandes ininterrompues. AF_2, nous voyons surgir 3 mâles et 6 femelles dont les bandes sinueuses sont alors „interrompues", ce qui suffit pour donner à ces aberrations un aspect assez distinctif de la forme habituelle. Du croisement entre un de ces mâles et une femelle normale il nous est né seulement, à cause d'une mortalité larvaire assez forte, un petit nombre d'individus, parmi lesquels se trouvaient de nouveau 2 femelles à bandes interrompues.

Or, en 1922 seulement, nous avons trouvé pour la première fois au Parc national des plantaginis à bandes interrompues.[1]

D'un couple de Dendrolimus pini type, nous obtenons deux générations ne comportant que des individus de l'espèce type. A la troisième génération nous voyons naître une dizaine de papillons différant des parents par un caractère de coloration nouveau, voisin de la forme grisescens: cette forme nouvelle s'est montrée, dans un croisement, d'emblée héréditaire, récessive.[2]

Voilà donc deux cas, contrôlés expérimentalement, qui démontrent que la variabilité héréditaire, dans le cadre d'une même espèce, a pour origine des mutations. Nous nous en rendons d'ailleurs également compte par l'observation d'une série nombreuse d'individus d'une espèce variable, où l'on voit que la variabilité, bien que restant dans le schéma spécifique, s'y fait par adjonctions ou perte d'unités de caractères, les formes tendant à s'écarter graduellement du type, dans le sens plus et dans le sens moins, pour se rapprocher de l'espèce voisine.

---

[1] Cette mutation se rencontre parfois dans d'autres localités.

[2] D'un couple d'Arctia caja nous avons vu également surgir, à côté d'enfants normaux, quelques exemplaires d'une forme nouvelle caractérisée par la présence de bandes confluentes; mais nous n'avons pu déterminer l'hérédité de ce nouveau caractère.

L'examen anatomique des armures génitales, dans lequel s'est spécialisé le Dr. J.-L. Reverdin, concourt en outre à démontrer le même système de variabilité par le fait que l'on retrouve également dans ces organes une gradation semblable de petits caractères différentiels correspondant à la différenciation pigmentaire.

Mutations-espèces. L'espèce type donne donc naissance, par mutations, à des formes nouvelles, qui lui sont cependant encore rattachées et avec lesquelles elle peut avoir des produits féconds. Une espèce donnée pourra-t-elle, par le même mécanisme, donner naissance à des formes suffisamment différenciées pour que ce soient des espèces nouvelles?

Nos expériences, dans ce cas, n'ont pas une valeur aussi démonstrative que dans le précédent. Nous pouvons signaler cependant un croisement pratiqué entre des Lasiocampa quercus-spartii, d'Allemagne, et dont nous avons eu 4 générations; parmi les enfants de la F_2, tous appartenant plus ou moins au type spartii, nous avons vu surgir un mâle et une femelle se rapprochant énormément de la race d'Ecosse callunae (que nous démontrerons plus loin être une espèce distincte) et dont les descendants possédaient le même caractère. Deux autres individus semblables ont surgi à F_3

Parmi les Papillons nés d'une ponte de Mamestra dissimilis se trouvaient 3 individus pouvant se confondre avec l'espèce voisine, Mamestra oleracea, et parmi les individus issus d'un couple de Mamestra brassicae, il y en avait 2 pouvant être pris pour des Mamestra albicolon; dans les deux cas, ces espèces, bien que voisines, sont cependant distinctes.

A ces expériences, insuffisamment concluentes, nous en convenons, on peut ajouter le cas de l'espèce Pieris manni qui apparaît bien comme une mutation de Pieris rapae ou de Pieris napi.

On peut aussi trouver dans l'examen de certains genres, comme les Mamestra, les Erebia, les Lycaena, etc., une indication importante tendant à montrer l'origine des espèces par mutations d'une autre espèce. Ce sont d'ailleurs toujours des genres nombreux, composés d'espèces très variables, qui fournissent de tels arguments. La succession des caractères d'une espèce à l'autre, suivant le même mode que nous avons observé pour la formation des variétés-mutations, semble bien indiquer un mécanisme semblable pour la formation de nouvelles espèces.

On remarque en effet qu'une unité de caractères suffit par exemple pour faire passer telle forme d'un schéma spécifique dans un autre (voir Mamestra brassicae et albicolon). Dans d'autres cas, on se rend compte que l'adjonction de caractères s'est faite à une race, laquelle est déjà différenciée de l'espèce type: Lasiocampa quercus, première mutation en roboris (race) puis en callunae (espèce).

Enfin, on trouve encore de sérieux arguments en faveur de la spécificité par mutations dans l'étude des armures génitales, où la différenciation suit également la même gradation que pour les caractères de pigmentation.

Races géographiques

Nous avons vu que lorsque la répartition de la variabilité permanente se trouve en rapport avec une région déterminée elle prend la qualité de *races géographiques.* On admet que l'origine de ces races est due à l'action des facteurs du climat; cela est vrai pour un petit nombre d'entre elles, mais pas pour toutes, ainsi que le démontrent quelques-unes de nos expériences.[1]

Celles-ci ont été pratiquées pour la plupart avec des individus de Genève, sur les chenilles et les chrysalides desquels nous avons fait agir divers facteurs du climat de régions étrangères; les Papillons provenant de ces individus ont acquis de cette façon tout ou partie des caractères des races de ces régions. Les conclusions de ces recherches sont, en outre, que les races géographiques peuvent être de deux sortes, des somations et des mutations.

Races géographiques-somations. Elles rentrent dans la catégorie des somations permanentes dont nous avons déjà parlé et dont les caractères ne se maintiennent de générations en générations que grâce à l'action persistante, et renouvelée chaque année, du climat qui les a créés. Ce que nous avons dit de la variabilité par somations et de la non-hérédité de ses caratères, s'applique donc également ici.

Races géographiques-mutations. On connaît une grande quantité de races géographiques qui se distinguent de l'espèce type par des caractères héréditaires; appartenant à la catégorie des

[1] Arnold Pictet. Recherches sur l'origine de quelques races géographiques. *Arch. Sc. phys. nat. Genève,* vol. 43, 1917, p. 504—506.

variétés permanentes, ce sont en conséquence des mutations, s'écartant, par des caractères d'importance secondaire, de leur espèce à laquelle elles restent encore rattachées.

Nous avons entrepris quelques expériences qui démontrent pleinement l'hérédité des caractères des races géographiques. Voici les principales:

Lasiocampa quercus, var. sicula, qui remplace exclusivement l'espèce en Sicile; des individus de cette race que nous avons fait venir de Sicile et que nous avons élevés à Genève pendant 5 générations ont toujours conservé leurs caractères sicula. Il en est de même pour Lasiocampa quercus var. alpina, Lymantria dispar, var. japonica, Dendrolimus pini, var. montana et pour la petite race mélanisante d'Angleterre d'Abraxas grossulariata; des individus de ces races, élevés et accouplés à Genève pendant 2 et 3 générations, n'ont pas perdu leur caractéristique. D'autres exemples confirment encore ces données. En outre, nous voyons que les races géographiques-mutations ne perdent pas leurs caractères distinctifs dans un climat différant de celui de leur région.

Il y a lieu cependant de faire remarquer qu'en élevant des chenilles et des chrysalides de Genève dans un milieu artificiel imitant plus ou moins le climat où vivent telles races géographiques-mutations, nous avons créé des individus aberrants possédant absolument les caractères de ces races, mais alors sous forme de somations, c'est-à-dire non-héréditaires. C'est ainsi qu'avec des Lasiocampa quercus de Genève, nous avons fabriqué des sicula (Sicile), des roboris (Italie), des callunæ (Ecosse), des alpina (Alpes), des lapponica (Sibérie), des catalaunica (Catalogne); avec des Lymantria dispar, des disparina (Pays septentrionaux), des fumida et des umbrosa (Japon), des disparoïdes (Dunes), des major (Allemagne) etc. Plusieurs de ces *fausses races* ont été croisées; leurs descendants ont toujours repris la caractéristique des individus de Genève, tandis que seules les races authentiques ont toujours conservé leurs propres caractères. Les races créées artificiellement sont donc des somations.

Une de nos expériences démontre, en outre, que les races géographiques peuvent naître par mutations d'une autre forme de leur espèce: Pendant trois générations, nous avons élevé en milieu normal des Lasiocampa quercus type, de Genève, sans qu'ils se soient modifiés. A la 4^{e} génération nous avons vu surgir inopiné-

ment quatre individus se rapprochant énormément de la forme roboris d'Italie; ce nouveau caractère s'est montré héréditaire, sans que nous puissions dire que ce soit à l'état récessif ou dominant, vu une trop grande mortalité.

