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: 95 (1912)

Rubrik: Vorträge, gehalten in den beiden Hauptversammlungen

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: 02.10.2025

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

Eröffnungsrede

des Jahrespräsidenten

und

Vorträge

gehalten

in den beiden Hauptversammlungen

Leere Seite
Blank page
Page vide

Eröffnungsrede des Jahrespräsidenten

von

Dr. P. Bonifatius Huber (Altdorf)

Hochgeehrte Versammlung!

Ein kleiner Fleck Erde ist es, ein kleines Land, das Ihnen heute seine Gastfreundschaft darbietet. Es freut uns aber von Herzen, dass Sie der Einladung unserer jungen urnerischen naturforschenden Gesellschaft so zahlreich Folge geleistet haben. Zum dritten Male tagt unsere Gesellschaft auf dem Boden Uris, 1842 in Altdorf und 1875 in Andermatt, und heute, nach 37 Jahren, haben wir die Ehre, zum dritten Male Sie im Lande Tells zu begrüssen.

Ich entbiete Ihnen daher den Willkommengruss der urnerischen naturforschenden Gesellschaft, der Behörden des Kantons und der Gemeinde Altdorf und der ganzen Bevölkerung.

Allerdings nicht in grosse Paläste, wie Sie dieselben anderwärts gefunden, werden Sie hier eingeführt. Bescheiden sind unsere Mittel, bescheiden unsere Verhältnisse; aber was wir Ihnen zu bieten vermögen, das bieten wir Ihnen und zwar aus ganzem, vollem Herzen. Der herrliche Kranz der Berge, welcher den Versammlungsort umrahmt, die hohen Zinnen, vergoldet vom Glanz der Morgensonne, und das Bewusstsein, dass einst von diesen Bergen der erste Ruf der Freiheit erscholl, das Bewusstsein, auf der klassischen Erde, auf der Muttererde, der Wiege des Schweizerbundes zu tagen, und die Ueberzeugung,

dass aufrichtige treue Herzen Ihnen entgegenschlagen: diese mögen Ihnen ersetzen, was unserem bescheidenen Programme abgeht. Und so hege ich die frohe Hoffnung, es mögen Ihnen die Tage Ihres Verweilens in Altdorf, Tage sein, an die Sie noch lange in freudiger Erinnerung zurückdenken.

Sie sind aber hierher gekommen, nicht etwa nur um frohe Feste zu feiern, sondern diese Tage sind auch Tage der Arbeit. Denn es gilt, wie das wissenschaftliche Programm aufweist, teils uns mit dem gegenwärtigen Stand einzelner wissenschaftlicher Zweige vertraut zu machen, teils zahlreiche wissenschaftliche Mitteilungen entgegenzunehmen, welche von der Schaffenskraft der Mitglieder Zeugnis geben und einem jeden von uns als Ansporn zu neuen Arbeiten und frischem Schaffen dienen sollen. Dass in der Vergangenheit auch der Kanton Uri seine Vertreter in einzelnen Zweigen der Naturwissenschaften gehabt hat, sollen meine Worte in *möglichster Kürze zeigen*. Der erste, von dem wir etwas näheres wissen, war zwar kein an einer Hochschule ausgebildeter Mineraloge; aber er hat doch der Mineralogie durch sein Forschen und Sammeln grosse Dienste geleistet.

Es war Kaplan Georg Meyer, geboren zu Andermatt, am 12. Juni 1775. Er besuchte zunächst die Schulen seines Heimatkantons, studierte sodann Theologie in Rom. Ende des 18. Jahrhunderts war er kurze Zeit Kaplan in Göschenen, von wo er, von den Franzosen verfolgt, in die Berge fliehen musste. Von 1800 bis 1848 war er sodann Kaplan in Hospental und von da ab lebte er als Jubilar in seinem elterlichen Hause zu Andermatt bis zu seinem Tode, am 21. September 1871. Er wurde also 96 Jahre alt.

Kaplan Meyer war im eigentlichen Sinne ein grosser Naturfreund. Diesen seinen Hang zur Natur betätigte er besonders auf dem Gebiete der Mineralogie. Meyers Lieblingsbeschäftigung war das Bergsteigen und das Mineraliensammeln. Von der ganzen Gotthardgruppe war ihm kein Berg zu hoch, kein Hang zu steil. In alle Schluchten und Höhlen drang er ein, um dort verborgene Schätze hervorzuholen. Und so zu sagen nie kehrte er heim, ohne seine Reisetaschen mit Mineralien ange-

füllt zu haben. Es ist unzweifelhaft, dass er der beste Kenner der verschiedenen Gotthardmineralien war. Nicht zu verwundern ist es daher, dass er als Mineraloge mit vielen Fachgelehrten in Verbindung war, so mit Kenngott, Kranz, Wieser und Escher von der Linth.

Meyer legte besondere Gotthardsammlungen an von je 120 verschiedenen Stücken, um dieselben vorzugsweise an Schulen abzugeben. « Jammerschade ist es, so schreibt mir sein Grossneffe, Herr Talammann Isidor Meyer, dass die grosse, wertvolle, von ihm selbst angelegte Mineraliensammlung, die die seltensten und ausgesuchtesten Exemplare der im Gotthardgebiete vorkommenden 120 Sorten enthielt, gleich nach seinem Tode ausser Landes verkauft wurde ». Jedenfalls schulden wir Kaplan Meyer die vollständigsten Gotthard-Mineraliensammlungen, und gerade dadurch, dass nach seinem Tode diese Sammlungen in die Hände von Fachgelehrten gelangten, hat er der Wissenschaft grosse Dienste erwiesen.

Bekannter und vielseitiger als Forscher und als Sammler als Kaplan Meyer, war dessen Zeitgenosse *Franz Joseph Nager*, Donazians, geboren am 10. September 1802, in Andermatt, gestorben daselbst am 6. Juni 1879. Wohl hatte sein Vater ihn für die kaufmännische Laufbahn bestimmt; aber als echter Sohn der Berge hatte er ein anderes Ideal. Nicht hinaus in die fremden Länder, nicht hinüber über die Meere wandte sich sein Sinn. Unwiderstehlich zogen den Jüngling die heimatlichen Berge und Alpentriften an. Dort suchte er nach mineralogischen und ornithologischen Schätzen. Davon gaben Zeugnis seine umfassenden und weitbekannten Sammlungen. Nicht blos alle im Kanton Uri vorkommenden Vögel, sondern auch eine grosse Zahl Zugvögel, die im Herbst ihren Weg nach dem Süden suchten, erlegte er und stopfte sie selber aus. Daher ist er auch in der heutigen Generation noch wohl bekannt unter dem Beinamen « der Vogelstupfer ».

Wegen seiner grossen Kenntnis der Wirbeltierfauna des Gotthardmassivs sicherte sich Nager einen bleibenden Namen unter den Naturforschern. Dr. C. Mösch in Zürich schrieb folgendermassen über ihn: « Kein Alpentier war ihm fremd; er

kannte den Standort jedes Vogels; er studierte dessen Lebensweise und besonderen Gewohnheiten, und wo in einem zoologischen Kabinete sich eine Lücke in der Reihe der alpinen Vögel befand, war man zu deren Ausfüllung unbedingt auf Nager angewiesen. Manche Eidechse und Fledermaus, manche Schnee- und Waldmaus hat der Zoologe von Fach durch Nagers Mithilfe der Wissenschaft bekannt gemacht. Er beobachtete den Herbst- und Frühlingszug der Vögel und wusste viel Neues und Interessantes darüber zu erzählen ». Nach Prof. Kaufmann von Luzern, kannte Nager 142 Vogelarten, welche sich kürzere oder längere Zeit im Urserntale aufhalten. Darunter finden sich nur etwa 10 Arten, welche das ganze Jahr verbleiben; die sind: der Steinadler, der Uhu *(Bubo maximus)*, die mittlere Ohreule, der rauchfüssige Kauz, der Rabe, die Krähe, das Birkhuhn, das Schneehuhn und das Steinhuhn. Im Sommer kommen zu diesen noch eine beträchtliche Zahl Zugvögel, die wohl die ersten Sommerfrischler in diesem reizenden Alpentale waren. Ausserdem zählt Nager nicht weniger als 34 Arten Wasservögel und gegen 50 Arten Singvögel auf, welche auf ihrem Zuge den Gotthard berühren und dort kurze Rast machen.

Aber nicht blos die Vogelwelt war es, welche Nagers Aufmerksamkeit auf sich zog; in die verborgensten Schlupfwinkel drang er ein, um dort nach seltenen Säugetieren zu suchen. Nach Tschudis « Tierleben der Alpenwelt » entdeckte so Nager drei neue Mäusearten, und zwar die Schneemaus *(Hypodaeus nivalis)*, die Nagersche Feldmaus *(Hypodaeus nageri)* und die rötlichbraune Feldmaus *(Hypodaeus rufescente fuscus)*, welcher letztere in der Talsohle des Urserntales ziemlich häufig vorkommt.

Nager liebte es auch, Alpentiere lebend zu erhalten und zu beobachten. Nicht selten waren die Gemse, das Murmeltier und der Steinbock seine aufmerksam besorgten Pflegekinder. Den Steinbock, der zu seiner Zeit am Gotthard schon ausgestorben war, suchte Nager wieder einzubürgern. Als in den 40ger Jahren des vorigen Jahrhunderts, nach 50jähriger Abwesenheit, auf dem Monte-Rosa wieder einige Steinbockfamilien erschie-

nen, reiste Nager eigens dahin zum Studium dieses Tieres an Ort und Stelle. Die Frucht dieser Reise war zunächst eine Abhandlung betitelt: «Ueber die Steinböcke am Monte-Rosa». Sodann fasste er den Entschluss, diese schönsten Alpentiere wieder in seiner Heimat einzubürgern. Wirklich erzählt auch Tschudi, dass Nager zu diesem Zwecke eine kleine Herde von acht Stücken auf einer Alp beieinander hielt. Die Verwirklichung seines Planes scheiterte aber einerseits an den zu grossen Anforderungen an materiellen Mitteln, andererseits aber daran, dass die Tiere Krankheiten verfielen, von denen sie offenbar in den Schneeregionen frei blieben.

Mit Meyer und Nager sind die Naturforscher aus dem Urserntale zu Grabe getragen worden. Wir wollen aber hoffen, es werde unsere junge urnerische Gesellschaft den Grund legen zu erneuten Forschungen in jenen hohen Regionen.

In dieser Hoffnung steigen wir hinab in die tieferen Gelände des Reusstales, wo uns im letzten Jahrhundert besonders zwei Männer, zwei Vertreter der Naturwissenschaften anziehen: Dr. med. Karl Franz Lusser, von Altdorf, und Prof. Anton Gisler, von Bürglen.

Karl Franz Lusser war geboren zu Altdorf, am 7. März 1790, gestorben ebendaselbst am 21. August 1859. Seine Jugendzeit fiel in jene sturmbewegten Tage, als ganz Altdorf den Flammen zum Opfer fiel und als die fremden Heere der französischen Revolutionszeit das ganze Land überzogen. Von seiner Studienzeit ist mir leider nur soviel bekannt geworden, dass er in Bern Medizin und auch Naturwissenschaften studiert hat. Lusser ist ohne Zweifel der bedeutendste Naturforscher des Kantons Uri. Von Beruf Arzt, betätigte er sich doch in verschiedenen andern Wissenschaften; er war ein Mann von universeller Bildung. Im Jahre 1834 erschien aus seiner Feder in der Sammlung der «Gemälde der Schweiz»: «Der Kanton Uri historisch, geographisch und statistisch geschildert». Darin schildert er den Kanton mit seinen Bergen, Flüssen und Seen, die Flecken und Dörfer, sowie die Burgen und Klöster, das Volk mit seinem Charakter mit einer Ueberzeugung und Wärme, wie nur einer

schreiben kann, der alles gesehen, der in dem Lande und mit dem Volke selbst aufgewachsen ist. Und ich gehe nicht irre, wenn ich behaupte, dass dieses 127 Seiten enthaltende Büchlein heute noch das beste ist, was geographisch über den Kanton Uri geschrieben worden ist. Schon im Jahre zuvor (1833) erschienen in Zürich: « Ansichten der neuen St. Gotthardstrasse von Flüelen bis Lugano, gezeichnet von Kälin und Suter, nebst einer Beschreibung von Lusser M. D. » Ueberraschend ist es, wie ausführlich und doch in knapper Fassung hier Lusser die Geschichte der Fahrbarmachung des Gotthardpasses, Klima, Vegetation, Mineralogie und Geographie des Landes, den Charakter, die Sitten u. s. w. des Volkes beschreibt.

Dr. med. K. F. Lusser
1790—1859

Nicht unerwähnt lassen darf ich, dass Lusser auch als Historiker hervortrat. Davon zeugen seine beiden Werke: « Geschichte des Kantons Uri von seinem Entstehen als Freistaat bis zur Verfassungsänderung vom Mai 1850 », und ferner: « Leiden und Schicksale der Urner während der denkwürdigen Revolutionszeit, vom Umsturz der alten Verfassung im Jahre 1798 bis zu deren Wiederherstellung im Jahre 1803 ». Auch war er ein vortrefflicher Zeichner, wie seine noch vorhandenen Zeichnungen und Aquarelle beweisen. Doch diese kurzen Andeutungen mögen genügen; denn wir wollen ihn besonders als Naturforscher betrachten.

Schon während seiner Universitätsstudien zeigte Lusser einen besonderen Hang zu den Naturwissenschaften. Damals begann er mit seinen später sehr reichhaltigen mineralogischen und botanischen Sammlungen. Er wurde darin bestärkt durch Fachmänner wie Meissner und Wittenbach in Bern. Dass Lusser schon angesehen war als Naturforscher geht daraus hervor, dass er als 24jähriger Arzt (1814) durch Vermittlung von Pro-

fessor Schinz in Zürich die ehrenvolle Einladung erhielt, den Prinzen von Neuwied als Naturforscher nach Brasilien zu begleiten. Nur auf das entschiedene Veto seiner besorgten Mutter wies er das Anerbieten ab, so verlockend dasselbe auch für einen jungen Mann war.