Races géographiques somations et mutations. Nous démontrons en outre que certaines races géographiques peuvent être représentées aussi bien par les deux systèmes de variation, somations et mutations, dont les caractères, identiques dans les deux cas, sont créés par le milieu et non héréditaires dans le premier système, et le résultat d'une modification germinale dans le second. Ainsi, Lasiocampa quercus-roboris est une mutation en Italie et une somation en Valais; Lymantria dispar-major, somation en Suisse et mutation en Allemagne, etc.

Ayant fait agir l'abaissement de la température sur des chrysalides d'Abraxas grossulariata, nous avons obtenu de cette façon des lacticolor parfaits, mais dont les descendants ont été de nouveau de purs grossulariata, alors que le lacticolor du nord de l'Allemagne, ainsi que l'a montré Doncaster, est une mutation. Il paraît que l'on trouve parfois accidentellement des lacticolor en Suisse, qui seraient alors des somations.

Races géographiques-mutations devenues espèces. Nous avons croisé: Lasiocampa quercus type, de Genève, par L. quercus-spartii d'Allemagne, et L. quercus-spartii par L. quercus-callunæ d'Ecosse, c'est-à-dire des formes considérées comme races, et ne pouvant pas, à l'état naturel, se rencontrer, vu leur éloignement géographique. Nous avons obtenu de ces croisements des hybrides, d'un caractère très particulier, s'écartant passablement du type parental et identiques dans les deux croisements. Or ces hybrides ont été inféconds, ce qui démontre que L. quercus, spartii et callunæ sont trois espèces distinctes, les deux dernières provenant de la première.

Les caractères de ces trois formes sont assez voisins de tous les Lasiocampa quercus connus pour qu'on les ait rattachées à la même espèce; il est vraisemblable qu'elles en dérivent puisque spartii et callunæ peuvent s'obtenir artificiellement, comme somations il est vrai, en agissant sur quercus type. Ainsi l'expérience, après avoir démontré que les races géographiques sont des mutations-variétés, établit encore qu'une espèce nouvelle, également par mutations, peut se créer à partir de l'une d'elles.

Monstruosités-mutations. Lorsqu'on élève des animaux d'une même espèce en grand nombre, il arrive parfois que certains individus, possédant des caractères de difformité qui les éloignent ainsi de la caractéristique spécifique, naissent inopinément de ces élevages; ces tares sont souvent héréditaires, soit immédiatement, soit, plus généralement, à la génération suivante.

Dans quelques-unes de nos lignées de Cobayes nous avons vu naître plusieurs petits possédant une déformation des doigts, des membres, souvent en corrélation avec une malformation buccale. Mais il ne nous a pas été possible de déterminer s'il s'agit là de caractères héréditaires; cependant dans d'autres cas (micropsie et anopsie chez les Cobayes, ectomélie ou absence de membres, etc.) l'hérédité de ces sortes de malformations a été bien établie. Certaines races de Drosophiles de Morgan, dont les caractères sont absolument héréditaires, comme celles à ailes tronquées, vestigiales et les aptères, peuvent être rangées dans cette catégorie des monstruosités-mutations, auxquelles les mutationnistes attachent une grande importance. Non pas qu'ils y voient la création d'espèces nouvelles, mais l'indication que des individus, présentant une variation de grande amplitude, peuvent inopinément surgir de lignées normales et transmettre leur variation à leurs descendants.

Nous nous bornons pour le moment à signaler, ici, ces sortes de mutations, simplement à titre d'arguments en faveur de la thèse que nous développons. On trouvera dans „Mutations et monstruosités" d'E. Guyénot[1] d'intéressants documents relatifs à cette question.

II. Variabilité par croisements

Dans certaines régions, principalement dans les régions montagneuses, les entomologistes collectionneurs désignent un certain nombre de formes aberrantes du nom d'hybrides; il est assez vraisemblable qu'ils n'ont pas tort, car, étant donnée l'immense variabilité des Lépidoptères, il est logique de penser que les croisements entre formes différentes sont nombreux à l'état naturel.

L'hybridation est d'ailleurs une source de variabilité importante dont il y a lieu de tenir compte dans la question de l'Evolution et que nous avons étudiée assez en détail.

---

[1] Voyez p. 135.

On sait, d'après les travaux de Standfuss, de Denso, de Federley et d'autres, que les caractères héréditaires des Lépidoptères, pour la plupart, du moins dans les cas observés, mendélisent normalent dans les croisements entre variétés différentes. La variabilité par croisements, cela va de soi, est un des éléments les plus actifs de l'évolution et du transformisme et elle amène à considérer, à l'état naturel, non seulement la multiplicité et la diversité des formes nouvelles (d'autant plus nombreuses que les parents diffèrent par un plus grand nombre de caractères) qui surgissent des croisements, mais encore le fait que ceux-ci divisent les individus composant les populations en „homozygotes“ et en „hétérozygotes“. Nous considérerons ces deux points de vue d'après les résultats des recherches de génétique que nous pratiquons avec des Cobayes, Mlle Ferrero et moi, depuis plusieurs années,[1] et d'après quelques croisements de Lépidoptères.

Homozygotie et hétérozygotie à l'état naturel. En ce qui concerne la répartition numérique, dans la descendance de deux formes, entre les homozygotes et les hétérozygotes, nous remarquons que si, dans les croisements entre parents différant l'un de l'autre par un couple de caractères les deux sortes naissent en nombre égal, dans tous les croisements où les parents diffèrent par plus de deux couples de caractères, le nombre des hétérozygotes est supérieur à celui des homozygotes. Cette observation est importante à retenir, car elle précise qu'à l'état naturel, où la variabilité comporte presque toujours plusieurs couples de caractères, la plus grande partie des individus que l'on y trouve sont des hétérozygotes. Cependant l'hétérozygotie est encore plus répandue dans les pays montagneux que dans la plaine; ces données sont d'observation courante en ce qui concerne les Lépidoptères et les plantes et cela se conçoit d'ailleurs puisque la variabilité est passablement plus développée dans les Alpes. Il nous est arrivé, par exemple, de trouver au Parc National des espèces exclusivement ou presque exclusivement représentées par des hétérozygotes, comme Nemeophila plantaginis.

[1] Arnold Pictet et Mlle Ferrero. Recherches de génétique dans des croisements de Cobayes. *C.-R. Soc. Phys. Hist. nat. Genève*, vol. 38, 1921, p. 32—37, 56—60, 97—100. Recherches sur l'hérédité mendélienne chez les Cobayes, *Arch. sc. phys. nat. Genève,* vol. 43, 1917, p. 436—439. Nous avons pu confirmer, dans ces recherches, toutes les données du mendélisme jusqu'au tétrahybridisme.

Dans cette région, cette espèce est représentée par un très grand nombre de formes diverses dont nous avons pu déterminer le patrimoine héréditaire pour douze d'entre elles. Chacune de ces douze variétés ont été croisées entre elles par couples ayant la même caractéristique et par couples appartenant à deux formes différentes. Dans les deux cas, à F_1, la descendance de chaque couple s'est montrée à peu près identique, composée de toutes les variétés du Parc National et de deux ou trois formes nouvelles. AF_2, parmi les divers couples que nous avons croisés, aucun individu ayant la caractéristique des grands-parents n'est ressorti à l'état homozygote pour le ou les caractères considérés.

Cette expérience témoigne de l'état hétérozygote extraordinairement compliqué où se trouvent les Nemeophila plantaginis de cette région. Il en est de même pour la plupart des espèces.

En outre, très fréquemment, il arrive que les variétés sont des hétérozygotes, c'est à dire qu'elles proviennent déjà d'un croisement précédent entre deux formes distinctes. En voici encore trois exemples démontrés expérimentalement.

Des croisements entre mâles et femelles de Psilura monacha type nous ont préalablement montré que ces individus, venant de pays de plaine, sont homozygotes. Nous croisons ensuite de ces monacha avec des Papillons de la var. nigra et nous obtenons, à F_1, assez exactement moitié de l'un et moitié de l'autre; en conséquence la var. nigra est hétérozygote.

La même expérience entre Dasychira pudibunda type et sa var. concolor, qui a produit à F_1 également moitié de l'un et moitié de l'autre, montre encore que la variété est hétérozygote.