Zu besonderer Freude gereicht es mir feststellen zu können, dass Lusser schon im zweiten Jahr des Bestehens unser Gesellschaft, d. h. im Jahre 1816, unter den Mitgliedern aufgezählt wird. Er war es auch, der die Jahresversammlung in Altdorf vom Jahre 1842 präsidierte. Dass er ein eifriges und arbeitsames Mitglied war, beweisen seine Arbeiten.

In den Denkschriften unserer Gesellschaft vom Jahre 1829 finden wir eine seiner Arbeiten betitelt: «Geognostische Forschung und Darstellung des Alpendurchschnitts vom St. Gotthard bis Arth am Zugersee» (verfasst 1826). Daran reiht sich als erster Anhang eine Mitteilung über: «Beobachtung über das Vorkommen des Porphyrs auf der Nordseite der Alpen», und als zweiter Anhang: «Neuester Bericht über den im Herbst des Jahres 1826 auf Oberkaesern entdeckten Porphyr» (Brief an Dr. Ebel). In den Denkschriften vom Jahre 1842 befinden sich ferner: «Nachträgliche Bemerkungen zu der geognostischen Forschung und Darstellung des Alpendurchschnitts vom St. Gotthard bis Arth am Zugersee».

«Sechs Sommer, so schreibt Lusser, habe ich die freie Zeit, welche meine Berufsgeschäfte mir übrig liessen, zu geognostischen Beobachtungen benützt, unzählige Stellen aus dem Quertale vom Gotthard bis Arth und Luzern besucht, sowohl in der Tiefe des Tales als auch auf den Gipfeln der Berge, was häufig mit grossen Beschwerden und nicht ohne Gefahr geschah; allein die Freude, immer etwas neues zu finden, und eine belehrende Sammlung zusammenzubringen, lohnte mich hinlänglich dafür». Und das Resultat dieser Forschungen, das er, aufgefordert und aufgemuntert von Dr. Ebel und Leopold von Buch, veröffentlicht hat, bildet in der Folgezeit die Grundlage der geologischen Forschungen im Gebiete des Gotthards, an beiden Ufern der Reuss und des Urnersees.

Wie die grösste Zahl der damaligen Geologen, wie de Saus-

sure, Escher von der Linth, Ebel u. a., huldigt auch Lusser der Ansicht, dass der Granit das älteste Gebilde der Erde sei, auf welches alle anderen Gesteine abgelagert worden seien, und dass eine ungeheure Ueberflutung stattgefunden habe, verbunden mit gewaltigen Umwälzungen der Gebirge. Ihm, der die grossartigsten Schichtenstörungen täglich vor Augen sah, mochte der damals von den grössten geologischen Autoritäten in Schwung gebrachte extreme Plutonismus ganz besonders einleuchten. Jedoch folgt er noch einer eigentümlichen Richtung, indem er die Erde als einen Kristall auffasst.

« Oft, sagt Lusser, wenn ich von hohen Bergspitzen meines Vaterlandes die vielen Täler und Berge überschaute und deren Zerrissenheit betrachtete, dachte ich darüber nach, wie sich dies alles wohl gebildet haben möge. Ich las darüber die so häufig sich widersprechenden Ansichten Anderer und entwarf mir folgendes Bild, das mich bisher noch am meisten befriedigte:

« Der kristallinische Urfels, als Kern unserer Alpen, war anfänglich viel höher und zusammenhängender und ragte als eine Kante des ungeheuren Polyeders, der mutmasslichen Grundform unserer Erde, über das Urmeer empor. In dieser Zeit bildeten sich die ungeheuren Kalkfelsen oder Flötzgebirge, welche die Zentralkette der Alpen zu beiden Seiten wie einen Mantel umhüllen und auch einen so beträchtlichen Teil der Gebirge Uris ausmachen. »

« Nach und nach, fährt Lusser fort, verloren sich die Wasser des Urmeeres. Die ins Trockene kommenden Kanten des Erdkristalls spalteten sich durch Kontraktion der erkaltenden Urmasse und trocknenden Flötzgebilde oder durch Erdbeben und Entweichen vulkanischer Dämpfe aus dem im Innern noch glühenden Kristalle. Später, bei der ungeheuren Sündflut, wo die Meeresfluten von Süden hereinbrachen und ihren Weg nach Norden durch die erstaunlichsten Verwüstungen bezeichneten, wurden viele der genannten Spalten zu breiten Tälern erweitert, Berge unterwühlt, zusammengestürzt oder getrennt und neue Täler in der Richtung der Flutung eingerissen und

mit dem weggeschwemmten Schutte neue Hügel und Berge aufgetürmt, wovon überall unläugbare Denkzeichen vor Augen liegen. Nach dieser allgemeinen Ueberflutung, wovon die meisten der so häufigen Findlinge von Granit, Gneiss und andern Felsarten des Urgebirges herrühren, erlitt freilich das jetzige Urnerland, wie mehr oder weniger alle Länder, in den Jahrtausenden, seit das Meer in seine jetzigen Grenzen zurückgetreten ist, noch manche Umgestaltung und der Zahn der Zeit wird fortfahren, die gegenwärtigen Gestalten zu benagen ».

So dachte und schrieb vor mehr als 80 Jahren der Entdecker der Windgällenporphyre, ein Mann, der in wissenschaftlichem Verkehr gestanden mit den bedeutendsten Geologen seiner Zeit. Sie wissen, meine Herren, dass seitdem in der Geologie manches anders geworden. Daraus erwächst aber den Trägern der alten Ideen kein Vorwurf. Vielmehr wollen wir uns freuen, wenn nach einer weitern Anzahl von Jahren ein ähnlicher Fortschritt zu verzeichnen ist.

Nicht bloss auf geologischem Gebiete hat Lusser seine naturwissenschatlichen Kenntnisse verwertet. Auch die Fauna hat ihm Entdeckungen zu verdanken. Wie die « *Fauna helvetica,* Wirbeltiere von Professor Schinz », in den Denkschriften unserer Gesellschaft vom Jahre 1837 berichtet, entdeckte Lusser die « grosse Hufeisennase », ein Raubtier aus der Familie der Handflügler, welche damals in Uri allein vorgekommen war. Sodann gelang es ihm in den Besitz zweier Exemplare des Zwergkauzes zu gelangen, dessen Vorkommen in der Schweiz vorher als unsicher galt; ferner entdeckte er das mittlere Waldhuhn, den sog. Rackelhahn, einen Bastard von Auerhahn und Birkhuhn.

Wie sehr Lusser in den Augen der damaligen Naturforscher geachtet dastand, beweist auch, dass Desor in Neuenburg einem *Spatangus* aus dem Iberg den Namen Lussers beilegte. Dr. Oswald Heer nannte einen *Lathyrus* (Blatterbse), der in Realp wächst, zu Ehren Lussers: *Lathyrus Lusseri* (= *L. pratensis L. f. Lusseri* (Heer), und Dr. Laggertaufte eine Rose « zu Ehren, wie er in einem Brief an Prof. Gisler sagt, des für

die Wissenschaft zu früh verstorbenen Dr. Lusser », *Rosa Lusseri.*

Nicht zu verwundern ist es daher, dass Dr. Lusser, auf Verwendung Dr. Nieburs, im Jahre 1822 zum Mitglied der Senckenbergischen Naturhistorischen Gesellschaft zu Frankfurt a/M. ernannt wurde und bald darauf auch, auf Betreiben Desors, in Neuenburg die gleiche Ehrung erhielt.

Lusser war ein Mann von seltener Energie und Arbeitskraft; dies beweisen seine Schriften die er uns hinterlassen hat, die veröffentlichten und die noch im Manuskript erhaltenen. Um so mehr müssen wir darüber staunen, als alle seine umfassenden naturwissenschaftlichen Forschungen nur einen Teil seiner Nebenbeschäftigungen bildeten.

Auf allen seinen Wanderungen ins Gebirge war es ihm eine Freude, auch jüngere Männer, die er vielfach als Begleiter mit sich nahm, für die gleiche Wissenschaft zu begeistern. Einer dieser wissensdurstigen Jünglinge war der nachmalige *Professor Anton Gisler,* ein würdiger Schüler Lussers.

Anton Gisler war am 20. Januar 1820 in Bürglen geboren. Seine Gymnasialstudien bestanden nur in Privatstunden. Trotzdem war er bald, nachdem er das Lyzeum in Freiburg bezogen hatte, einer der Ersten; eine reiche Begabung für die verschiedensten Fächer war ihm von Gott beschieden worden. Damit verband er einen eisernen Fleiss. Die Folge war die glückliche Vollendung seiner philosophischen und theologischen Studien. Dennoch gestattete ihm seine Bescheidenheit nicht, hoch zu streben. Die kleinste Kaplanei der Zentralschweiz, Riemenstalden, wählte er als Wirkungskreis. Einen Ruf als bischöflichen Kanzler nach Chur wusste sein direkter geistl. Obere zu verhindern, was Gisler letzterem übrigens nie vergass, und nur mit Bitterkeit sprach er davon. Dies hatte aber auch seine guten Früchte, indem er dem Kanton Uri erhalten blieb. Wider seinen Willen und nur nach langem Sträuben nahm er eine Kaplanei in Altdorf an mit einer Professur an der Kantonsschule. Als Lehrer war er nun am richtigen Platze. Obwohl er, als Klassenlehrer, fast sämtliche

Fächer erteilen musste, so entledigte er sich seiner Aufgabe doch sehr gut und gewissenhaft. In der Mathematik besonders war er, bei der ihm eigenen Klarheit und Geistesschärfe, ein mustergültiger Lehrer, konnte aber auch einem armen Sünder, der mit der Kreide in der Hand unsicher und unschlüssig an der Tafel stand, bei all seiner Güte wahre Dolchblicke zuschleudern. Er verstund es, nicht nur anzuspornen, sondern auch Liebe und Vertrauen in seinen Schülern zu erwecken.

Dennoch war die Heimstätte Gislers nicht die Schulstube, sondern Gottes freie Natur, nicht das Archiv, wo Aktenstaub und ein Berg trockener Blätter ihm das Auge getrübt und den Atem gehemmt hätten, sondern die Alpen mit ihrem saftigen Grün, die Berge mit ihren sonnigen Gipfeln, ihren trotzigen Felskuppen, aus deren Bändern und Spalten des Schöpfers Weisheit und Güte dem Forscher lieblich entgegenblickte.

Prof. Anton Gisler
1820—1888

Deshalb benützte Professor Gisler alle seine Mussestunden, um seinem Lieblingsfache, der Naturkunde, besonders der Botanik nachzugehen. Angespornt dazu wurde er schon in Freiburg, besonders aber zu Hause durch Dr. Lusser, der seinen Heimatkanton kannte wie kein zweiter. In der Botanik wurde Lusser, wie er selber gestand, von seinem Schüler Gisler bald überflügelt. Eifrig durchstreifte Prof. Gisler den Kanton in allen Richtungen, die Botanisierbüchse in den weiten Taschen seines langen Rockes verborgen, die Bürgler- und Eggberge mit Rossstock und Roffaien, die Schattdorferberge mit Bälmi und Mengihörnlein, alle die Bergketten und Verzweigungen des Schächentals, die Giebelstöcke bis zur Surenenecke, die Bauer- und Isentalerberge bis zum Urirotstock, das durch seinen Frauenschuh bekannte Bockitobel, das Erstfeldertal mit seinen kühnansteigenden Spit-

zen; dann in der Ferienzeit das Maderaner- und Fellital, das Meyental, die Göscheneralp, von da hinunter ins liebliche, damals noch stille Urserntal, wo der Botaniker noch ruhig seinen Lieblingsblumen nachgehen konnte, ohne vom Knall der Gotthardkanonen aufgeschreckt und verscheucht zu werden.

Dass nicht die Sucht nach Sport es war, welche Gisler hinauftrieb auf all die Höhen Uris, sondern dass es die Liebe zur Botanik war, beweist sein Herbarium, das Sie hier im Kollegium besichtigen können. Es soll circa 3000 Arten Phanerogamen und etwa 2000 Arten Kryptogamen enthalten. «Wohl niemand, sagte daher mit Recht Prof. Kaufmann in Luzern, hat die urnerische Flora durch wiederholte Exkursionen so genau und vollständig kennen gelernt wie Prof. Anton Gisler». Und Dr. Christ, in Basel, bezeichnet in seinem Buche: «Die Rosen der Schweiz», die Rosensammlung Gislers als zu den grössten der Schweiz gehörend. Drei neue Rosenarten hat Gisler in Uri entdeckt: Die *Rosa uriensis*, zwischen Wasen und Göschenen, die *Rosa Gisleri*, von Puget zu Ehren ihres Entdeckers so geheissen, auf den Planzern ob Altdorf, und die *Rosa Thomasii*, beim Mühlebach in der Gemeinde Unterschächen. Von dieser letzteren fand sich nur ein Strauch in Uri: dieser wurde aber bei Anlage der Klausenstrasse verschüttet, so dass die *Rosa Thomasii* von dort nur noch im Herbarium Gislers vorkommt.

Auch die Kryptogamen erfreuten sich besonderer Aufmerksamkeit von seiten Prof. Gislers. Besonders bemerkenswert ist seine grosse Sammlung der verschiedensten im Kanton vorkommenden Moose. Ich kann mich hier nicht näher einlassen, teils weil ich zu lange werden müsste, besonders aber weil ich nicht zu weit in ein Gebiet hinübergreifen möchte, worin ich nicht Fachmann bin. Aber den lebhaften Wunsch auszusprechen sei mir gestattet, es möge von Fachleuten die Flora Uris, wie sie Prof. Gisler gesammelt hat, einer Würdigung unterzogen werden. Das Material steht jederzeit gerne hier zur Verfügung, soweit wir es bieten können. Ein Versuch dürfte sich wohl lohnen; denn Prof. Dr. Christ sagt, es sei ihm, zu seiner Monographie, sehr reiches Material von verschiedenen Botanikern zu Gebote gestanden; Gislers Sammlung aus Uri allein aber

mache auf ihn den Eindruck einer annähernd vollständigen Florula.