Dans un croisement entre Lymantria dispar homozygote et sa var. japonica, les résultats ont donné, à F_1, en nombre à peu près égal, des dispar et des japonica aberrants, d'où nous tirons la même conclusion.

Or, ce qui montre l'intérêt de cette observation dans la question du mutationnisme, c'est que dans nos croisements de Cobayes, dans ceux de Morgan avec des Drosophiles, et dans la plupart des croisements d'où sont nés des monstruosités considérées comme mutations, ces dernières provenaient de parents hétérozygotes.

Nous avons constaté un fait identique dans le cas de la femelle blanche de Nemeophila plantaginis (voir plus loin) ainsi que dans

les cas de mutations-variétés et de mutations-espèces qui ont surgi de nos croisements, de même que dans nos recherches sur les races géographiques. On doit donc envisager que l'hétérozygotie, qui constitue l'état le plus répandu dans la nature, est un des éléments indispensables à la production de mutations.

Formes nouvelles créées par croisements. La diversité et la multiplicité des formes nouvelles qui naissent de croisements entre parents différents, surtout lorsque ceux-ci se destinguent l'un de l'autre par plusieurs couples de caractères, ressort de nos expériences avec les Cobayes et de toutes celles qui ont été pratiquées par les auteurs étudiant le mendélisme.

Lorsqu'un seul couple de caractères est en jeu, il ne se crée pas de formes nouvelles; il en surgit deux lorsque la différentiation des parents est faite par deux couples de caractères, six, pour trois couples, quatorze, pour quatre couples (sans compter, cela va sans dire, les deux formes parentales). On voit que le nombre des nouveautés est d'autant plus grand que les caractères en jeu sont plus nombreux.

Examinons la descendance d'un tétrahybride de nos lignées de Cobayes:

Elle comporte, à F_2, les deux types parentaux, le type hybride et treize formes nouvelles issues de la combinaison des divers caractères en jeu et, parmi ces 13 formes, l'une d'elles naît d'emblée à l'état de race pure, capable de faire souche en conservant définitivement ses caractères. Les 12 autres formes sont, à F_2, à l'état hétérozygote dans la proportion mendélienne; mais, à F_3, elles peuvent, si les croisements sont appropriés et suivant le degré de dominance de leurs caractères, donner naissance à une certaine proportion de petits, semblables à elles, et qui sont homozygotes et par conséquent la source d'autant de souches pures nouvelles. A F_4, de nouvelles combinaisons de caractères se feront, par croisements, entre l'une et l'autre des 13 formes, qui augmenteront encore le degré de variabilité de l'espèce.

On conçoit ainsi à quel point cette variabilité peut se multiplier et faire naître toute une série d'individus s'écartant plus ou moins

de la caractéristique spécifique et constituant autant de formes nouvelles héréditaires. Il n'est pas douteux que ces formes, par suite d'un isolement géographique facile à concevoir, puissent devenir des races géographiques et nous sommes ainsi amené à admettre deux mécanismes de création de ces dernières, celles issues de croisements et celles nées par mutations.

A côté de ces races pures, pouvant faire définitivement souche, il faut considérer toutes les formes qui restent à l'état hétérozygote; celles-ci, à mesure que les croisements se succèdent, acquièrent un patrimoine héréditaire de plus en plus complexe, source de combinaisons nouvelles multiples. Cela explique l'état hétérozygote excessivement compliqué des Nemeophila plantaginis dont nous avons parlé, ainsi que de toutes les espèces à variabilité multiple.

Variabilité par hérédité „sex-linked“. Ce genre de variabilité est, cela va sans dire, assez répandu chez les Lépidoptères où le dimorphisme de coloration est presque toujours la règle. On peut citer comme exemple vraisemblable d'hérédité sex-linked, le cas fréquent des femelles bleues de Lycènes; on sait que, dans ce genre, les mâles sont bleus et les femelles brunes; or, constamment, on trouve des femelles qui ont pris la couleur masculine et des mâles chez lesquels le bleu est parsemé de brun. Il est assez vraisemblable de voir là des exemples d'hérédité sex-linked, ainsi que dans d'autres cas, mis en évidence par nous (Lasiocampa quercus, Dendrolimus pini, etc.) où le mâle se trouve posséder certains caractères de coloration de la femelle.

L'exemple le plus frappant de variabilité par hérédité sex-linked chez les Lépidoptères est celui que Doncaster a démontré avec Abraxas grossulariata-lacticolor. Nous pouvons signaler un exemple analogue, d'après nos expériences avec Nemeophila plantaginis, dont l'espèce comporte des mâles avec le fond blanc et d'autres avec le fond jaune, des femelles jaunes, des roses et des rouges; il n'existe pas de femelles à fond blanc. Or, dans la descendance de deux variétés hétérozygotes (un mâle blanc et une femelle rouge) il a surgi, à F_2, une femelle blanche. Malheureusement nos essais de provoquer l'accouplement de cette femelle n'ont pas abouti.

Conclusions

Résumant ce que nous venons de voir, nous concluons:

Etat génétique de l'espèce. Toute unité spécifique se compose de trois sortes d'individus: les individus de l'espèce elle-même, ses mutations et ses somations.

Nous savons que les somations n'étant pas héréditaires n'ont aucune valeur évolutive.

Les individus de l'espèce elle-même constituent une race pure; ils sont homozygotes et ne donnent naissance, par mutations, qu'à des races ou des formes appartenant encore à l'espèce; la variabilité héréditaire ne naissant que par mutations, la seule façon qu'a l'espèce de se modifier, génétiquement parlant, c'est par croisement avec l'une des formes nouvelles ainsi constituées. Cependant, de ces croisements surgissent alors des individus hétérozygotes, étant des variétés, qui, à l'état naturel et conformément à la loi de Mendel, sont toujours en plus grand nombre que les homozygotes. Certaines espèces, comme celles que nous avons étudiées, ne sont représentées dans certaines régions que par des individus hétérozygotes.

Or, nous avons vu que ce sont ces derniers qui donnent le plus fréquemment naissance à des mutations de grande amplitude. On s'en rend compte d'ailleurs par la grande variabilité de formes mutantes que l'on observe dans les pays montagneux, où la disposition en vallées rapproche plus facilement les races les unes des autres, alors que dans la plaine la variabilité héréditaire est moins abondante. L'expérience confirme le fait.

Cependant, si l'on part du principe que l'espèce, à son origine, est pure, il faut admettre que des homozygotes peuvent également donner naissance à des formes nouvelles par mutations, autrement la variabilité héréditaire n'existerait pas. On connaît, en effet, certaines espèces, actuellement immuables, chez lesquelles la variabilité est nulle et qui, par conséquent, ne sont composées que d'individus homozygotes.

Il faut donc admettre deux sortes de mutations, suivant qu'elles se portent sur des individus homozygotes ou des hétérozygotes.

1. Dans le premier cas, les mutations sont des formes nouvelles également homozygotes, à variabilité restreinte, s'écartant peu du schéma spécifique et avec lesquelles l'espèce peut se croiser. La

faible variabilité, dans ce cas, est démontrée dans les croisements par la naissance d'hybrides très peu différents de leur espèce (nous en avons signalé quelques cas) et qui sont par conséquent le résultat d'un croisement entre deux homozygotes différant peu l'un de l'autre. De ces premières unions, naissent de nouvelles formes, dont le patrimoine héréditaire est alors plus complexe, et qui sont la source, par de nouveaux croisements, d'une hétérozygotie plus compliquée encore.

2. Les mutations qui atteignent les individus hétérozygotes témoignent d'un degré de complexité des caractères encore plus grand, et si, dans le premier cas, les formes nouvelles ne s'écartent pas du cadre spécifique, il apparaît, ici, qu'elles en sortent parfois par le fait que la mutation atteint également les organes génitaux de manière à créer une barrière sexuelle entre l'espèce et ces nouvelles formes. L'examen des armures génitales des Lépidoptères, dont nous avons dit quelques mots, fournit, à côté des résultats de nos expériences, de sérieux arguments en faveur de ce système de séparation spécifique.

Une conception rationnelle du mutationnisme. Dès lors le problème de l'Evolution peut se concevoir de la façon suivante:

L'espèce, d'abord homozygote et stable, reste dans cet état de stabilité jusqu'au jour où, par petites mutations, surgissent d'elle des individus possédant un caractère nouveau; de cette façon naît, graduellement, la variabilité individuelle héréditaire, composée d'homozygotes.

Les croisements surviennent alors et augmentent la complexité des caractères des individus qui naissent de ces croisements.