Damit, meine Herren, hätten wir die Urner Repräsentanten kennen gelernt auf dem Gebiete der Mineralogie und Geologie, der Zoologie und Botanik. Ich wäre aber nicht vollständig, wenn ich nicht auch der Technik Erwähnung täte. Wer von Ihnen hat nicht schon die kühne Strasse der Schöllenen mit der Teufelsbrücke und dem Urnerloch bewundert. An diese Kunststrasse aber knüpft sich der Name eines Urners, Ingenieur *Karl Emmanuel Müller,* von Altdorf, geboren am 18. März 1804, gestorben am 1. Dezember 1869. Müller war als junger Ingenieur in seine Heimat zurückgekehrt, als die Gotthardstrasse Amsteg-Göschenen in Angriff genommen worden war. 1827 wurde von der Landsgemeinde Uri ein Projekt durch die Schöllenen genehmigt; aber noch hatte sich niemand gefunden, den unwegsamen Saumpfad in der Schöllenen fahrbar zu machen und die Reuss da zu überbrücken wo sie sich am wildesten durch die Felsenschluchten windet. Als erstes Probestück praktischen Wirkens übernahm Ingenieur Müller die grösstenteils auch von ihm planierte Ausführung dieser schwierigen Arbeit. Heute, nach mehr als achtzig Jahren, ehrt das kühne Werk den Meister noch, wenn auch seither die Technik des Strassenbaues noch so gewaltige Fortschritte zu verzeichnen hat. Und wenn auch diese kühn angelegte Gotthardstrasse dem Verkehr nicht mehr genügt hat, und wenn auch das Dampfross, das seit dreissig Jahren durch den Gotthardkoloss fährt, ersetzt werden und dem elektrischen Betrieb Platz machen soll, so sei es mir gestattet, noch einen Urner zu erwähnen, den Erbauer des Albistunnels, Ingenieur *Franz Lusser,* in Zug. Er war es wohl, der zum erstenmale, wenn auch nicht auf die Elektrifizierung der Gotthardbahn, so doch auf die grossartigste Ausnützung der Urner Wasserkräfte zur Gewinnung elektrischer Kraft hinwies. Er hatte keinen geringeren Plan, als die Täler der Meyenreuss und der Göscheneralp unter Wasser zu setzen, dort grosse Stauseen anzulegen. Denn, so sagte er sich, billiger und rationeller kann man nirgends Stauseen anlegen, als wo das Tal eng ist und der Untergrund aus lauter Granitfelsen besteht,

wie das dort der Fall gewesen wäre. Leider blieb aber dieser grossartige Plan bis heute unausgeführt.

Immerhin sehen Sie, meine Herren, hat auch der Kanton Uri seine Vertreter in einzelnen Zweigen der Naturwissenschaften aufzuweisen, und hoffen wir, es werde die junge naturforschende Gesellschaft des Kantons Uri der fruchtbare Keim zu neuen Forschungen bilden. Damit erkläre ich die 95. Jahresversammlung als eröffnet.

Strahlung und Materie

von

Joseph von Kowalski

Die letzten zwanzig Jahre haben die Wissenschaft um manche überraschende Entdeckung bereichert, welche unsere theoretischen Ansichten über das physikalische Geschehen in mancher Hinsicht geändert haben, aber auch das systematische, zweckbewusste, nicht auf Zufall beruhende Studium der physikalischen Erscheinungen, hat nicht minder zu ähnlichen Umwälzungen der Theorie beigetragen.

Kaum auf einem anderen Gebiete ist diese Umgestaltung so markant, als auf dem Gebiete der Strahlungserscheinungen. Hier haben die Untersuchungen über die Entstehung der Strahlung, über die Wechselwirkung derselben mit der Materie, über den Druck der Strahlung und noch viele andere uns bewogen die Ansichten, welche wir uns von der Natur der Strahlung gebildet haben, einer gründlichen Revision zu unterziehen. Im Folgenden will ich es versuchen, Einiges über diese Fragen zu berichten und einen wenigstens flüchtigen Blick zu werfen auf die heutige Theorie des Strahlung und ihre Wandlungen.

Ehe ich zu meinem Thema übergehe, will ich aber zunächst präzisieren, von welcher Art von Strahlung ich sprechen will. Wir sprechen ja heute von Licht- und Röntgenstrahlen, von Kathoden- und Kanalstrahlen, von α- und β-Strahlen. Wenn ich nun an dieser Stelle schlechtweg von Strahlung spreche, so

will ich nur von der dem Licht verwandten Strahlung sprechen. Präziser gesagt, sprechen wir von der Strahlung, welche:

1° im Vakuum eine mit der Lichtstrahlung gleiche Fortpflanzungsgeschwindigkeit besitzt;

2° interferenz- und polarisationsfähig ist.

Eine derartige Strahlung kann am einfachsten beschrieben werden unter zuhilfenahme einer im Raume gerichteten Grösse, welche periodisch mit der Zeit ihren Wert ändert und sich wellenartig im Raume mit der Geschwindigkeit von 3×10^{10} cm. pro Sekunde fortpflanzt. Die Eigenschaften dieser gerichteten Grösse, des Strahlungsvektors, können, ohne besondere Hypothesen über die Natur der Strahlung zu machen, den meisten Strahlungserscheinungen befriedigend angepasst werden und so kann eine sehr vollkommene phænomenologische Theorie der Strahlung aufgebaut werden. In derselben ist bekanntlich die Intensität des Strahlung eine Funktion des Maximalwertes des schwingenden Vektors, die Richtung desselben im Raume stellt uns den Polarisationszustand dar; den verschiedenen Arten dieser Strahlung, so den verschiedenen Farben des Lichtes, entsprechen die verschiedenen Schwingungsperioden der Strahlungsvektoren.

Entsprechend der Gleichung

$$\lambda = C \times T$$

wo C die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Strahlung im Vakuum, T die Periode und λ die Wellenlänge einer Strahlenart ist haben wir in der Tabelle I. die heutzutage bekannten Strahlenarten zusammengestellt.

Die erwähnte phänomenologische Theorie der Strahlung giebt uns trotz ihrer Vollkommenheit und Sicherheit, trotz ihrer grosser Leistungen in Bezug auf die Oekonomie des Denkens im Sinne Machs, keine wahre Befriedigung. Unser Geist sieht zwar ein, dass den festen Boden einer rein phänomenologischen Theorie verlassend und spezielle Hypothesen über das Geschehen in der Natur machend, er keine endgültige Erklärung der Tatsachen gibt. Wir sind im Klaren, dass in einer auf auch noch so geistvollen Hypothesen aufgebauten Theorie

« Alles nur Bildnis » ist, aber trotzdem zieht uns das Schöne, das Kunstvolle eines gelungenen Erklärugsversuches stark an und wirkt oft gewaltig anregend auf unser Denken. Kaum ein Kapitel der Geschichte den Wissenschaft beweist dieses in so prägnanter Weise, wie die Geschichte der Entwickelung unserer Ansichten über die Strahlung. Der Newtonschen Emissions-

TABELLE I

Wellenlängen-Gebiet	Bezeichnung	Entdecker
∞ bis 4000 μ	Elektrische Strahlen	Hertz (1887) Lebedew (1895) Lampa (1897)
4000 μ bis 313 μ	unbekannt	
313 μ bis 8,5 μ	Reststrahlen	Rubens & Nichols (1898) Rubens & Baeyer (1911)
8,5 μ bis ca. 0,8 μ	Ultrarote Strahlen	W. Herschel (1800)
ca. 0,8 μ bis ca. 0,38 μ	Sichtbare Strahlen	
ca. 0,38 μ bis ca. 0,18 μ	Ultraviolete Strahlen	J.W. Ritter (1801) Cornu (1879)
0,18 μ bis 0,12 μ	Schumann-Strahlen	Schumann (1890)
0,12 μ bis 0,09 (?) μ	Reflex-Strahlen	Lyman (1904) Lénard (1910)
	Unbekannt	
$\lambda < 4 \times 10^{-5}$ μ	Röntgenstrahlen	Röntgen (1895) Sommerfeld (1912) Laue (1912)

theorie folgt die Huyghens-Fresnelsche Theorie des elastischen Aethers, dann kommt die vollkomenere des elektromagnetischen Aethers von Maxwell und Hertz. Diese letztere, durch neue Hypothesen von Drude, Lorentz u. A. bereichert, erscheint im moderneren Gewande als elektronische Theorie,

um neuerdigs durch Einführung des Relativitätsprinzips, wie Schlemihl von seinem Schatten, vom Aether befreit zu werden.

Aber auch in dieser scheinbar sehr vollkomenen Form ist sie nicht in der Lage uns Antwort auf gewisse Fragen zu geben, welche wir uns stellen bei Wechselwirkungen zwischen Strahlung und Materie. Im Speziellen bei der so grundlegenden Frage der Emission und Absorption des Lichtes durch Materie sind wir nicht in der Lage aus *ihr allein* Konsequenzen zu ziehen die uns die dabei eintretenden Verhältnisse vorauszusagen erlaubten. Um diesem abzuhelfen haben Theoretiker wie Planck, Jeans, Einstein u. A. neue Methoden und Gesichspunkte bei der Betrachtung der entsprechenden Probleme eingeführt. Ehe wir aber zur Besprechung derselben übergehen, erlauben Sie mir Ihnen in Erinnerung diejenigen Tatsachen zu bringen, welche für unsere späteren Erwägungen von Wichtigkeit sind.

Eine der wichtigsten neueren Eroberungen für unsere Kenntniss der Natur der der Strahlung ist die Entdeckung des sogennanten *Strahlungsdruckes.*

Schon Kepler im Jahre 1619 spricht im Werke *Harmonice mundi* die Vermutung aus, dass die Krümmung des Schweifes der Kometen in der Nähe der Sonne infolge des Druckes zu Stande kommt, welchen die Strahlung der Sonne auf denselben ausübt. Die Existenz dieses Druckes haben im XVIII Jahrhundert de Mairan und du Fay vergeblich experimentell nachzuweisen gesucht. Das Aufblühen der Undulationstheorie des Lichtes liess sogar gewissen Gelehrten die Existenz dieses Druckes als wenig wahrscheinlich erscheinen. In den nicht so sehr alten ersten Auflagen der populären Astronomie von Newcomb wird das Vermuten eines solchen von der Strahlung ausgeübten Druckes als unwissenschaftlich bezeichnet. Maxwell war der erste, der aus der elektromagnetischen Wellentheorie die Existenz dieses Druckes ableiten wollte, aber erst Bartoli (1876) und sodann Boltzmann ist es gelungen einen strengen theoretischen Nachweis dieses Druckes zu führen. Im Jahre 1874 veröffentlichte Crookes einen Bericht über Versuche, welche im ersten Augenblick die Hoffnung erregten, dass der Strahlungsdruck sich auch experimentell demonstrieren lässt.

Es sind dieses die berühmt gewordenen Versuche über das Radiometer. Der Verlauf der Radiometer-Erscheinungen war zwar derart verwickelt, dass man es sofort vermuten konnte, es wären nicht reine Druckkräfte der Strahlung, welche die Radiometerbewegungen bewirken, aber erst die genaue Ausrechnung dieser Kräfte durch Boltzmann im Jahre 1884 bewies, dass dieselben viel kleiner als die beobachteten sind. Bezeichnen wir mit U die Energiedichte der Strahlung, mit r das Reflexionsvermögen der Oberfläche, auf die die Strahlung normal auffällt, so wird der von der Strahlung ausgeübte Druck gegeben durch die Formel:

$$p = U(1 + r)$$

Dem entsprechend, da die Sonne im Mittel einer senkrecht zur Strahlung gelegenen Ebene ca. 2,54 kleine Kalorien pro cm^2 und Sekunde zusendet, erhalten wir für eine vollkommen reflektierende Fläche einen Druck von ca. 1,2 mg. pro Quadratmeter. Sind die Flächen nicht vollkommen reflektierend, so ist die Kraft noch kleiner.

Im Radiometer beobachten wir aber Bewegungen, welche viel grösseren Kräften entsprechen.

Es war der Moskauer Physiker Lebedew, welchem es im Jahre 1901 gelungen ist einwurfsfrei die Existenz dieses Strahlungsdruckes nachzuweisen. Im Jahre 1903 gelingt es den amerikanischen Physikern Nichols und Hull den Druck mit einer wundervollen Genauigkeit zu messen. Diese Gelehrten führten Messungen mit verschiedenen Strahlungsdichten aus, indem sie das Licht ihrer Strahlungsquelle durch Absorbtion schwächten. In der folgenden Tabelle sind ihre Resultate mit den berechneten Zahlen verglichen.

Tabelle II

Beobachtet in	Berechnet in	Differenz in %
$10^{-5} \times$ Dyn/cm.	$10^{-5} \times$ Dyn/cm.	
7,01 + 0,02	7,05 + 0,03	— 0,6
6,94 + 0,02	6,86 + 0,03	+ 1,1
6,52 + 0,03	6,48 + 0,04	— 0,6

Wenn man beachtet wie schwierig es ist, so kleine Druckkräfte zu messen so muss man diese Uebereinstimmung zwischen Berechnung und Versuch als glänzend ansehen.

In neuerer Zeit wurden die Versuche von Lebedew und die von Nichols und Hull von anderen Gelehrten bestätigt. Speziell sind hier die Versuche von Poynting und die geistreiche Anordnung von Amerio zur Demonstration des Strahlungsdruckes zu erwähnen.

Nachdem Fitzgerald theoretisch abgeleitet hatte, dass der auf die Teilchen eines Gases von der Strahlung ausgeübte Druck, proportional dem Absorbtionsvermögen des Gases für die gegebene Strahlung ist, hat Lebedew im Jahre 1910 durch Versuche nachgewiesen, dass sich dies mit einer Genauigkeit von 10 % bestätigt. Auch hier ist die gesuchte Uebereinstimung in Anbetracht der experimentellen Schwierigkeiten eine überraschende.

Wir dürfen also heute die Existenz des Strahlungsdruckes als eine experimentale Tatsache betrachten.

An zweiter Stelle haben wir hier zu erwähnen die Untersuchungen, welche auf dem Gebiete der sogenannten Temperaturstrahlung gemacht worden sind. Die Temperaturstrahlung könnte man zunächst definieren als Strahlung, welche ein Körper infolge seiner Temperaturerhöhung emitttiert. Es zeigt sich aber, dass eine solche Definition nicht streng genug ist. Bei Temperaturerhöhung eines Körpers beobachten wir öfters gewisse Vorgänge, welche sekundär zu Strahlungserscheinungen Veranlassung geben können. Leitet man diese Vorgänge auf einen anderen Weg als Temperaturerhöhung ein, so würden sie zu ähnlichen Strahlungserscheinungen führen. In diesen Fällen darf also die durch Erhöhung der Temperatur erzielte Strahlung, nicht als *reine Temperaturstrahlung* angesehen werden. Eine solche wird strenger definiert, wenn wir vom Kirchhoff'schen Gesetz der Strahlung ausgehen. Nach demselben gilt für eine homogene Temperaturstrahlung die Gleichung:

$$\frac{E}{A} = f(\lambda, T)$$

in welcher E das Emissionsvermögen, A das Absorbtionsvermögen, λ die Wellenlänge und T die Temperatur bedeutet. Umgekehrt können wir dieses Gesetz als Definition der Temperaturstrahlung ansehen, also ähnlich verfahren wie bei der Benutzung des Boyle-Mariotteschen Gesetzes zur Definition der idealen Gase. Wir können also sagen: Emittiert und absorbiert bei Temperaturerhöhung ein Körper die Strahlung so, dass das Verhältniss des Emissionsvermögens zum Absorbtionsvermögen allein von der Wellenlänge und absoluten Temperatur abhängig ist, dann haben wir mit reiner Temperaturstrahlung zu tun.

Zwischen den verschiedenen Körpern, welche als Temperaturstrahler dienen, können wir uns einen denken, welcher das Absorbtionsvermögen gleich eins besitzt. So einen Körper bezeichnet man als einen *absolut schwarzen Körper* und die Strahlung die er emittiert als *schwarze Strahlung*. Für diese ist also die Emission S gleich einer universalen Funktion der Temperatur und Wellenlänge allein.

Einen wesentlichen Fortschritt erzielten W. Wien u. O. Lummer, indem sie in ihrer Hohlraumtheorie der Strahlung (1895) auf die Mittel zur experimentellen Verwirklichung des Kirchhoffschen schwarzen Körpers gaben. Eine einfache Ueberlegung zeigt uns in der Tat, dass die Temperaturstrahlung im Innern eines Hohlraumes eines beliebigen Körpers als schwarze Strahlung anzusehen ist. Kurz naher (1897) haben Lummer und Pringsheim experimentel die Gesetze der schwarzen Strahlung ermittelt, indem sie einen Hohlraum auf möglichst gleichmässige Temperatur brachten und seine Strahlung durch eine kleine Oeffnung nach Aussen gelangen liessen. Für die Gesammtstrahlung eines solchen Körpers fanden sie das Stefansche Gesetz bestätigt, nach welchen

$$S = T^4$$

ist. Auch wurden für diese Strahlung die von Wien theoretisch abgeleiteten Verschiebungsgesetze experimentell richtig gefunden.

Nach diesen gelten die Gleichungen

$$\lambda_m \times T = b = \text{einer Konstante}$$
$$S_m \times T^{-5} = B = \text{einer anderen Konstante.}$$

In diesen Gleichungen bezeichnen wir mit λ_m die Wellenlänge, für welche bei Temperatur T eie Emission ein Maximum ist, und mit S_m den Betrag dieser maximalen Emission.

Das Interessanteste war aber die Auffindung der Verteilung der emittierten Energie im Spektrum, denn diese konnte uns Aufschluss geben über die Form der genannten Universalfunktion. Auch hier verdanken wir den Untersuchungen von Lummer und Pringsheim (1899), die Festsetzung des Verlaufes der Verteilung der Emission im Spektrum und zwar für verschiedene Temperaturen bis zur absoluten Temperatur von ca. 1600°. Dieser Verlauf wird am besten durch die von Planck aufgestellte Gleichung wiedergegeben. Dieselbe hat die folgende Form:

$$S = F(\lambda, T) = \frac{8\pi c h}{\lambda^5} \times \frac{1}{\exp. \frac{c h}{k \lambda T} - 1}$$

Die Uebereinstimmung zwischen dieser Gleichung und der Erfahrung ist ganz vorzüglich, wenn wir für die Konstanten h und k folgende Werte annehmen:

$$h = 6{,}55 \times 10^{-27} \text{ erg} \times \text{sec.}$$
$$k = 1{,}346 \times 10^{-16} \text{ erg} \times \text{grad.}$$

Diese letzte Formel von Planck, welche tatsächlich in vorzüglicher Weise uns Rechenschaft von der Verteilung der Energie in dem Spektrum eines strahlenden schwarzen Körpers giebt, soll jetzt zum Ausganspunkt unserer weiteren Betrachtungen dienen. Es wäre umöglich an dieser Stelle auf die ausführliche Ableitung, wie sie Planck gegeben hat, einzugehen. Wir wollen nur ganz kurz den Weg skizieren, den Planck dabei eingeschlagen hat.

Die Tatsache, dass die Strahlung einen Druck auf die umgebenden Wände ausübt, erlaubte schon Boltzmann thermody-

namische Betrachtungen in die theoretischen Untersuchungen ihrer Eigenschaften einzuführen und auf diesem Wege zum Beweis des Stefan'schen Gesetzes zu gelangen. Diese Methode wurde erweitert und präzisiert durch Wien und Planck. Der Begriff der Temperatur und Entropie der monochromatischen Strahlung wurde streng definiert. Die Wienschen Verschiebungsgesetze konnten ohne weiteres auf diesem Wege aus der klassischen Elektrodynamik abgeleitet werden. Nun versagte aber die Methode, sobald man das Problem der Verteilung der Energie im Spektrum in Angriff nehmen wollte. Und da tauchte der Gedanke auf, einen Weg einzuschlagen, welcher auf dem Gebiete der Wärmetheorie grosse Erfolge feierte gerade dort, wo die reine Thermodynamik versagte. Die statistischen Methoden der kinetischen Wärmetheorie erlaubten ja Maxwell sein berühmtes Verteilungsgesetz der verschiedenen Geschwindigkeiten zwischen die einzelnen Molekeln eines Gases zu finden. Das Gesetz der Aequipartition der Energie erlaubte theoretisch das Verhältniss der spezifischen Wärmen einfacherer Gase zu berechnen. Sollte man nicht auch auf dem Gebiete der Strahlung diese Methoden anwenden können, um so mehr, da eine Ueberbrückung durch die Boltzmannsche Definition der Entropie gegeben war? Nach dieser letzteren dürfen wir die Entropie eines Gases, bis auf eine additive Konstante, als den Logarithmus der Wahrscheinlichkeit des Zustandes des Gases definieren. Dabei können wir die Wahrscheinlichkeit eines Zustandes folgendermassen auffassen: Denken wir uns eine ungeheuer lange Zeit hindurch das Gas beobachtet und verbleibe dasselbe wärend einer bestimmten Zeit t in dem betreffenden Zustand, dann ist dass Verhältniss von t zur Totalzeit die Wahrscheinlichkeit dieses Zustandes.

Analoge Betrachtungen stellt nun auch Planck über die Entropie der Strahlung an. Der Weg, den er aber verfolgt, unterscheidet sich vom klassischen Wege der statistischen Methode. In diesem letzteren wird nämlich an dem sogenannten Prinzip der Aequipartition der Energie festgehalten. Nach diesem Prinzip verteilt sich im Falle des Wärmegleichgewichts die Energie so, dass keine von den vorhandenen unabhängigen Arten der

Energie bevorzugt ist. Jede solche Art bekommt den gleichen Betrag der Gesammtenergie. Die Anwendung dieses Prinzipes führt, wie es mit grosser strenge Jeans gezeigt hat zu dem sogenannten Rayleighschen Strahlungsgesetz, welches nur richtig für sehr lange Wellen ist, aber im Fall kurzer Wellen versagt.

Nach Planck geschieht nun die Emission des Lichtes (Strahlung) durch elektrische Oscillatoren von molekularer Grösse. Diese Oscillatoren können nicht jede beliebige Menge von Energie aufnehmen oder abgeben, sondern nur bestimmte Energiequanta. Diese sind entsprechend dem Wienschen Verschiebugsgestz der Wellenlänge einer bestimmten Schwingung umgekehrt proportional. Alle andere Eigenschaften der Oscillatoren nimmt Planck entsprechend der klassischen Elektrodynamik an. Darin liegt aber etwas unbefriedigendes der Planck'schen Ableitung. Nun ist es der Verdienst von Einstein streng gezeigt zu haben, dass die Annahme der Energiequanten eine notwendige Folgerung der Anwendung der Boltzmanschen Methode der Wahrscheinlichkeitsberechnung auf Strahlungsprobleme. Dadurch gewann die Existenz der Energiequanta eine gewisse Berechtigung und die Wissenschaft bemächtigte sich dieses Gebildes, ehe man ganz im klaren war, welche gewaltige Schwierigkeiten uns dieses neue Denkmittel bringen wird.

Die Spektralgleichung von Planck kann man in Angesicht der schönen Uebereinstimmung mit der Erfahrung, als experimentell gegeben ansehen. Die Frage, welche sich nun Einstein stellt, ist die folgende: Was kann man aus der als richtig angenommenen Spektralgleichnung, auf die Natur der Strahlung folgern?

Um zu dem Ziele zu gelangen, benutzt Einstein eine, so für die moderne Denkweise charakteristische Ueberlegung, dass es für uns von grösstem Interesse ist wenigstens kurz auf dieselbe einzugehen. Einstein führt ein sogennantes Gedankenexperiment aus. Bei einem Gedankenexperiment werden gewisse ideale aber fiktive Verhältnisse angenommen, welche auch nur von schematischen Charakter zu sein brauchen. In diesen Ver-

hältnissen wird nun schrittweise ein Vorgang verfolgt unter strenger Anlehnung an die Erfahrung. Solche Gedankenexperimente benutzt der moderne Naturforscher geläufig. Es ist ein Gedankenexperiment, welches vant'Hoff zur Entdeckung der Gesetze der Lösungen geführt hat. Es sind Gedankenexperimente, die ein organischer Chemiker ausführt, wenn er an Hand einer Formel nach neuen Körpern sucht. Es sind noch Gedankenexperimente die Adam Smith ausführt, um aus der Fiktion «Egoismus einziges treibendes Prizip» seine ökonomischen Gesetze abzuleiten sucht. Der Wert eines Gedankenexperimentes liegt also in der Brauchbarkeit der Fiktionen und der weiteren kritischen Anlehnung an die Erfahrung. Dabei scheint mir nicht unnötig hier hervorzuheben, dass eine Fiktion keine Hypothese ist. Eine Hypothese soll ein adäquates Bild des wirklichen Geschehens in der Natur sein. Sie hat nur solange ihre Berechtigung, solange sie als realer Ausdruck eines Realen angesehen werden kann. Bei einer methodisch richtigen Fiktion muss dagegen das Bewusstsein ihrer Unmöglichkeit ausdrücklich ausgesprochen werden. Ihre einzige Berechtigung ist ihre praktische Brauchbarkeit. Es muss der Fehler den wir begehen bei Benutzung der Fiktion praktisch zu vernachlässigen sein. Sie muss sich als nützliches Denkmittel erweisen und die Begründung dieses Nachweises sollte bei jeder Fiktion speziell vorgenommen werden.

In dem uns interessierenden Fall arbeitet Einstein mit der Fiktion eines vollkommenen Gases und der Fiktion von vollkommen reflektierenden Wänden. In einem Hohlraum denken wir uns wenige Molekeln eines vollkommenen Gases und eine gewisse Energie in Form von Strahlung. Die Strahlung soll dabei eine reine Temperaturstrahlung sein von derselben Temperatur wie das umgebende Gas. In diesem Hohlraum befinde sich noch eine Platte, welche in einer zu seiner Oberfläche senkrechten Richtung frei beweglich ist. Diese Platte sei so beschaffen, dass sie eine Strahlung von einem bestimmten Frequenzbereich vollständig reflektiert, dagegen Strahlungen von anderen Frequenzen vollständig durchlässt. Einstein zeigt, dass im Falle des Wärmegleichgewichtes die Platte sowohl

infolge von Molekularstössen wie auch in Folge des Strahlungsdruckes, gewisse kleine unregelmässige Bewegungen ausführen wird, ähnlich der Brown'schen Bewegung kleiner Teilchen. Unter Zugrundelegung der Planck'schen Spektralgleichung, lässt sich nun streng die Bewegungsgrösse berechnen, welche infolge der unregelmässigen Schwankungen des Strahlungsdruckes auf die Platte in einer bestimmtem Zeit übertragen wird. Der mathematische Ausdruck für diesen Wert setzt sich aus zwei Gliedern zusammen. Eins von denselben lässt sich aus der klassischen Wellentheorie folgern, das zweite dagegen, welches wie Einstein zeigt, keineswegs zu vernachlässigen ist und welches sogar bei kleiner Dichte der Strahlungsenergie das erste Glied überwiegt, kann umöglich als eine Folge der klassischen Theorie angesehen werden.

Einstein zeigt, dass dieses zweite Glied der Formel am einfachsten abzuleiten ist aus der Annahme, dass die Strahlung aus abgesonderten Mengen von Energie zusammengesetzt ist. Diese Mengen hätten den Betrag $h\nu$, wo h die Konstante des Planckeschen Gesetzes ist und ν die Frequenz der betrachteten Strahlungsart. Diese Menge, Licht-Quanta, sollten sich dabei unabhängig voneiander durch den Raum bewegen und unabhängig voneinander reflektiert werden. Um also beide Glieder der Formel zu erhalten, sollte man versuchen, die alte Undulationstheorie mit der soeben auseinandergesetzen Vorstellung über die quantenhafte Struktur der Strahlung zusammenzuschmelzen. Ich will es hier sofort hervorheben, dass diese Verschmelzung auf grosse Schwierigkeiten gestossen hat, welche bis jetzt nicht zu überwinden waren. Insbesondere sind gewisse Interferenzerscheinungen scheinbar direkt widersprechend einer derartigen diskontinuierlichen Struktur der Strahlung.