A cette époque, l'espèce originelle peut très bien disparaître sans que s'arrête son système d'évolution, puisque les éléments nécessaires à ce système sont suffisamment représentés par la variabilité héréditaire nouvellement constituée.

C'est, en effet, par croisements entre les premières variétés homozygotes constituées que naissent ensuite des hybrides (hétérozygotes) dont la descendance, à la suite de croisements répétés, et à la longue, tend toujours plus à remplacer les individus homozygotes par des hétérozygotes et acquiert ainsi une complexité de caractères toujours plus grande; de ces hétérozygotes à caractéristique héréditaire compliquée, enfin, surgissent les mutations spécifiques. Il est vraisemblable que la création des mutations ait pour origine

un système d'évolution des chromosomes, tel celui dont nous a parlé tantôt M. le professeur STRASSER.

En résumé, l'évolution des organismes suivrait les étapes suivantes: Espèce; par mutations, variabilité homozygote peu différenciée; puis, par croisements, variabilité hétérozygote de plus en plus complexe. L'espèce peut rester longtemps sous cette forme. Enfin, par mutations finales se portant sur les hétérozygotes les plus complexes, espèce nouvelle.

Une fois la nouvelle espèce constituée, les principes lamarckiens et darwiniens peuvent intervenir pour éliminer ou perfectionner celles des mutations qui ne sont pas aptes.

Mesdames et Messieurs,

Je ne sais plus quel auteur a dit que *la vérité de demain c'est l'erreur d'aujourd'hui.* Cet auteur n'était certes pas au courant de l'histoire et de l'évolution de la Science, qui, au contraire, progresse sans cesse de vérités en vérités, chacune d'elles étant un perfectionnement de celle qui en est l'origine. S'il est arrivé parfois que l'erreur d'un homme en ait orienté un autre vers une découverte heureuse, c'est toujours par cet apport constant, par la foule des chercheurs, de vérités successives, que s'échaffaude l'édifice merveilleux de nos connaissances actuelles.

La connaissance des faits positifs sur lesquels se sont basés le lamarckisme et le darwinisme ne fut jamais une erreur; mais, complétée par de nouvelles vérités, elle a fait surgir une nouvelle interprétation de ces faits. Dans tous les domaines scientifiques on constate la même évolution.

Untersuchungen über die Physiologie der Alpenpflanzen

Prof. G. Senn

Während wir über die Verbreitung und das Zusammenleben der Pflanzen unserer Alpen durch die unermüdliche Tätigkeit der schweizerischen Floristen in recht erfreulicher Weise unterrichtet sind, waren bis vor etwa sechs Jahren unsere Kenntnisse über die Physiologie der Alpenpflanzen, d. h. über ihre einzelnen Lebenserscheinungen, auf die Resultate der eigentlich nur orientierenden Versuche beschränkt, welche der Pariser Pflanzen-Physiologe Bonnier in den Jahren 1884 bis 1895 in Chamonix bei 1050 m ü. M. angestellt hatte. Denn die vielen Kombinationen und Spekulationen, die auf Resultaten von Laboratoriumsversuchen in der Ebene und von meteorologischen Messungen in den Alpen, sowie auf morphologisch-anatomischen Vergleichungen der Alpen- und Ebenenpflanzen aufgetürmt worden sind — alle diese Kombinationen waren im besten Falle unsicher, führten jedoch häufig auf Irrwege.

Nach Bonniers[1] Arbeiten erschien als erste wirklich physiologische Untersuchung an Alpenpflanzen im Jahre 1916 die im Botanischen Institut Freiburg in der Schweiz durchgeführte Arbeit von Josef Meier[2] über den osmotischen Wert der Alpenpflanzen, im gleichen Jahre, als auch vom Botanischen Institut Basel das Studium der Physiologie der Alpenpflanzen in Angriff genommen wurde.

Das Haupthindernis, das solche Untersuchungen bisher unmöglich gemacht hatte, bestand in dem Mangel eines leicht zugänglichen hochgelegenen Laboratoriums, in dessen Nähe man auch wohnen konnte. Da bot sich die günstige Gelegenheit, auf Muottas Muraigl im Oberengadin in einer Höhe von 2450 m, also ungefähr 300 m über der Baumgrenze, ein kleines Häuschen zu mieten, das

[1] Bonnier, Annales des Sciences Nat. Bot., 7e série, XX, 1895.

[2] Meier, J., Mémoires Soc. Fribourgeoise Sciences Nat., série bot. III 1916; auch Dissertation, Fribourg 1916.

sich ohne allzu grosse Kosten als Laboratorium oder wenigstens als wissenschaftliche Klubhütte einrichten liess. Dieses aus nur drei Räumen bestehende, aber mit Wasser und Elektrizität versehene Häuschen erlaubte mir nun in den Sommerferien der letzten sechs Jahre in Verbindung mit meinen Schülern die Lebensvorgänge der Alpenpflanzen einigermassen systematisch zu untersuchen. Die dort oben gefundenen Resultate wurden mit den in Basel erhaltenen verglichen und ergänzt. Da diese Studien gegenwärtig zu einem gewissen Abschluss gelangt sind, erlaube ich mir, über die Hauptergebnisse dieser Untersuchungen kurz zu berichten.

Dass das *Klima der alpinen Region,* d. h. der über der Waldgrenze gelegenen Zone, in welcher die Alpenpflanzen leben, letzten Endes durch die geringe Dichtigkeit der Luft bedingt ist, brauche ich hier nicht näher auszuführen. Die dünne Höhenluft kann viel weniger Wärme und Feuchtigkeit absorbieren als diejenige der Ebene, sie lässt deshalb während des Tages eine viel grössere Licht- und Wärmemenge bis zur Erdoberfläche und den sie besiedelnden Pflanzen gelangen, verhindert aber während der Nacht in viel geringerem Masse als die dichtere Ebenenluft die Wärmeabgabe an den Raum. Infolgedessen ist die Luft der alpinen Region an schönen Tagen kühl und trocken, der besonnte Boden und die darauf befindlichen Gegenstände, Steine und Pflanzen, dagegen warm, während nachts und besonders gegen den Morgen die Luft und die obersten Schichten des Bodens infolge der starken Ausstrahlung so kalt werden, dass auch im Sommer die Reifbildung keine Seltenheit ist, während sich der Boden wenige Stunden später wieder auf 20° C. und höher erwärmt. Somit zeichnet sich das Alpenklima durch starke Extreme aus, die allerdings durch Nebel und Regen, ja sogar durch Schneefall gemildert werden können.

Da nun die Lebensvorgänge der Pflanzen von äussern Einflüssen der Lichtintensität, der Temperatur, der Feuchtigkeit usw. in weitgehendem Masse abhängig sind, ist die genaue Kenntnis dieser Faktoren für die Beurteilung jedes physiologischen Versuchs von grösster Bedeutung. Diese äussern Bedingungen mussten deshalb während jedes Versuches bestimmt werden, und zwar in einer für die speziellen botanischen Zwecke besondern Weise, wie dies bei der Besprechung der einzelnen Versuche jeweilen angegeben werden wird.

Entsprechend der grundlegenden Bedeutung, welche der *Stoffwechsel* und speziell die Ernährung für alle Organismen hat, behandle ich die in dieser Richtung angestellten Untersuchungen zuerst.

Da die *Ernährung* durch die Wurzeln auf osmotischem Weg erfolgt, war es vor allem wichtig zu wissen, mit welchen osmotischen Kräften die Alpenpflanzen dem Boden das Wasser und die Salze zu entziehen vermögen. Wie ich schon eingangs erwähnte, hat uns darüber Josef Meiers Arbeit aus dem Jahre 1916 wichtige Anhaltspunkte geliefert. Durch plasmolytische Bestimmungen in der alpinen Region und im Laboratorium hat Meier festgestellt, dass die Grenzkonzentration der Salzlösung, welche notwendig ist, um in Blattzellen Plasmolyse hervorzurufen, also um dem Zellsaft so viel Wasser zu entziehen, dass sich das Plasma von der Zellulose-Membran ablöst, bei Individuen der gleichen Spezies aus den Alpen höher sein muss, als bei solchen aus der Ebene, z. B.

beim Wundklee (Anthyllis)

in der Ebene $0{,}_{40}$ Mol., in den Alpen $0{,}_{65}$ Mol.,

beim Löwenzahn (Taraxacum)

in der Ebene $0{,}_{40}$ Mol., in den Alpen $0{,}_{50}$ Mol.