Man könnte zunächst glauben, dass vielleicht die spezielle Form des Planckschen Strahlungsgesetzes, die Einstein seinen Betrachtungen zugrunde legt, auf diese schwer mit der Undulationstheorie zu vereibarenden Vorstellungen führt. Nun hat aber am Anfang dieses Jahres Poincaré gezeigt, dass wenn wir einerseits die Plancksche Resonatorentheorie als richtig ansehen, anderseits ohne eine besondere Form der Strahlungs-

formel zu geben, einfach vorausetzen, dass die Totalstrahlung eines Körpers endlich ist, dann sind wir auch dazu geführt, ähnliche Diskontinuitäten in der Struktur der Strahlung anzunehmen, wie die durch die Quantenhypothese gegebenen.

Die Plancksche Resonatorentheorie ist eine strenge Folgerung der klassischen Elektrodynamik, diese lassen wir nicht gern fallen, zuviele Erfolge sind mit ihr verbunden. Die Endlichkeit der Totalstrahlung ist eine durch die Erfahrung gegebene Tatsache, mit der müssen wir zunächst rechnen. Wir stehen also hier vor einer dieser Schwierigkeiten, von der Poincaré so richtig sagt: « Les théories anciennes reposent sur un grand nombre de coïncidences numériques qui ne peuvent être attribuées au hasard; nous ne pouvons donc disjoindre ce qu'elles ont réuni; nous ne pouvons plus briser les cadres, nous devons chercher à les plier; et ils ne s'y prêtent pas toujours. »

Wir stehen also augenblicklich vor einer offenen theoretischen Frage; was die Zukunft uns für eine Lösung der Schwierigkeiten vorenthält, ist heute kaum vorauszusagen, und daher könnten wir uns mit voller Berechtigung fragen: Wie kommt es, dass die Wissenschaft in den letzten Jahren, so oft mit dem Begriff des Lichtquantums arbeitet? Ich glaube darauf die Antwort geben zu können, dass die Ursache davon in dem Erfolg liegt, welchen der Quantenbegriff bei der Lösung einer Reihe von experimentellen Fragen gehabt hat.

Die Methode, welche Planck bei der Ableitung seines Strahlungsgesetzes gebraucht, erlaubte schon diesem Gelehrten im Jahre 1900 die Konstanten seines Strahlungsgesetzes mit gewissen Konstanten auf ganz anderen Gebieten der Physik zu verknüpfen. So berechnet er aus seinem Strahlungsgesetze unter Zugrundelegung der aus den Messungen von Lummer, Pringsheim und Kurlbaum bestimmten Konstanten h und k, den Wert des Elementarquantums der Elektrizität zu $4{,}69 \times 10^{-10}$ gegenüber dem in der allerletzten Zeit mit grosser Sorgfalt aus dem Fallgesetz von Tropfen durch Millikan bestimmten Wert von $4{,}777 \times 10^{-10}$ und durch Zählung der α-Teilchen des Radiums von Rutherford und Geiger ermittelten Wert von $4{,}65 \times 10^{-10}$. Diese wunderbare Uebereinstimmung kann kaum

auf Zufall beruhen und macht die Vermutung recht wahrscheinlich, dass den Konstanten des Planckschen Gesetzes eine gewisse allgemeine physikalische Deutung zuzuschreiben ist.

Wir verdanken aber Einstein die ersten Anwendungen des Lichtquantenbegriffes auf experimentelle Fragen. Es war im Jahre 1905, dass Einstein als erster *explicite* zum Ausdruck brachte, dass die Annahme, die Materie könnte nur in gewissen Quanten Strahlung emittieren und absorbieren, uns in einer Reihe von Fällen eine Erklärung der experimentell gefundenen Tatsachen geben kann. Emittiert die Materie Strahlung von der Frequenz ν so kann dies nach Einstein nur diskontinuierlich geschehen, indem die Energiequanta vom Betrag $h\nu$ als Ganze emittiert werden. Aehnlich bei Absorbtion, kann die Materie nur ein Energiequantum $h\nu$ oder ein Vielfaches davon absorbieren. Hier wäre es wohl am Platze, eine kurze Bemerkung einzuschieben. Oefters hat man diese Hypothese als atomistische Auffassung der Struktur der Strahlungsenergie bezeichnet. Und doch ist ein wesentlicher Unterschied zwischen einem Atom der Materie und einem Energiequantum. Entsprechend den verschiedenen Elementen, haben wir eine gewisse endliche Anzahl verschiedener Atome, welche sich von einander durch eine endliche Differenz von Maasse unterscheiden. Bei Strahlungsenergieelementen haben wir für jede monochromatische Strahlung von der Frequenz ν das Quantum $h\nu$. Wir können also für einen endlichen Wellenbereich uns unendlich viele verschiedene Energiequanta denken, welche untereinander sich nur durch unendlich kleine Beträge der Energie unterscheiden. Bei jedem Bilde, das wir uns über die quantenhafte Struktur der Strahlung machen, dürfen wir diesen Umstand nicht vergessen.

Einstein wendet nun die Quantenhypothese in der oben erwähnten Form zur Ableitung eines Gesetzes, welches wir als *lichtelektrisches Aequivalenzgesetz* bezeichnen wollen.

Schon vor ca. 25 Jahren entdeckte Hertz die fördernde Wirkung des Lichtes auf die elektrische Entladung. Hallwachs, Elster und Geitel, Swyngedauw und andere, studierten diese Wirkung in verschiedenen Formen. Man verdankt es aber den

Arbeiten von Lenard im Jahre 1900, Klarheit in die Verhältnisse bei diesem *lichtelektrischem Effekt* hineingebracht zu haben. Er zeigt nämlich, dass das auf eine metallische Oberfläche auffallende Licht an derselben eine sekundäre Elektronenstrahlung erzeugt. Diese Strahlung ist um so intensiver, je intensiver das wirkende Licht ist. Die Geschwindigkeit dagegen, mit welcher die negativen elektrischen Teilchen die Oberfläche verlassen, sind in verhältnismässig grossen Grenzen von der Intensität des Lichtes unabhängig und wachsen mit der Abnahme der Wellenlänge des wirkenden Lichtes. Diese letzte Eigentümlichkeit der lichtelektrischen Erscheinungen war ziemlich schwer zu erklären; mehr oder weniger wahrscheinliche Hypothesen wurden zu diesem Zwecke aufgestellt. Nun zeigt Einstein unter Zugrundelegung der Quantenhypothese, dass dieses Verhalten als direkte Folgerung dieser Hypothese anzusehen ist. Es genügt nur anzunehmen, dass die Quelle der Energie der austretenden Elektronen die Energie der auffallenden Strahlung ist und dass diese letztere keine zu grosse Dichte besitzt. Er leitet noch weiter ab, dass die Geschwindigkeit der austretenden Elektronen in diesem Falle eine lineare Funktion der Frequenz des erregenden Lichtes sein muss.

Dieses *lichtelektrische Aequivalenzgesetz* wurde in glänzender Weise durch die Versuche von Erich Ladenburg im Jahre 1907 bestätigt gefunden. Neuere Versuche von Millikan (1912) zeigen weiter, dass wenn man die Voraussetzung von Einstein einer kleinen Strahlungsdichte des erregenden Lichtes fallen lässt, in der Tat die austretenden Elektronen Geschwindigkeiten erreichen, welche nicht mehr dem unter dieser Voraussetzung abgeleitetem Aequivalenzgesetz entsprechen. In der allerletzten Zeit hat O. W. Richardson weiter die Theorie von Einstein verfolgt, und die erhaltener Beziehungen gemeinschaftlich mit K. T. Crompton experimentell bestätigt gefunden.

Einstein verallgemeinert auch seine Betrachtungen auf Probleme der Verwandlung der Strahlung einer bestimmtem Wellenlänge in Strahlung von anderer Wellenlänge bei Fluoreszenz und Phosphoreszenz. Die bekannte Stokesche Regel ergibt sich als direkte Folgerung dieser Betrachtungen. Da die Stokesche

Regel in vielen Fällen sich als nicht richtig erwiesen hat, und zwar unter Bedingungen, bei welchen man kaum die Dichte der Energie als sehr gross ansehen konnte, so könnte es scheinen, dass hier die Quantentheorie im direkten Widerspruch mit der Erfahrung steht. Man muss aber in Erinnerung bringen, dass die Einsteinschen Betrachtungen von der Annahme ausgehen, dass die bei Photolumineszenz hervorgebrachte Strahlung allein auf Kosten der erregenden Strahlung zustande kommt. Man kann aber wohl annehmen, dass zu dieser Hauptquelle der Energie sich eine andere gesellt, z. B. die Energie der thermischen Agitation. Macht man diese Annahme, so müssten die Abweichungen vom Stokeschen Gesetz bei Abnahme der Temperatur des fluoreszierenden Körpers auch abnehmen. Kowalski (1910) ist es gelungen, diese Tatsache festzustellen. Unter Zugrundelegung der Quantenhypothese berechnet er ferner die Differenz der Abweichungen für zwei verschiedene Temperaturen. Er findet, dass der Grössenordnung nach, auch hier die Quantenhypothese mit der Erfahrung übereinstimmende Resultate liefert.

Der Erfolg der ersten Betrachtungen von Einstein regte auch andere Physiker zu weiteren Anwendungen des Begriffes der Lichtquanta an. An erster Stelle ist hier J. Stark zu nennen. In einfacher Weise verallgemeinert er das von Einstein gefundene Aequivalenzgesetz auf photochemische Fragen. Bei Hinzunahme gewisser Hypothesen über den Mechanismus der Entstehung des Bandenspektrums einer Substanz, erlaubt ihm die Quantenhypothese, die Berechnung der unteren Grenze dieses Spektrums. In vielen konkreten Fällen wird die Rechnung durchgeführt und diese Grenze für das Absorbtionsspektrum bestimmter Substanzen als der Erfahrung entsprechend gefunden. Im Anschluss daran wird von Stark eine atomistisch-elektrische Valenzlehre entwickelt. Stark wendet seinen Ideengang auch auf Fragen über Phosphoreszenz und Fluoreszenz an und alle diese Arbeiten geben ihrerseits eine manigfache Anregung zur experimentellen Forschung. In den letzten vier Jahren sehen wir eine Reihe von Forschern sich mit Untersuchungen beschäftigen, welche, wenn auch nicht immer sich an

die Anschauungsweise von Stark anlehnen, doch aber durch das sich daran anknüpfende, neugeweckte theoretische Interesse angeregt worden sind. Manche neue Errungenschaft auf dem Gebiete der Absorption, Phosphoreszenz, Fluoreszenz, Photochemie, verdanken wir dem Ansporn, welchen die Quantentheorie der Forschung gegeben hat. Wir wollen hier nur an die Entdeckung der Bandenstruktur des Absortionsspektrums des Diacetyls von *Gelbke* erinnern und an den von *Haber* entdeckten Zusammenhang zwischen dem Ultraroten und Ultraviolettem Absorbtionsspektrum. Beinahe gleichzeitig mit diesen Ideen (1907-1908) entwickelte Stark gewisse Betrachtungen über die Anwendung des Quantenbegriffes auf Probleme die im Zusamenhang mit dem von Stark entdecktem Doppler-Effekt bei Kanalstrahlen stehen. Wenn auch durch die in letzter Zeit veröffentlichten Untersuchungen von Vegard (1912) die Anwendbarkeit des Quantenbegriffes in seiner einfachsten Form auf die Verteilung der durch die Kanalstrahlen emittierten Lichtintensität in Zweifel gezogen werden kann, so sehen wir auch hier deutlich den Impuls, welcher der Wissenschaft durch die neuen Begriffe gegeben worden ist.

In allen diesen Arbeiten wird der Begriff des Energiequantums in der von Einstein genauer im Jahre 1905 formulierten Form gebraucht. Wir wiederholen: es wird der Strahlungsenergie eine quantenhafte Struktur zugeschrieben. Um die Schwierigkeiten, welche mit der physikalisahen Auffassung der Energieelemente verbunden sind zu vermeiden, hat zuerst Planck und sodann in sehr deutlicher Weise Sommerfeld darauf aufmerksam gemacht, dass man statt die diskontinuierliche Struktur der Energie zuzuschreiben, es für die Wirkung, *Energie* $\times$ *Zeit,* tut. Nach Sommerfeld wird die Wechselwirkung zwischen Strahlung und Materie derart geregelt, dass jedesmal bei der Aufnahme oder Abgabe von Energie durch Molekule dies für eine grosse Energiemenge in kurzer Zeit geschieht, für eine kleine dagegen, eine lange Zeit beansprucht wird, so, dass das Produkt aus Energie $\times$ Zeit gleich der Planckschen Konstante h ist. Diese Auffassung hebt zwar nicht die erwähnten theoretischen Schwierigkeiten auf, hat aber mit dem Vorteil einer

gewissen physikalischen Deutung einen grossen heuristischen Wert. Man kann die Lehre von den Quanten, wie es Sommerfeld gezeigt hat, in einfacher Weise auf nicht periodische Prozesse ausdehnen. Interessante Anwendungen dieser Auffassung sind von Sommerfeld auf die Erscheinungen der Röntgen- und γ-Strahlen gemacht worden, sodann von Sommerfeld und Debye auf lichtelektrische Phänomene und von Sackur auf rein molekulartheoretische Betrachtungen.

Es gebührt wieder Einstein der Verdienst, zuerst die Plancksche Formel auf Wärmevorgänge in der Materie angewandt zu haben.

Aus der klassischen Molekulartheorie der Wärme, also aus der Theorie, welcher das Aequipartitionsprinzip zugrundegelegt ist, ergibt sich als Folgerung für hinreichend tiefe Temperaturen die Gültigkeit des Gesetzes von Dulong und Petit. Bei hinreichend niedriegen Temperaturen müsste daher das Produkt von Atomgewicht $\times$ spezifische Wärme für alle Elemente gleich sein. Nun lehrt uns die Erfahrung, dass eben bei niedrigen Temperaturen wir für eine Reihe von Elementen Ausnahmen finden.

Einstein ersetzt daher für feste Körper, in welchen wir ja die Träger der Wärme als periodisch schwingende Gebilde ansehen, das Prinzip der gleichmässigen Verteilung durch die Verteilung nach dem Planck'schen Gesetz.

Die Rechnung ergibt, dass wir dann in der Tat Abweichungen vom Dulong-Petit'schen Gesetz und zwar im von der Theorie gefordertem Sinne, erwarten dürfen. Um diese Abweichungen zu berechnen, müssen wir allerdings den schwingenden Gebilden (Systemen) bestimmte Schwingungsfrequenzen zuschreiben. Umgekehrt, können wir bei der Annahme, dass es Atome sind, die die Schwingungen in den festen Körpern ausführen, die Eigenfrequenzen der Atome bezüglich der Atomkomplexe aus dem Verlauf der spezifischen Wärme mit der Temperatur berechnen. Die Betrachtungen von Einstein wären also nicht verifizierbar, falls wir nicht die Möglichkeit hätten, auf einem anderen Wege auch die Eigenfrequenzen der Atome bezw. der Moleküle der festen Körper zu berechnen. Auf eine

solcher Möglichkeiten weist schon in seiner ersten Arbeit über diesen Gegenstand Einstein hin. Für viele Körper dürfen wir nämlich die die Wärme hervorbringenden Gebilde mit den positiv geladenen Atomen identifizieren, welche Drude zur Erklärung der Absorbtion der Körper im ultrarotem Gebiet annahm. Die Eigenfrequenzen dieser Gebilde sind uns aus den Messungen von Rubens und seinen Schülern mit Reststrahlen bekannt. Es sind inzwischen auch noch andere Wege zur Ermittelung dieser Eigenfrequenzen gefunden worden. So findet Einstein die folgende Formel

a) $$\nu = 2{,}8 \times 10^7 \, M^{-\frac{1}{3}} d^{-\frac{1}{6}} K^{-\frac{1}{2}}$$

wo M das Atomgewicht bedeutet, d die Dichte und K den kubischen Kompresibilitätskœfizienten.

Lindemann findet die Formel:

b) $$\nu = 2{,}8 \times 10^{12} \times \sqrt{\frac{f}{M v^{2/3}}}$$

wobei f den Schmelzpunkt, M das Atomgewicht und w das Atomvolumen bedeutet. Kürzlich stellt derselbe Forscher die Formel auf:

c) $$\nu = 1{,}095 \times 10^{14} \times \sqrt{\frac{d.n}{M}}$$

wo M ebenfalls Atomgewicht, d die Dichte und n die Valeur ist.

In der folgenden Tabelle III sind die Eigenfrequenzen, die aus der experimentell bestimmten Atom- bezw. -berechnet worden sind, mit den nach anderen Methoden bestimmten verglichen. Dabei ist bei der Berechnung nicht der ursprünglich von Einstein abgeleitete Ausdruck benutzt worden, sondern eine von Nernst und Lindemann aufgestellte Formel. Dieselbe lautet:

d) $$C_v = \left[\frac{\left(\frac{\beta\nu}{T}\right)^2 \exp. \frac{\beta\nu}{T}}{\left(\exp. \frac{\beta\nu}{2T} - 1\right)^2} + \frac{\left(\frac{\beta v}{2T}\right)^2 \exp. \frac{\beta\nu}{2T}}{\left(\exp. \frac{\beta\nu}{2T} - 1\right)^2} \right] \frac{3}{2} R$$

In dieser Formel bedeutet T die absolute Temperatur, R die Gaskonstante β ist eine universelle Konstante, welche mit dem Planckschen Wirkungsquantum h durch folgende Gleichung verbunden ist:

$$\beta = N \times \frac{h}{R}$$

Der Wert dieser Konstante ist demnach:

$$\beta = 4{,}865 \times 10^{-11}$$

TABELLE III — EIGENFREQUENZEN DER ATOME

	nach Gl. *a*)	nach Gl. *b*	nach Gl. *c*)	nach Gl. *d*)
Al.....	$6{,}7 \times 10^{12}$	$7{,}6 \times 10^{12}$	$8{,}2 \times 10^{12}$	$8{,}3 \times 10^{12}$
Cu	$5{,}7 \times 10^{12}$	$6{,}8 \times 10^{12}$	$7{,}2 \times 10^{12}$	$6{,}6 \times 10^{12}$
Ag	$3{,}8 \times 10^{12}$	$4{,}4 \times 10^{12}$	$4{,}6 \times 10^{12}$	$4{,}4 \times 10^{12}$
Hg	—	$1{,}3 \times 10^{12}$	$2{,}0 \times 10^{12}$	$2{,}2 \times 10^{12}$
Pb	$2{,}2 \times 10^{12}$	$1{,}8 \times 10^{12}$	$2{,}5 \times 10^{12}$	$1{,}9 \times 10^{12}$
Diamant	—	$34{,}1 \times 10^{12}$	$34{,}1 \times 10^{12}$	$40{,}0 \times 10^{12}$
S.....	—	$3{,}9 \times 10^{12}$	$6{,}6 \times 10^{12}$	$7{,}3 \times 10^{12}$
J	—	$1{,}7 \times 10^{12}$	$1{,}9 \times 10^{12}$	$2{,}0 \times 10^{12}$

Die Uebereinstimmung, welche wir in dieser Tabelle sehen ist eine überraschende und zwar um so mehr überraschend, wenn wir beachten, dass die Vorstellungen, welche den Ableitungen aller angeführten Formeln zugrundeliegen, sehr rudimentär sind. Nicht ein Mal geht es aus den Betrachtungen klar hervor, was man als Eigenschwingung eines aus Molekülen aufgebauten festen Körpers ansehen soll. Vor kurzem haben sich mit den dabei entspringenden Schwierigkeiten Debye, Natanson, Born u. Kàrman und *Brillouin* beschäftigt. Aus diesen *Untersuchungen* springt es hervor, dass es in der Tat in festen Körpern, welche wir uns aus Raumgittern aufgebaut denken dürfen, gewisse Grenzfrequenzen gibt, die einigermassen als Eigenfrequenzen aufgefasst werden können.

Debye einerseits, Born und Kàrman andererseits, gelangen dabei zu einer Formel für den Verlauf der spezifischen Wärme mit der Temperatur, welche in ganz ausgezeichneter Weise die beobachteten Werte widergibt.

Die Grenzen dieses Vortrages erlauben mir nicht noch auf eine Reihe von anderen Untersuchungen einzugehen, welche ihren Ursprung auch in der Quantenhypothese finden. Diese kurze Uebersicht zeigt schon zur Genüge, wie die mit dem Quantenbegriff zusammenhängenden Ideen, befruchtend auf die experimentelle und theoretische Forschung gewirkt haben.

Eins ist aber scharf hervorzuheben: Dem Quantenbegriff als solchen, sind wir durch alle diese Untersuchungen kaum näher gerückt. Umgekehrt, eine ruhige Kritik der Verhältnisse lässt durchblicken, dass die ursprüngliche Quantenhypothese nicht haltbar sein wird. Hr. Einstein zeigt in einer höchst wichtigen Betrachtung, dass das photochemische Aequivalenzgesetz, einer der schönsten Erfolge der Quantentheorie, auch ohne dieselbe aus anderen, sehr einfachen Prämissen abzuleiten ist. Ich glaube daher mit Hrn. Einstein und anderen Physikern der Gegenwart in Einklang zu sein wenn ich sage:

Die Quantentheorie vom Jahre 1905 ist ein überwundener Standpunkt.

Um so mehr können wir uns fragen, wie kommt es, dass der an sich so unklare und mit den bisherigen Anschauungen widerspruchsvolle Begriff des Energiequantums, einen solchen gewaltigen Anstoss zur erfolgreichen Forschung geben konnte? Die Beantwortung dieser Frage müssen wir, meines Erachtens, in der Antwort auf eine viel allgemeinere Frage suchen und zwar in der auf die Frage: Was ist der Zweck und der Wert einer physikalischen Theorie?

Der wichtigste Baustein der Physik, wie auch jeder Naturwissenschaft, ist die Erfahrung. Bei dem Sammeln derselben bedienen wir uns unserer Sinne, deren Vollkommenheit wir durch unsere physikalischen Instrumente erweitern. Die experimentelle Methode erlaubt kritisch bei dem Sammeln der Tatsachen vorzugehen, die bestimmenden Bedingungen einer physikalischen Erscheinung festzusetzen, neue unbekannte aufzufinden.

Nachdem wir die Erfahrung gesammelt, beschreiben wir die erhaltenen Resultate und das Bestreben dieses möglichst vollständig und doch auf einfachste Weise zu tun, im Sinne der

bekannten Auffassung von Kirchhoff, gibt die erste Veranlassung zum Aufbau einer Theorie. Eine einfache Beschreibung einzelner Erscheinungen kann aber nicht als der einzige Zweck der Theorie angesehen werden. Die Erfahrung lehrt uns, dass manche auf den ersten Blick sehr verschiedene Erscheinungen zu einander in nahem Verhältnis stehen und wir glauben, dass alle physikalische Geschehenisse harmonisch mit einander verknüpft sind. Die Tatsache, dass Analogieschlüsse uns oft auf neue Entdeckungen mit Erfolg führen, bekräftigt uns in diesem Glauben. Daher verlangen wir von einer Theorie, dass sie uns den Weg zur Erforschung geahnter Zusammenhänge zeigt. Die Mittel, welche die physikalische Theorie zur Erfüllung dieses Zweckes besitzt, sind leider sehr beschränkt. Das was wir uns von den Erscheinungen denken, was wir sozusagen intuitiv von ihrem Zusammenhang fühlen, bestreben wir in Worten zum Ausdruck zu bringen. Wenn schon die menschliche Sprache überhaupt recht unvollkommen unsere Gedanken zum Ausdruck bringen kann, so hat die wissenschaftliche Sprache durch ihre, zwar sehr konsequente, aber auch zugleich sehr einseitige Entwicklung, gewissermassen den Gegensatz zwischen Wort und Gedanken noch verschärft. Entsprechend unserem visuellen Sinne, welcher bei den meisten Menschen als der vollkommenste anzusehen ist, arbeiten wir auch im Geiste am liebsten mit Gebilden, die wir uns visuell vorstellen können. Ja, ein so wichtiges Denkmittel, wie die mathematische Methode, hat sich zum grössten Teil auf unsere visuellen Empfindungen aufgebaut. Daher operiert die physikalische Theorie stets mit Gebilden, welche dem visuellen Sinn entsprechen. Dass wir über rein physikalische Erscheinungen und ihren Zusammenhang nicht notwendig mit visuellen Gebilden denken müssen, beweist die Tatsache, dass besonders auf andere Sinne veranlagte Menschen auch nichtvisuell logisch denken können. So denkt der geniale Musiker bei seinen musikalischen Deduktionen stets auditiv. Die ganze Harmonielehre und Kompositionslehre ist auf rein auditive Begriffe aufgebaut, im Gegensatz zur visuellen physikalischen Akustik. Es liegt nun in der Tradition der Physik mit visuellen Methoden zu arbeiten und

dem entsprechend hat sich auch unsere wissenschaftliche Sprache entwickelt. Wenn auch, infolge der grossen Vollkommenheit unseres Gesichtsinnes, dieses einen gewissen Vorteil in Bezug auf die Präzision und die Oekonomie des Denkens bietet, so können wir nicht umhin, in dieser Tatsache auch eine gewisse Beschränkung zu erblicken.

Durch das tiefe Hineindenken in die Verhältnisse des Geschehens in der Natur, wird im Geiste des Forschers die Ahnung des Zusammenhanges gewisser Tatsachen geweckt. Um Nutzen von dieser Ahnung zu ziehen, fixiert er sozusagen dieselbe an einem Bild, welches für ihn adäquat mit dem wirklichen Zusammenhang ist. Jedesmal wo er an das Bild denkt, wird in seinem Geiste die entsprechende Ahnung geweckt. Dies Bild kann nun der Forscher in Worten anderen Menschen mitteilen, es ist aber nicht gesagt, dass es auch bei Anderen dieselben Ahnungen hervorbringt, wie bei ihm selbst. Er ist dann ähnlich einem Amateur-Photographen, welcher sich wundert, dass die mässigen Bildern, die er seien Freunden zeigt, diese nicht in gleiche Stimmung versetzen, wie ihn, der zugleich an das Original denkt. Anders der geniale Theoretiker; dieser bringt seine Stimmung in Bildern zum Ausdruck, welche auch Anderen seine Ahnungen zu suggerieren im Stande sind. Dabei braucht das Bild nicht gleich vollkommen und präzis zu sein. So wie eine Rodinsche Statue, kaum in Umrissen aus dem Marmorblock austretend, kann es uns die volle Empfindung des Schönen und Erhabenen der Harmonie des Geschehens in der Natur geben. In dieser Suggestionsfähigkeit besteht das künstlerische des Schaffens eines Theoretikers. Eine noch so vollkommene phänomenologische Theorie wirkt daher öfters weniger anregend, als ein nicht so klares aber künstlerisches Bild einer Hypothese. Wenn wir daher den Wert einer Theorie beurteilen wollen, müssen wir dieses künstlerische Moment mit berücksichtigen. Der weitere Fortschritt der Wissenschaft hängt von demselben in grossem Maasse ab und in der Förderung desselben liegt ja der Hauptwert jeder Theorie.

In dem bezeichneten Sinne müssen wir die Quantenhypothese als besonders künstlerisch bezeichnen. Der Quanten-

begriff ist zwar mit einem Bild zu vergleichen, welches wir aus weiter Ferne durch einen dichten Schleier betrachten. Die Umrisse, welche hervortreten, erlauben nicht einmal ihren Zusammenhang mit dem Ganzen zu entdecken. Was wir aber sehen, ist schön und kraftvoll genug, um in unserem Geiste die Ahnung der Wahrheit zu wecken.