Kaliumnitrat beträgt. Diese Steigerung ist auf die niedrige Temperatur zurückzuführen, der die Alpenindividuen ausgesetzt sind. Denn es zeigte sich, dass im Winter resp. bei niedriger Temperatur ganz allgemein höhere Salzkonzentrationen angewendet werden müssen als im Sommer, und zwar offenbar, weil bei niederer Temperatur der bei der Kohlensäure-Assimilation gebildete Zucker in geringerem Masse in die osmotisch unwirksame Stärke übergeführt wird, als bei mittleren und höheren Temperaturen. Infolgedessen sammelt sich in der Kälte der osmotisch wirksame Zucker in der Zelle an und erhöht die Konzentration des Zellsafts.

Obwohl ja das Wasser und in ihm die Salze mit den Wurzeln und nicht mit den Blättern aufgenommen werden, deren Grenzkonzentrationen Meier allein bestimmt hat, berechtigen andere Untersuchungen zu dem Schluss, dass auch die Wurzelzellen der alpinen Individuen einen höher konzentrierten Zellsaft besitzen, als die Ebenenindividuen, und darum imstande sind, eine grössere Saugkraft zu entwickeln und dem Boden das Wasser vollständiger zu entziehen, als dies die Ebenenpflanzen vermögen. Wenn es auch sehr erwünscht wäre, dass Meiers Untersuchungen mit Hilfe der

von Ursprung neuerdings ausgearbeiteten Methode nachgeprüft würden, glaube ich die Richtigkeit der aus Meiers Arbeit gezogenen Schlüsse auf anderm Wege nachgewiesen zu haben.

Um nämlich die Intensität der Wasserentziehung festzustellen, habe ich vom Massliebchen, Bellis perennis, und vom Habichtskraut, Hieracium Pilosella, je drei Ebenen- und drei Alpenindividuen in ein gleiches Gemisch von Humuserde und Sand in Töpfe gepflanzt, und ihnen, nachdem sie gut angewachsen waren, von einem bestimmten Moment ab kein Wasser mehr gegeben. Jeweilen, wenn die Blätter einer Pflanze welkten, wurde der Wassergehalt der Erde, in der sich die Pflanze befand, durch Wägung bestimmt. Diese Versuche ergaben, dass die alpinen Individuen in einem relativ trockenen Boden länger turgescent bleiben, als die aus der Ebene stammenden. Besonders deutlich und gleichmässig war dies bei Hieracium zu konstatieren, indem die drei Ebenenindividuen bei einem Wassergehalt des Bodens von durchschnittlich 5,4 %, die alpinen von 3,5 % welkten. Die alpinen Individuen können also dem Boden mehr Wasser entziehen und verfügen, den Resultaten Josef Meiers entsprechend, auch in ihren Wurzeln über eine grössere Saugkraft als die Ebenenindividuen. Die Frage, ob man deshalb die Alpenindividuen gegenüber denjenigen der Ebene als Trockenpflanzen bezeichnen muss, möchte ich zunächst noch offen lassen.

Sie wird eindeutiger durch die Versuche beantwortet, in welchen die *Wasserverdunstung* von Alpen- und Ebenenindividuen direkt bestimmt wurde.

Zu diesem Zwecke liess ich Pflanzen in weithalsigen Flaschen von zirka 30 cm^3 Inhalt, in welche feuchte Erde gefüllt war, zunächst gut anwachsen, dann wurde die Flasche rings um den Stengel der Pflanze hermetisch verschlossen, so dass der feuchte Flascheninhalt nur durch die Pflanze hindurch Wasser resp. Wasserdampf an die umgebende Luft abgeben konnte. Diese die Pflanzen enthaltenden Flaschen wurden dann so weit in den Boden eingegraben, dass Stengel und Blätter in natürlicher Höhe über ihn hinausragten, also den natürlichen Einflüssen der Luft- und Bodentemperatur, der Besonnung, dem Wind und der jeweilen herrschenden Luftfeuchtigkeit ausgesetzt waren. Alle diese meteorologischen Verhältnisse wurden gleichzeitig mit den Wägungen bestimmt: die Temperatur des Bodens mit gewöhnlichem Thermometer in 3 cm Tiefe, diejenige der Luft mit einem Assmann schen Aspirations-

Psychrometer in der Höhe der transpirierenden Blätter, in manchen Versuchen auch die Temperatur der Blätter selbst und zwar auf thermo-elektrischem Wege. Die Strahlung las ich an einem Schwarzkugel-Thermometer ab, das in luftleerem Raum eingeschlossen ist. Durch Subtraktion der Temperatur der Luft von der an diesem Instrument abgelesenen erhält man die sogenannte aktinometrische Differenz. Trotz zahlreicher Mängel, die dieser Methode anhaften, lieferte sie immerhin Vergleichszahlen, die um so brauchbarer sind, als alle mit demselben Instrument gewonnen wurden. Ausser den schon zu den Saugkraftversuchen verwendeten Pflanzen Hieracium und Bellis liess ich auch ausgesprochene Alpenpflanzen in den beschriebenen Flaschen transpirieren. Um aber die Intensität ihrer Transpiration überhaupt beurteilen zu können, wählte ich das Ebenenindividuum von Hieracium Pilosella als Vergleichsobjekt und exponierte von diesem jeweilen ebenfalls drei Exemplare gleichzeitig mit den zu untersuchenden Alpenpflanzen denselben äussern Bedingungen und wog alle Flaschen stündlich. Der Gewichtsverlust, der jede Stunde eintrat, entsprach der Menge Wasserdampf, welcher in dieser Zeit verdunstet worden war. Da die Gewichtszunahme, welche infolge der gleichzeitig stattfindenden Ernährung eintritt, nur Milligramme beträgt, während es sich bei der Transpiration um Dezi- und Zentigramme handelt, konnte die durch die Ernährung erzeugte Gewichtszunahme vernachlässigt werden. Die erhaltenen Werte wurden auf 100 cm^2 der einfachen Blattfläche umgerechnet. Ich begann die Versuche gewöhnlich vor Sonnenaufgang und setzte sie bis nach Sonnenuntergang, bisweilen auch während 24 Stunden fort.

Die Resultate der zahlreichen Versuchsreihen lassen sich folgendermassen zusammenfassen: Die alpinen Rassen von Hieracium Pilosella und von Bellis perennis, sowie die eigentlichen Alpenpflanzen, welche zur Untersuchung kamen, zeigten eine stärkere Transpiration als die Ebenenpflanzen, wenn die Temperatur der Luft, die die Pflanze umgab, höchstens + 6° C. betrug, gleichgültig ob die Lichtintensität stark oder schwach war. Bei starker Sonnenstrahlung trat die Überlegenheit der Alpen- über die Ebenenpflanzen besonders deutlich hervor. Bei sehr hohen aktinometrischen Differenzen, also in der völlig klaren Alpensonne, transpirierten die Alpenpflanzen selbst bei höherer Lufttemperatur ebenfalls stärker als die Ebenenindividuen. Letztere waren jedoch den Alpenpflanzen

in der Transpiration stets dann überlegen, wenn, wie dies in der Ebene die Regel ist, die Lufttemperatur relativ hoch, also über + 6° C. und die Sonnenstrahlung schwach war. Bei mittlern Konstellationen der äussern Faktoren können Alpen- und Ebenenpflanzen ungefähr gleich transpirieren, wobei sich immerhin der spezielle Charakter von Alpen- und Ebenenindividuen in Einzelheiten geltend macht, indem z. B. beim Alpenindividuum von Bellis der höchste Transpirationswert auf die Zeit von 10. 20 bis 11. 20 Uhr, beim Ebenenindividuum dagegen später, auf die Zeit von 11. 30 bis 4 Uhr nachmittags, fällt (1. Oktober 1921).

Alle diese Angaben gelten jedoch nur für alpine Sonnenpflanzen. Vergleichen wir solche mit Exemplaren derselben Spezies, welche im Schatten, z. B. am Nordfuss eines auf einem Nordhang gelegenen Felsblocks gewachsen sind, so zeigt es sich, dass diese sonst fast nie oder nur kurz besonnten alpinen Individuen, z. B. von Homogyne alpina, die sich schon in ihrer äussern Gestalt von den Sonnenindividuen derselben Spezies durch grössere Zartheit und durch ihren anatomischen Bau deutlich unterscheiden, von einer gewissen Besonnung an (aktinometrische Differenz über 10°) trotz ihrer Zartheit weniger transpirieren als die Sonnenpflanzen. Nur in schwachem Licht und bei einer Lufttemperatur von + 5° und darunter übertrifft die Transpiration der Schattenpflanze diejenige der Sonnenpflanze.