Ueber die Erforschung der luftelektrischen Erscheinungen

Von E. Wiechert

Blitz und Donner erschreckten seit den ältesten Zeiten das Menschengeschlecht. Das furchtsame Gemüt sah in ihnen Wahrzeichen zürnender Götter. — Als die erwachende Naturwissenschaft die Elektrizität kennen lernte, als der Forscher elektrische Funken springen sah, ihren Knall hörte, kam bald der Gedanke, dass Blitz und Donner wohl nichts anderes als machtvollere Entfaltung der gleichen Naturkräfte seien. Franklin bewies es, indem er mittels des Drachen die Elektrizität vom Himmel herunter holte. Es kam nun die Zeit, wo viele Gelehrte diese Versuche in vielfachen Variationen wiederholten. In der Stadt Göttingen, die mir jetzt Heimat bietet, war es der bekannte Physiker Lichtenberg, der sie den Studenten oftmals vorführte. Dabei ging er mit ihnen auf den Hainberg, nahe der Stadt, um die Drachen steigen zu lassen. Das Geschick hat es gefügt, dass dort jetzt das Geophysikalische Institut der Universität steht, zu dessen wesentlichen Aufgaben es gehört, sich der luftelektrischen Forschung zu widmen.

Die Wissenschaft ist vorwärts gegangen. Das Gewitter ist uns heute nur noch eine Einzelerscheinung in einer Fülle von luftelektrischen Vorgängen, die in der mannigfachsten und merkwürdigsten Weise unter einander und mit andern kosmischen Erscheinungen verkettet sind. Wohl werde ich Ihnen darzulegen haben, dass wir noch des Rätselhaften genug sehen,

aber Dank der hingebenden Arbeit einer grossen Zahl von Forschern sind doch vielerlei bedeutungsvolle Erfolge errungen. Weite und schöne Ausblicke öffnen sich uns schon jetzt, hoffnungsfroh dürfen wir vorwärts blicken.

Es ist erkannt worden, dass die luftelektrischen Vorgänge zwar in vieler Hinsicht lokal bedingt sind, aber doch in ihrer Entfaltung weite Gebiete, vielleicht in festem Zusammenhang die ganze Erde umfassen. So richtet sich der Blick des heutigen Luftelektrikers in die Ferne. Die Arbeit des Einzelnen, so wichtig sie ist, muss Anschluss suchen an das gleichgesinnte Vorgehen vieler Anderer. Es war dieser Gesichtspunkt, der im Jahre 1901, als die moderne luftelektrische Forschung ihre Schwingen eben zu kraftvollem Fluge geöffnet hatte, die Deutschen Akademien, denen Wien zugestellt ist, zu gemeinsamer Arbeit zusammen fügte [1]. Eine gemeinsame Kommission für luftelektrische Forschung wurde gegründet. Alljährlich vereinigen sich seitdem die Mitglieder an wechselnden Orten zu persönlichen Beratungen und Berichten. Dabei werden auch Männer zugezogen, die den Akademien nicht direkt angehören, aber sachverständig und bereit sind, an den Arbeiten sich zu beteiligen. Bei der Versammlung in diesem Jahr, die im Juni in München tagte, hatten wir die besondere Freude, einen Vertreter der Schweiz, Herrn *A. Gockel,* begrüssen zu können, dem die luftelektrische Forschung schon so vieles Wertvolle verdankt. —

Es kann heute nur mein Ziel sein, eine kurze Uebersicht über das Gesamtgebiet zu geben; insbesondere werde ich darauf hinweisen müssen, wo zur Zeit das Feld der vorwärts strebenden Arbeit liegt. —

Die Sinne des Menschen reichen nicht weit, schnell kommen wir an Grenzen, wo sie versagen. Es ist Aufgabe der Naturwissenschaft, durch zweckmässige Hilfsmittel und durch das Experiment die Sinne zu verschärfen. Das Forschungsgebiet der Luftelektrizität bietet uns ein schönes Beispiel hierfür. Ist die Luft frei von gröberen Staubteilchen, so zeigt uns das Auge in

[1] Die Anregung wurde von meinem Göttinger Kollegen *E. Riecke* gegeben.

der Nähe nichts von ihr und doch umfasst sie eine ganze Welt von Vorgängen in allen ihren Teilen ! — Zunächst lehrt uns die Wissenschaft mit geistigen Augen die Moleküle sehen, welche die Luft zusammensetzen : Stickstoff-, Sauerstoff-, Argon-Moleküle u.s.f. In jedem Kubikzentimeter schon sind ca. 3.10^{19} dieser Moleküle vorhanden, von denen ein jedes etwas kleiner als ½ Milliontel Millimeter ist. Mit Geschwindigkeiten von mehreren Hundert Meter in der Sekunde fahren sie hin und her, so den Gas-Druck erzeugend und einander stossend. Wir wissen, dass die Atome des Stickstoffs, des Sauerstoffs u.s.f., welche die Molekühle aufbauen, sehr komplizierte Gebilde sind, für die Vorstellung durchaus nicht « unteilbar » wie der altehrwürdige Name « Atom » dem nichtwissenden Aussenstehenden vortäuschen könnte.

Zu den Bausteinen der Atome gehören auch die « *Elektronen* », negativ geladene Gebilde, welche die kleinste uns bekannte Menge der Elektrizität tragen, das elektrische « Elementarquantum ». Es beträgt $4,7 \cdot 10^{-10}$ elektrotatische Einheiten. Das gleiche Quantum von positiver Elektrizität ist ebenso die kleinste vorkommende Menge positiver Art ; aber niemals bisher haben wir Anzeichen dafür kennen gelernt, dass es den negativen Elektronen entsprechende selbständige positive Gebilde gibt. Jede elektrische Ladung stellt sich nun dar als ganzes Vielfaches des Elementarquantums, sodass die Elektrizität an der atomistischen Struktur der Materie Anteil hat, ja, die Elektrizität erscheint uns heute als nichts anderes als die Materie selbst, besser gesagt als eine besondere Erscheinungsform der Materie. Auch jene Elektronen, von denen ich sprach, haben « Masse » wie die Materie sonst. Die Masse des Elektrons ist allerdings viel kleiner — etwa 1800 Mal kleiner — als die eines Wasserstoff-Atoms. — Die Elektronen kommen auch frei vor, sie bilden so die *Kathodenstrahlen,* die β-Strahlen radioaktiver Körper ; sie lösen sich auch ab, wenn Licht-, wenn Röntgen-Strahlen auf Materie fallen (« Photoelektrizität »).

Die letzten Jahre des vorigen Jahrhunderts haben gelehrt, dass manche materiellen Atome im Laufe der Zeit zerfallen, es sind dies die Atome der sogenannten « radioaktiven » Elemente.

Der Zerfall ist, wie der Name andeutet, meist mit Strahlung verbunden. Wir unterscheiden dabei α-, β-, γ-Strahlung. Bei der α-Strahlung wird von dem zerfallenden Atom ein mit dem zweifachen Elementarquantum geladenes Helium-Atom ausgestossen, bei der β-Strahlung ein einzelnes Elektron. Bei der γ-Strahlung gehen Strahlen in die Ferne, welche genau das Verhalten der Röntgenstrahlen zeigen. Ueber das Wesen der γ-Strahlen, wie über das der Röntgen-Strahlen ist man sich heute noch nicht ganz einig, meist wird angenommen, dass die Röntgen-Strahlungen ähnlicher Art seien wie die des Lichtes, also Strahlungen elektromagnetischer Wellen. Sei es nun, dass es sich um Stosswellen oder um Wellen mit vielen aufeinander folgenden Schwingungen handelt. Jedenfalls muss die Stosszeit oder die Periode vielmals kürzer als die Periode des gewöhnlichen Lichtes sein. — Die α-Strahlen kommen wegen des verhältnismässig grossen Umfanges ihrer Teilchen nicht weit, wenn sie in Materie eindringen. In gewöhnlicher Luft ist die « Reichweite » nur einige Centimeter. Die β-Strahlen gehen vielmals weiter, bei weitem am durchdringendsten sind aber die γ-Strahlen. Die besonders stark durchdringenden Strahlen, z. B. diejenigen welche Ra-C aussendet, werden auf die halbe Intensität erst gebracht, wenn sie einige Hundert Meter gewöhnlicher Luft durchlaufen.

Wenn in einer Flüssigkeit oder einem Gas einzelne Atome, Moleküle oder Gruppen von Molekülen geladen sind, so nennt man die geladenen Teilchen « Ionen ». Man wendet diesen Namen öfters auch auf freie Elektronen und selbst auf geladene Staubteilchen an. — Die Leitung in einem Metall beruht auf der Bewegung der Elektronen, die Leitung in Flüssigkeiten und Gasen auf die Bewegung von Ionen. Geladene Atome oder kleine Gruppen von Atomen zeigen sich als leicht beweglich; sie sind es, die für die Leitung der atmosphärischen Luft besonders in Betracht kommen. Als Maass der « *Beweglichkeit* » pflegt man die Wanderungsgeschwindigkeit zu wählen, welche zu einer treibenden Kraft von 1 Volt per Centimeter gehört. Diese Wanderungsgeschwindigkeit ist bei einzelnen Atomen und Atomgruppen von der Grössenordnung 1 cm/sec.

Die α-, β-, γ-Strahlen, und auch das kurzwellige Licht, jonisieren die Gase, durch welche sie hindurch gehen. —

I. Leitfähigkeit der Luft.

Was ich bisher sagte, bitte ich als Einleitung zu betrachten. Indem ich nun zu meinem eigentlichen Thema übergehe, habe ich als eine Erscheinung von entscheidender Bedeutung zuvörderst hervorzuheben, dass die atmosphärische Luft, so wie sie uns umgibt, leitet; *sie enthält also Jonen.* Als man die Leitung zuerst bemerkte, dachte man zur Erklärung an die Wirkung des Staubes. Dieser ist aber nicht der wesentliche Faktor, denn es zeigt sich, dass die Luft um so besser leitet, je staubfreier sie ist. Die Durchsichtigkeit kann geradezu als ein rohes Maass für die Leitfähigkeit gelten. Das Experiment lehrt, dass die Anwesenheit jener leicht beweglichen Jonen das Bedingende ist, von denen ich soeben sprach, also jener Jonen, die nur einzelne Atome oder Atomgruppen mit wenigen Atomen umfassen. Neben diesen Jonen zeigt sich aber auch der Staub elektrisch geladen. Nicht genau, aber doch in Annäherung sind sowohl von den leicht beweglichen Jonen als auch von den Staubteilchen gleich viele der positiv und der negativ geladenen vorhanden. Indem man durch hinreichend starke elektrische Felder die geladenen Teilchen einem abgemessenen Luftquantum entzieht, kann man auf den Inhalt der Luft an freier Elektrizität schliessen. Und indem man die Grösse des Elementarquantums berücksichtigt, erhält man auch die Jonenzahl («Jonenzählung»). Es zeigt sich, dass die Jonenzahl erheblich schwankt. So ungefähr sind es gewöhnlich von den leicht beweglichen, von den «Leitungsjonen» beider Arten, je 500 im Kubikzentimeter. Bezeichnet man die Menge der Elektrizität, welche von den leicht beweglichen Jonen im Kubikmeter im Ganzen getragen wird mit I_+ und I_-, so liegen I_+ und I_- gewöhnlich in der Nachbarschaft von $^1/_4$ elektrostatischer Einheit positiver oder negativer Elektrizität. Die Anzahl der Staubteilchen ist in der Regel vielmals grösser als die der leicht beweglichen Jonen. Entsprechend sind auch die Gesamtladungen im Kubikmeter,

welche von Staubteilchen getragen werden, vielmals grösser als I_+ und I_-, da aber die Staubteilchen mehr als 1000 Mal geringer beweglich sind als die molekularen Jonen, ist trotzdem ihr Anteil an der Leitfähigkeit unwesentlich. — Zur Bestimmung der Leitfähigkeit gibt es bequeme direkte Methoden. Man kann die Leitfähigkeit aber auch berechnen, wenn man den Inhalt an Elektrizität I_+, I_- beobachtet und die mittlere Jonenbeweglichkeit als bekannt durch anderweitige Beobachtungen voraussetzen darf. Dem vorher angegebenen mittleren Werten $I_+ = I_- = {}^1/_4$ es. E.[1] entspricht eine Leitfähigkeit $\lambda = 2.10^{-4}$ in elektrostatischen Einheiten. Dies heisst folgendes: Wirkt eine elektrische Kraft von der Intensität 1 im elektrostatischen Maass (das entspricht einem Potentialfall von 300 Volt auf 1 cm), so entsteht ein Strom, der in 1 Sekunde durch jeden Quadratcentimeter 2.10^{-4} elektrostatische Einheiten von Elektrizität hindurch bewegt. —

Wird ein geladener Körper der freien Atmosphäre ausgesetzt, so verschwindet seine Ladung wegen der Leitfähigkeit der Luft allmählich. Man nennt dies Phänomen die «*Elektrizitätszerstreuung*». Bei positiver Ladung werden die negativen Jonen angezogen und geben ihre Ladung ab; nur diese negativen Jonen kommen in diesem Fall für die Zerstreuung in Betracht, denn ein Ausstossen positiver Jonen findet unter den gewöhnlichen Verhältnissen nicht statt. Umgekehrt wird die Zerstreuung negativ geladener Körper durch positive Jonen übernommen. Demgemäss wird zwischen der Zerstreuung positiver und Zerstreuung negativer Elektrizität, oder auch, kürzer ausgedrückt, zwischen positiver und negativer Zerstreuung unterschieden. Entsprechend unterscheidet man zwischen positiver und negativer Leitfähigkeit, λ_+ und λ_-. Dabei gehört die positive Leitfähigkeit zur negativen Zerstreuung und die negative Leitfähigkeit zur positiven Zerstreuung. Für die Elektrizitätsbewegung im Innern der Luft summieren sich die Wirkungen beider Jonenbewegungen, es ist also die gesamte Leitfähigkeit gleich der Summe der beiden polaren Leitfähigkeiten:

[1] Abkürzung für «elektrische Einheiten».