Je nach der maximalen Wassermenge, welche die untersuchten Alpen- und Ebenenpflanzen unter günstigen Bedingungen mit der Einheit ihrer Oberfläche in der Stunde zu transpirieren vermögen, lassen sie sich in einer Reihe anordnen, welche mit denjenigen Pflanzen beginnt, die pro Stunde 4—3 g transpirieren. Es sind dies Hieracium Pilosella alpin, Ranunculus glacialis und Homogyne alpina, Sonnenexemplar. Etwa in die Mitte dieser Reihe kommen die noch $1{,}_9$—$1{,}_2$ g transpirierenden Pflanzen zu stehen, nämlich Primula integrifolia, Arnica montana und Leucanthemum alpinum. Das andere Ende der Reihe wird durch die nur $0{,}_6$ — $0{,}_2$ g Wasser transpirierenden succulenten Rosettenpflanzen, Saxifraga Aizoon und Sempervivum montanum eingenommen. Höchst auffallenderweise rangiert hier auch der durchaus dünnblätterige Frauenmantel, Alchemilla vulgaris coriacea, welcher bisher allgemein für eine stark verdunstende und feuchtigkeitsliebende Pflanze gehalten wurde. Es muss allerdings betont werden, dass sie aus ihren Blattzähnen am

kühlen Morgen tropfbar flüssiges Wasser abgeben und dadurch vielleicht die schwache Wasserverdunstung ersetzen sowie die Wasser- und Salzaufnahme aus dem Boden erhöhen kann. Diese Überlegung löst jedoch das Rätsel nicht, weshalb diese dünnblättrige Krautpflanze ebenso wenig Wasserdampf abgibt, wie eine fettblättrige Rosettenpflanze. Immerhin muss betont werden, dass auch Alchemilla unter Umständen sogar mehr transpirieren kann, als das Ebenen-Hieracium, dann nämlich, wenn die Lufttemperatur 0° beträgt. Diese Tatsache warnt uns davor, die nach stündlichen Maximalleistungen aufgestellte Reihenfolge der Pflanzen als etwas absolut Gültiges aufzufassen. Die Grösse der Transpiration hängt vielmehr in weitgehendem Masse von den stark wechselnden meteorologischen Faktoren ab.

Allerdings transpirieren viele alpine Pflanzen unter günstigen Bedingungen so stark, dass man sie jedenfalls nicht zu den Trockenpflanzen oder Xerophyten rechnen kann, unter welchen man Gewächse versteht, die mit dem einmal aufgenommenen Wasser sehr haushälterisch umgehen. Es hat vielmehr den Anschein, als ob die Alpenpflanzen, wenigstens die Wiesenpflanzen unter ihnen, die Wasser- und Salzaufnahme sowie die Wasserabgabe an ihren natürlichen Standorten gewöhnlich unter günstigen Bedingungen vollziehen können.

Die Pflanze braucht jedoch zu ihrer Ernährung nicht nur Wasser und Bodensalze, die sie mit den Wurzeln aufnimmt, sondern auch organische Verbindungen, welche sie durch Reduktion der Luftkohlensäure mit Hilfe der Lichtenergie, durch die sogenannte *Kohlensäure-Assimilation,* gewinnt. Diesen Prozess hat meine Schülerin Frl. Dr. Henrici bei Alpen- und Ebenenpflanzen in Basel und im Engadin eingehend untersucht und ihre Resultate in zwei, 1918 und 1921, erschienenen Arbeiten[1] publiziert.

Auch sie stellte die Versuche im Freien an, während welchen die Pflanzen allerdings unter Glasglocken gehalten werden mussten, durch die ein langsamer Luftstrom mit normalem Kohlensäuregehalt geleitet wurde. Durch Analyse dieser Luft vor und nach dem Vorbeistreichen bei der Pflanze wurde festgestellt, wieviel Kohlensäure diese aufgenommen und verarbeitet hatte. Dass dabei die von ihr

[1] Henrici, M., Dissert. Basel 1918 und Verh. Nat. Ges. Basel, XXX, 1918, und ebenda XXXII, 1921.

selbst gebildete Atmungskohlensäure ebenfalls bestimmt und in Rechnung gezogen wurde, versteht sich von selbst. Die gewonnenen Assimilationswerte wurden auf die Einheit der Blattfläche, d. h. auf 100 cm^2 umgerechnet. Ausser der Lufttemperatur mass Frl. Henrici auch die Lichtmenge, welche während des Versuches zur Pflanze gelangte, und zwar mit Hilfe des Eder schen Gemisches, das aus Ammonoxalat und Sublimatlösung besteht. Die Menge des Kalomel, das sich bei Belichtung ausscheidet, gibt die Menge des Lichtes an, welche in einer bestimmten Zeit einwirkt. Als Versuchspflanzen verwendete auch Frl. Henrici jeweilen gleichzeitig alpine und Ebenenexemplare derselben Spezies, nämlich: vom Löwenzahn (Taraxacum), von Bellis perennis, vom Wundklee (Anthyllis Vulneraria) und von der Mehlprimel (Primula farinosa).

Sie ergaben, dass die Alpenindividuen bei Lufttemperaturen unter + 5° C. bei jeder Lichtintensität stärker assimilieren als die Ebenenindividuen, ebenso bei grosser Lichtmenge. War dagegen die Lufttemperatur höher als + 10° C., so assimilierte bei schwächerm Licht die Ebenenpflanze stärker, bei starkem Licht dagegen trotz höherer Lufttemperatur wieder die Alpenpflanze mehr. Ja selbst bei hoher Lufttemperatur von 20° und mehr verarbeitete das alpine Individuum z. B. von Bellis 1,76 mal mehr Kohlensäure als das Ebenenexemplar, wenn unter dem Einfluss des starken Lichtes 65 mg Kalomel ausgeschieden wurde, während bei gleicher Temperatur, jedoch der halben Lichtmenge die Ebenenpflanze mehr als doppelt so stark assimilierte. Diese Unterschiede machen sich umso deutlicher fühlbar, je höher der Standort der Alpenpflanze liegt. So assimilierte das hochalpine Phyteuma pedemontanum aus 3100 m Höhe nur in sehr starkem Lichte gut. Ähnlich verhielten sich Ranunculus glacialis, Primula integrifolia und Soldanella pusilla.

Ausser bei diesen alpinen Sonnenpflanzen wurde die Kohlensäure-Assimilation auch bei einigen alpinen Schattenpflanzen untersucht. Auch hier sind wie bei der Transpiration bei grossen Lichtmengen die Sonnenpflanzen den Schattenpflanzen weit überlegen; ja es kommt z. B. bei Veronica bellidioides vor, dass die Schattenpflanze in direktem Sonnenlicht überhaupt nicht mehr assimiliert, einfach weil das Licht zu stark ist. Als Merkwürdigkeit mag noch erwähnt werden, dass die Kohlensäure-Assimilation der Alpenpflanzen noch unter 0° stattfindet. Bei alpinen Sonnenindividuen z. B. beginnt sie bei einer Pflanzentemperatur von — 4° C., bei einzelnen

Schattenpflanzen sogar schon bei — 8°. Dieser Befund deckt sich übrigens mit den von JUMELLE[1] bei Flechten erhaltenen Resultaten.

Prinzipiell viel wichtiger als diese auffallend tiefen Temperaturminima sind jedoch die Reaktionen der Alpenpflanzen auf die Gewitteratmosphäre und auf Schneefall.

So assimilierte z. B. der alpine Löwenzahn bei einer Lufttemperatur von + 8° und einer Lichtmenge von 69 mg Kalomel

bei normaler Witterung	34,6 mg	Kohlensäure
vor Gewitter	46,9 „	„
nach Schneefall	24,8 „	„

Die gleichzeitig untersuchten Ebenenpflanzen assimilierten vor dem Gewitter nur halb so stark wie unter normalen Verhältnissen. Wie nachträgliche Laboratoriumsversuche mit ionenfreier, normal ionisierter und künstlich stark ionisierter Luft ergaben,[2] fördert ein beträchtlicher Ionengehalt der Luft die Kohlensäure-Assimilation der Alpenpflanze, wenn die Lichtintensität oder der Kohlensäuregehalt hemmender Faktor, d. h. so niedrig ist, dass auch durch Erhöhung des zweiten Faktors die Kohlensäure-Assimilation nicht mehr gesteigert werden kann. Da nun in der freien Luft immer viel weniger Kohlensäure enthalten ist, als die grünen Pflanzen schon bei diffuser Beleuchtung assimilieren könnten, wird dieser hemmende Faktor des Kohlensäuremangels durch die Ionisation der Luft teilweise aufgehoben, so dass die Assimilation z. B. von Primula farinosa um das dreifache gesteigert werden kann. Immerhin war auch bei Versuchen mit Ebenenpflanzen eine Förderung der Kohlensäure-Assimilation festzustellen, jedoch bei viel schwächern Lichtintensitäten, als dies bei den Alpenindividuen der Fall war. Somit darf wohl der Schluss gezogen werden, dass der fördernde Einfluss der Gewitteratmosphäre auf die Kohlensäure-Assimilation dem hohen Ionengehalt der Luft zuzuschreiben ist. Dass die Alpenindividuen bei mittlerer Lichtintensität so viel stärker darauf reagieren, als die Ebenenpflanzen, beruht offenbar auf der im allgemeinen viel stärkeren Ionisation der Alpenluft. In welcher speziellen Weise die Ionen auf die assimilierende Pflanze wirken, konnte allerdings noch nicht festgestellt werden.

Ob die starke Herabsetzung der Kohlensäure-Assimilation durch *Schneefall* eine Folge der Entionisierung der Luft ist, indem die

[1] JUMELLE, H., Revue générale de Bot. IV, 1892.

[2] HENRICI, M., Archives des Sciences physiques et naturelles, Genève 1921.

fallenden Schneeflocken die Ionen zu Boden reissen, ist wahrscheinlich, jedoch noch nicht einwandfrei festgestellt. Es wäre nämlich auch denkbar, dass die Veränderung der spektralen Zusammensetzung des Lichts, welche infolge des Schneefalls eintritt, die starke Herabsetzung der Kohlensäure-Assimilation bewirkte. Weitere Untersuchungen müssen zeigen, welcher von diesen Faktoren, oder ob vielleicht beide gleichsinnig, bei Schneefall die starke Verminderung der Kohlensäure-Assimilation der Alpenpflanzen verursachen.

Alle diese Versuche ergeben somit, dass die Kohlensäure-Assimilation der Alpenpflanzen durch eine ähnliche Kombination äusserer Faktoren, nämlich durch niedere Lufttemperatur und hohe Lichtintensität gefördert wird, wie ihre Transpiration. Vermutlich ist die weitgehende Übereinstimmung der Abhängigkeit von Transpiration und Assimilation von äusseren Einflüssen auf dieselbe Ursache zurückzuführen. Da jedoch die entscheidenden Versuche noch ausstehen, muss ich auf die Diskussion dieser Frage verzichten. Beide Vorgänge, Transpiration und Kohlensäure-Assimilation der Alpenpflanzen verhalten sich jedoch der Ionisation der Luft gegenüber verschieden, indem diese, wie einige von mir angestellte Versuche gezeigt haben, die Transpiration der Alpenpflanzen nicht beeinflusst.

Neben dem aufbauenden Stoffwechsel, der Ernährung, spielt bei den Pflanzen ebenso wie beim Tier auch der abbauende Stoffwechsel, die *Atmung* behufs Energiegewinn, eine wichtige Rolle. Über die Atmung der Alpenpflanzen hat Frl. Dr. Henrici nicht nur bei Anlass ihrer Assimilationsversuche, sondern auch speziell zur Aufklärung der Atmung, zahlreiche Versuche angestellt. Da diese aber noch nicht völlig verarbeitet sind, muss ich mich hier auf die Feststellung beschränken, dass auch die Atmung der Alpenpflanzen bei relativ niederen Temperaturen ihr Maximum erreicht und bei zunehmender Lufttemperatur, etwa über 20 Grad C., wenn die Atmung der Ebenenindividuen immer noch steigt, bereits eine merkliche Abnahme zeigt. Somit liegen auch für die Atmung der Alpenpflanzen die Temperaturgrenzen wesentlich niedriger, als bei den Ebenenpflanzen. Ein Einfluss des Lichts auf die Atmung konnte bisher auch bei den Alpenpflanzen nicht konstatiert werden.

Die bei der Ernährung gewonnenen organischen Stoffe und die bei der Atmung frei gewordene Energie setzt nun die Pflanze in den Stand, zu wachsen und neue Organe zu bilden. Über dieses *Wachstum* oder den *Formwechsel,* welcher die äussere Gestalt und den anatomischen Bau der Pflanzen bedingt, war bei denjenigen der alpinen Region bisher nur einiges Wenige bekannt. Ihr niedriger Wuchs liess sich allerdings ohne Schwierigkeiten mit den an Pflanzen der Ebene gewonnenen Resultaten von Laboratoriumsversuchen erklären. Diese hatten nämlich ergeben, dass die meisten Pflanzen des Tieflandes tagsüber infolge der hemmenden Wirkung des Lichts nicht oder nur wenig wachsen, sondern ihr Wachstum im Laufe der Nacht, also in der Dunkelheit vollziehen. Da nun in den Alpen am Tage das starke Licht, in der Nacht dagegen die niedrige Temperatur das Wachstum hindert, war der Zwergwuchs der Alpenpflanzen durchaus verständlich, umsomehr, als diese in das Tiefland versetzt, langstengelig werden, und als es gelang, auch Ebenenpflanzen den alpinen Zwergwuchs aufzuzwingen, wenn man sie tagsüber sonnig, nachts jedoch in ihren Töpfen im Eisschranke stehen liess. Nun lehrt aber die Beobachtung, dass nicht nur die Blütenstiele, sondern auch die beblätterten Stengel der Alpenflanzen auch im Alpenklima höher werden, als sie bei der Schneeschmelze waren, somit auch einmal wachsen. Zu welcher Tages- oder Nachtzeit dies aber geschieht, wusste man nicht. Ich führte deshalb auf Muottas-Muraigl Wachstumsmessungen aus und zwar mit dem Pfefferschen Auxanometer, welcher so eingestellt war, dass die Wachstumsgrösse jeder halben Stunde getrennt registriert wurde. Von den bisher erhaltenen Wachstumskurven möchte ich nur zwei Typen näher besprechen.

Diejenige von Hieracium alpinum zeigt an schönen, sonnigen Tagen das stärkste Wachstum in den Abendstunden, nämlich eine halbe Stunde vor und anderthalb Stunden nach Sonnenuntergang, wo der stündliche Zuwachs bis $0{,}8$ mm betragen kann. Auch von 20.45 bis 22.45 Uhr übersteigt der stündliche Zuwachs noch $0{,}2$ mm. Dann aber bleibt er bis 8 Uhr morgens unter diesem Wert und schwankt von 8—15 Uhr um 0 herum. In der Zeit der stärksten Besonnung stellt somit diese Alpenpflanze ihr Wachstum völlig ein. Dieses erfolgt, wie aus den gleichzeitig ausgeführten meteorologischen Beobachtungen hervorgeht, jeweilen dann in stärkstem

Masse, wenn die Lufttemperatur mehr, die actinometrische Differenz dagegen weniger als 10 Grad beträgt.

Von dieser Kurve, die ich in ähnlicher Form, allerdings noch mit einem zweiten Maximum gleich nach Sonnenaufgang, auch bei Gentiana punctata und Sempervivum montanum erhalten habe, weicht diejenige von Arnica montana wesentlich ab. Sie zeigt nämlich jeweilen dann einen starken Anstieg, wenn die Sonne der Pflanze Wärme und Licht zuführt. Im Gegensatz zu der vorhergehenden Gruppe von Spezies wird also Arnica durch hohe Lichtintensitäten in ihrem Wachstum nicht gehemmt und gleicht dadurch einer Gruppe von Ebenenpflanzen, z. B. dem kalifornischen Strandgewächs Eriogonun nudum.[1] Ihr stärkstes Wachstum erfolgt an schönen Tagen zwischen 10 und 14 Uhr, also bei Beginn der Besonnung, steht dann aber während der späteren Nachmittagsstunden und während der Nacht völlig still (17./18. August 1922). Die Empfindlichkeit des Wachstums für Temperaturunterschiede tritt bei Arnica besonders bei Wechsel von Besonnung und Bewölkung deutlich hervor. Auf jeden Sonnenblick von nur 20 Minuten Dauer reagierte die Pflanze (5. August 1922) mit einem starken Anstieg des Wachstums, der sofort nach Beschattung durch Wolken wieder aussetzte. Während somit Hieracium alpinum, Gentiana punctata und Sempervivum montanum dem Verhalten der meisten Ebenenpflanzen entsprechend, unter dem Einfluss intensiven Lichts ihr Wachstum einstellen, ist dasjenige von Arnica wie von Eriogonum gegen hohe Lichtintensitäten unempfindlich und erfolgt jeweilen dann, wenn die Lufttemperatur in der Umgebung der Pflanze 10° übersteigt.

Von diesen Unterschieden in der Empfindlichkeit gegen hohe Lichtintensität abgesehen, haben aber die Wachstumskurven aller bisher untersuchten Alpenpflanzen das gemein, dass sie nicht wie diejenigen der Ebenenpflanzen eine allmähliche Zu- und Abnahme des Wachstums zeigen und für den maximalen Zuwachs 12—15 Stunden brauchen, sondern dass jeweilen zu Beginn des Eintritts günstiger Bedingungen ihr Wachstum rasch ansteigt, um nach 3—4 Stunden ebenso rasch wieder zu sinken. Es handelt sich hier offenbar um eine Reizreaktion, die stark einsetzt und dann trotz Fortdauer günstiger Bedingungen sehr bald in mehreren Schwan-

[1] Lloyd, F. E., Transactions of Canadian Institute, Toronto, XIII. 1921.

kungen ausklingt, um bei wieder eintretender Reizung, die durch den Übergang von niederer zu höherer Temperatur (Arnica) oder von starkem zu schwachem Licht (Hieracium, Gentiana, Sempervivum) ausgelöst wird, neuerdings einzusetzen. Es sieht fast aus, als ob die Alpenpflanze auf der Lauer läge, um die erste kurze Gelegenheit zum Wachstum zu benützen, während der Ebenenpflanze die ganze Nacht, resp. der ganze Tag zum Wachstum zur Verfügung steht.

Über die Physiologie der *Bewegungserscheinungen* kann ich mich kurz fassen, da ich bisher nur einen einzigen, für die Alpenpflanzen allerdings typischen Fall untersucht habe. Jedem Alpenwanderer fallen die hübschen Spaliersträucher der Zwergweiden, des Zwergwacholders oder der mit rosaroten Sternen blühenden Alpen-Azalee auf, die sich den Steinen dicht anschmiegen. Um die Ursache dieses Verhaltens festzustellen, bog ich einige Äste der Azalea mit Hilfe starken Drahtes in der Weise aus ihrer natürlichen Lage, dass sie in etwa 2 cm Distanz parallel zur Felsoberfläche orientiert blieben. Schon nach etwa 8 Tagen hatte sich die Astspitze der Oberfläche des Steins genähert; sie hatte eine Wachstumskrümmung ausgeführt. Obwohl Laboratoriumsversuche über das Wesen dieses Vorgangs noch ausstehen, zwingen zahlreiche Beobachtungen an solchen Spaliersträuchern zu dem Schluss, dass es sich nur um eine Reaktion auf die vom besonnten Stein ausgestrahlte Wärme, also um positiven Thermotropismus handeln kann. Die für den Eintritt einer solchen Reaktion notwendigen Temperaturdifferenzen bestehen tatsächlich, wie thermoelektrische Messungen der Felsoberfläche zeigten; diese kann bis 6° wärmer sein als die Luft in 3 cm Distanz. Diese thermotropischen Bewegungen setzen die Spaliersträucher in den Stand, sich den warmen Felsen anzuschmiegen, wo sie für ihr Wachstum viel günstigere Bedingungen finden als in der freien, kalten Luft.

Fragen wir nun, welche gemeinsamen physiologischen Merkmale die Alpenpflanzen auszeichnen, so ist zunächst festzustellen, dass ihre Stoffwechselvorgänge, Wasser- und Salzaufnahme, sowie die Kohlensäure-Assimilation durch niedere Temperatur und hohe Lichtintensität gefördert werden. Allerdings darf man nicht übersehen, dass auch in den Alpen neben Sonnen- auch Schattenpflanzen

vorkommen, bei denen auch das Optimum des Lichts tief liegt. In direktem Gegensatz hierzu erfordern ihre Wachstumserscheinungen eine gewisse Wärmemenge und werden, wenigstens bei einem Teil ihrer Vertreter, durch hohe Lichtintensität gehemmt.

Irgend einen Einfluss einer Erschwerung der Wasseraufnahme konnte ich bei Alpenpflanzen bisher nicht konstatieren. Denn die grössere Saugkraft ihrer Wurzeln muss nicht notwendig als Anpassung an Trockenheit aufgefasst werden. Dagegen spricht schon die Niederschlagsmenge und die in tieferen Bodenschichten unserer Alpen stets herrschende Feuchtigkeit. Die grössere Saugkraft scheint vielmehr die notwendige Folge der niederen Temperatur zu sein, welche durch Verhinderung der Stärkebildung in den Zellen der Alpenpflanzen eine Anhäufung des bei der Kohlensäure-Assimilation gebildeten Zuckers erzeugt und dadurch die Konzentration des Zellsafts und gleichzeitig die Saugkraft der Zellen erhöht. Die Trockenpflanzen der alpinen Region scheinen deshalb in dieser nicht entstanden, sondern in sie eingewandert zu sein. So dürfen wir die Mehrzahl der Alpenpflanzen jedenfalls nicht zu den Trockenpflanzen oder Xerophyten zählen. Ihre bisher als xerophil aufgefassten morphologisch-anatomischen Charaktere sind keine ökologischen Anpassungen, sondern notwendige Folgen der niederen Lufttemperatur und der hohen Lichtintensität; diese Faktoren sind es, und nicht die Trockenheit, welche ihre Wachstums- und Gestaltungsvorgänge bedingen. Darauf weist zum Teil auch der überaus geringe Chlorophyllgehalt der alpinen Sonnenpflanzen hin, wie er für Gewächse stark insolierter Standorte auch anderer Höhenlagen charakteristisch ist.

Endlich liesse sich auch die Frage aufwerfen, mit welchen andern biologischen Gruppen die Alpenpflanzen auf gleiche Linie gestellt werden können. Mangels an Kenntnissen über die Physiologie von Pflanzen anderer Gegenden lassen sich allerdings hierüber nur Vermutungen äussern. In bezug auf die Temperaturverhältnisse würden die alpinen mit den nordischen Pflanzen am meisten Ähnlichkeit erwarten lassen; wenn die *Menge des Lichts* und nicht seine *Intensität* es ist, welche den Charakter der Alpenpflanzen bedingt, so könnte die Länge des nordischen Sommertages die starke Insolation des nur zirka 15stündigen Alpentages aufwiegen. Da aber die Luft in den Polargebieten, wenigstens in geringen Meereshöhen, viel dichter ist als in den Alpen, werden nicht nur

die Licht-, sondern auch die Temperaturverhältnisse in den Polarländern viel geringere Schwankungen aufweisen, was sich voraussichtlich auch im physiologischen Verhalten der Pflanzen wiederspiegelt, weshalb völlige physiologische Übereinstimmung zwischen alpinen und nordischen Pflanzen nicht erwartet werden kann.

Da jedoch das Klima in bedeutenden Höhen über dem Meeresspiegel in allen Erdteilen die charakteristischen Merkmale unseres Alpenklimas aufweist, werden sich vermutlich auch die Pflanzen anderer Hochländer durch ähnliche physiologische Eigentümlichkeiten auszeichnen, wie diejenigen der Alpen, wenigstens da, wo wie bei uns, die Niederschläge reichlich bemessen sind. In hochgelegenen Steppen und Wüsten dagegen, welche gegen regenbringende Winde allseitig abgeschlossen sind, ist jedenfalls auch eine alpine Xerophyten-Flora zu erwarten, die unsern Alpen fast völlig fehlt.

So werden also die Pflanzen der Höhen, wie dies schon in Schimpers „Pflanzengeographie“ geschehen ist, auch in Zukunft in einer besondern Gruppe untergebracht werden müssen, die sich in keine andere aufteilen lässt, und zwar schon deshalb nicht, weil innerhalb der alpinen Region die Standorte der Pflanzen und die klimatischen Bedingungen ausserordentlich grosse Unterschiede aufweisen. Diese Mannigfaltigkeit der meteorologischen Bedingungen, welche ja auch einen Grund für die grosse Mannigfaltigkeit der Pflanzenformen unserer Alpen bildet, die die Pflanzengeographen zu immer erneuten Studien anregt, diese Mannigfaltigkeit und die grossen Gegensätze der meteorologischen Bedingungen sind es letzten Endes, welche uns auch die physiologischen Untersuchungen an Alpenpflanzen bisher so interessant gemacht und uns auch für die Zukunft völlig neue und vielversprechende Perspektiven eröffnet haben.