$\lambda = \lambda_+ + \lambda_-$. Da die negativen Jonen etwas beweglicher sind als die positiven, ist im vorhin angenommenen Fall, wo $\lambda = 2.10^{-4}$ war, λ_- etwas grösser, λ_+ etwas kleiner als 1.10^{-4} anzusetzen. —

Ich habe von der Leitfähigkeit der atmosphärischen Luft als einer Tatsache gesprochen; die Jonen sind eben in der Luft vorhanden. Denken wir uns jetzt einmal alle Ursachen neuer Jonisierung von einem bestimmten Zeitmoment ab fort, dann werden die Jonen der beiden Arten sich gegenseitig mehr und mehr vereinigen und es wird die Jonisierung herabsinken. Das Gesetz hierfür ist bekannt. Der Einfachheit wegen will ich gleich viel Jonen beider Arten annehmen, sodass die Ladungen I_+, I_- einander gleich sind: $I_- = -I_+$, dann darf gesetzt werden:

$$\frac{dI}{dt} = -\alpha I^2,$$

wobei α eine gewisse Konstante ist, und I für I_+ gesetzt wurde. Nahezu ist erfahrungsmässig $\alpha = 1/300$, wenn I nach elektrostatistischen Einheiten im Kubikmeter gerechnet wird. — Aus dem hingeschriebenen Differentialgesetz folgt das Integralgesetz:

$$I\,(t - t_0) = \frac{1}{\alpha},$$

wobei t_0 eine neue Konstante (Integrationskonstante) ist, die von jener Jonisierung abhängt, welche im Augenblick herrschte, wo alle jonisierenden Ursachen ausgeschaltet wurden. Zu $t = t_0$ gehört $I = \infty$, denken wir uns also die Anfangsjonisierung äusserst hoch und rechnen die Zeit vom Moment der Ausschaltung der jonisierenden Ursachen, so kann unsere Formel einfacher geschrieben werden:

$$I = \frac{1}{\alpha t}.$$

Im Falle der Luft, wo $\alpha = 1/300$ zu setzen ist, gibt das:

$$I = \frac{300}{t}.$$

Hieran können wir in bequemer Weise unsere Folgerungen knüpfen:

Es ergibt sich

nach 1 Sekunde,	also für	$t =$	$1 : I = 300$	es. E./cbm.
» 20 Minuten,	»	» $t =$	$1200 : I = 1/4$	» »

und von diesem Zeitmoment gerechnet

20 Minuten später,	also für	$t =$	$2400 : I = 1/2\ 1/4$	es. E./cbm.
1 Stunde »	»	» $t =$	$4800 : I = 1/4\ 1/4$	» »
5 Stunden »	»	» $t =$	$19200 : I = 1/16\ 1/4$	» »

Nach 1 Sekunde ist noch $I = 300$ es. E. kommen also auf die Gesamtladung der positiven und negativen Jonen im Kubikmeter noch je 300 elektrostatische Einheiten. Für $t = 1200$, d. h. nach 20 Minuten ist I auf $1/4$ es. E. gesunken, hat also etwa den gewöhnlichen Wert in der freien Atmosphäre erreicht. Unter diesen Umständen lehrt uns die Tabelle, für die Zeiten von diesem Augenblick ab, wie in der Atmosphäre die Jonisierung abnehmen würde, wenn bei der gewöhnlich vorhandenen Jonisierung plötzlich die jonisierenden Umstände fort fielen. Wir sehen, dass schon nach einer Stunde die Jonisierung auf $1/4$ des Anfangswertes herabgesunken wäre. So folgt denn mit Sicherheit, dass *dauernd wirkende jonisierende Ursachen in der Atmosphäre vorhanden sein müssen.* Es kann auch nicht etwa dem Sonnenlicht die Ursache zugeschrieben werden, denn wir finden die Jonisierung auch die ganze Nacht hindurch, also viele Stunden nachdem die Sonne untergegangen ist. —

Welches sind die Ursachen? — Man hat eine der Ursachen in radioaktiven Beimengungen der Luft gefunden. In erster Linie wirken mit die Zerfallsprodukte des *Radiums,* nämlich die Emanation und ihre Abkömmlinge, Ra-A, Ra-B, Ra-C. Bedeutsam sind ferner die Zerfallprodukte des *Thoriums* und bemerkbar auch die des *Aktiniums.* Vielfache Experimente haben uns über diese Verhältnisse Aufschluss gegeben und es sind für die Messungen spezielle, bequeme Versuchsanordnungen ausgearbeitet worden.

Die radioaktiven Beimengungen der Luft sind so reichlich vorhanden, dass man vermuten könnte, sie deckten durch ihre

α-, β- und γ-Strahlung den ganzen Betrag der Jonisierung. Völlig anerkannt ist dieses heute freilich noch nicht, es gibt auch Stimmen dagegen; jedenfalls aber handelt es sich bei der radioaktiven Beimischung um einen Hauptfaktor der Jonisierung. —

Hier zeigt sich noch eine Eigentümlichkeit, die besondere Beachtung verdient. Ich sagte schon, dass von den drei Strahlenarten die durch α, β, γ gekennzeichnet werden, die γ-Strahlen weitaus am durchdringendsten sind. Bei der Jonisierung der Luft machen sich nun Strahlen vom Durchdringungsvermögen der γ-Strahlen besonders bemerkbar. Um sie zu beobachten schliesst man ein Luftquantum ganz in Metall ein und wählt dabei die Dicke der Wandung so, dass die α- und die β-Strahlen abgeschirmt werden. Man untersucht dann die Jonenbildung im Innern der Kapsel, indem man beobachtet, wie schnell die Jonen einen geschlossenen elektrisierten Körper zu entladen vermögen. Wird die Kapsel darauf mit einem sehr dicken Mantel von Materie, z. B. von einem 5—10 cm dicken Bleimantel umgeben, so vermindert sich die Jonenbildung im Innern — ein Zeichen dafür, dass vorher Strahlen eindrangen, die nun abgeblendet werden. — Dass *überhaupt* stark durchdringende Strahlen auftreten, ist nicht auffällig, denn sie sind ja mit dem Zerfall der in der Luft vorhandenen radioaktiven Stoffe verknüpft. *Auffällig* ist aber ihre grosse Fülle. Diese scheint nach den Beobachtungen so gross zu sein, dass ein recht erheblicher Bruchteil der ganzen Jonisierung der Luft damit erklärt wird. Nun haben andererseits die Untersuchungen der Wirkungen radioaktiver Stoffe gelehrt, dass bei diesen stets nur ein sehr kleiner Bruchteil des ganzen Jonisierungseffektes auf Rechnung der γ-Strahlen kommt. Entweder ist man also genötigt diese Beobachtungen in Frage zu stellen oder man muss die Quelle der sehr durchdringenden Strahlung in der Atmosphäre nicht in ihren radioaktiven Beimengungen suchen. In der Tat hat man Hypothesen in letzterer Richtung aufgestellt. Es wurde entweder angenommen, dass die sehr durchdringenden Strahlen vom Weltenraum in die Atmosphäre eindringen, oder, dass sie vom Erdboden stammen. Gegen die Annahme des ausserir-

dischen Ursprunges spricht, dass die Intensität der Strahlung mit der Höhe über dem Meeresspiegel nicht in dem zu erwartenden Maasse steigt, gegen die Annahme des Ursprunges von dem festen Erdkörper, dass auch bei der Erhebung in die freie Atmosphäre mittels des Luftballons keine entsprechende Abnahme der Intensität eintritt. — Ich möchte es mir versagen, hier eine besondere Vermutung darüber auszusprechen, wo eine Erklärung zu suchen wäre, will vielmehr die Lösung des Rätsels der Zukunft überlassen. Bemerken will ich nur, dass das bisherige Beobachtungsmaterial, so wertvoll es ist, mir in mehr als einer Hinsicht nach ergänzungsbedürftig scheint.

Einen Hauptfaktor der Jonisierung der Luft fanden wir in ihren radioaktiven Beimengungen. Für die Radiumreihe zeigte sich dabei die Emanation als Muttersubstanz. Diese Emanation hat eine Halbwertzeit von etwa 4 Tagen, d. h. eine abgeschlossene Menge sinkt in je 4 Tagen auf die Hälfte des Betrages. Hieraus folgt unmittelbar der ausserordentlich wichtige Schluss, dass eine beständige Erneuerung des Emanationsgehaltes in der Luft stattfinden muss. Aehnliches gilt von den übrigen hier wesentlichen Reihen von radioaktiven Abkömmlingen. Wie geschieht nun die Erneuerung? Diese Frage führt uns zu einem weiteren grossen Gebiet der luftelektrischen Forschungen. Der richtige Weg zur Antwort scheint uns Dank den schon vorliegenden Arbeiten bekannt zu sein. Wir werden den Ursprung der radioaktiven Beimengung der Luft im Erdboden und im Meerwasser zu suchen haben. Sowohl die Gesteine, wie auch das Meerwasser enthalten die hier in Betracht kommenden radioaktiven Substanzen, zwar nur in geringen, aber doch in ausreichend scheinenden Mengen.

Beschränken wir uns auf die Besprechung des *Radiumgehaltes,* wo ein grosses Beobachtungsmaterial schon vorliegt. Der gewöhnliche Gehalt der Luft im Kubikmeter an Radiumemanation ist so klein, dass zur Deckung des Zerfalles ca. 10^{-10} g Radium genügend wären. Die Gesteine der Erdrinde anderseits enthalten in jedem Kubikmeter meist $1—2.10^{-6}$ g Radium, genügend also für die Nachlieferung an 10000—20000 Kubikmeter Luft. Seewasser enthält ca. 300 Mal so viel Ema-

nation als die Luft. Die feste Erdoberfläche ist überall porös, so muss überall Emanation heraus diffundieren. Unterstützt wird dieser Prozess durch den Wind und durch die Barometerschwankungen («Bodenatmung»). Bei der See ist der Gehalt wohl geringer, dafür aber sorgt die Wellenbewegung für Verstärkung der Abgabe. Ob nun freilich die Bilanz: Erdkörper und See auf der einen Seite, Atmosphäre auf der anderen Seite, genau stimmt, wage ich nicht mit Sicherheit zu behaupten; weitere Beobachtungen scheinen noch sehr erwünscht. —

II. Freie Ladungen.

Die Leitfähigkeit der Luft bewirkt einen beständigen Ausgleich der Elektrizität zwischen allen elektrisch geladenen Körpern in ihr. Dennoch finden wir freie Ladung im Bereiche der Atmosphäre! Das stellt den Luftelektriker vor neue Aufgaben der Forschung.

Orientieren wir uns zunächst etwas über die Beobachtungsergebnisse. Es zeigt sich, dass die gegen den Luftraum gerichtete Oberfläche der Erde selbst geladen ist und zwar von Ausnahmsfällen abgesehen negativ. Dann enthält die Luft selbst überall freie Ladung und zwar ist diese von Ausnahmsfällen abgesehen positiv, also umgekehrt wie die der Erdoberfläche. Die Ladungen machen sich bemerkbar, indem *elektrische Kräfte* erregt werden. In der Hauptsache ist die Anordnung der Ladungen so, dass wir schon eine gute Uebersicht erhalten, wenn wir uns alle Ladungen in horizontaler Schichtung denken. So wollen wir uns denn zunächst die Erde eben vorstellen, die Wolken in horizontalen Schichten etc. Die elektrischen Kräfte sind dann vertikal gerichtet. Indem man an die Spannungen denkt, pflegt man von «*Potentialgefälle*» zu sprechen. Einer elektrischen Kraft E, welche im elektrostatischen Maasssystem die Intensität 1 besitzt, entspricht ein Potentialgefälle P von 30000 Volt auf 1 Meter. Allgemein ist bei gleichen Einheiten

$$E = \frac{P}{30000}$$

Bis 30000 Volt-Meter steigt das Potentialgefälle in der Atmosphäre kaum jemals, selbst nicht bei Gewitter. An gewöhnlichen Tagen liegt es meist bei 100—200 Volt auf 1 Meter.

Zwischen den Ladungen und dem Potentialgefälle gibt der sogenannte Gauss'sche Satz einen sehr einfachen Zusammenhang. Betrachten wir irgend zwei horizontale Flächen (1) und (2), die nahe bei einander, aber auch beliebig weit, selbst viele tausend Meter weit auseinander liegen können, und nennen wir E_1 und E_2 die elektrischen Kräfte in beiden Flächen, ε die zwischen den beiden Flächen auf je 1 Quadratzentimeter der Flächenausdehnung liegende elektrische Ladung, so ist nach dem Gauss'schen Satz:

$$E_2 - E_1 = \pi\varepsilon$$

In der Erde ist $E_1 = o$ zu setzen, so gibt uns unser Satz, wenn (1) in die Erde, (2) direkt darüber gelegt wird, sogleich den Zusammenhang zwischen der Ladung der Erdoberfläche und dem Potentialgefälle dicht darüber. Zu einem mittleren Verhältnissen entsprechenden Potentialgefälle von 150 Volt-Meter gehört eine Ladung von ca. $\frac{1}{2500}$ elektrische Einheiten auf den Quadratzentimeter. Das macht für 1 Quadratkilometer schon ca. 4 Millionen Einheiten!

Die Erdoberfläche ist, wie ich eben sagte, in der Regel negativ geladen, die Luft positiv, so wird die Ladung der Erdoberfläche mehr und mehr kompensiert, wenn wir von der Erdoberfläche höher und höher in den Luftraum hinein gehen; unserer Formel gemäss (wenn wir uns denken, dass eine Ebene fest im Erdboden bleibt, während die andere höher und höher gehoben wird), wird dieses dadurch angezeigt, dass das Potentialgefälle mehr und mehr abnimmt. Schon in 1000—2000 Meter Höhe ist das Potentialgefälle meist auf etwa $^1/_5$ des Wertes unten gesunken, ist also die Kompensation der Ladung der Erdoberfläche bis auf diesen Rest erfolgt. In 6000—7000 Meter Seehöhe ist die Kompensation bis auf wenige Prozent fortgeschritten, wie Ballonfahrten zeigten. So kommt man auf den Gedanken, dass die Atmosphäre im Ganzen vielleicht gerade die Ladung der Oberfläche aufhebt, sodass die Erde sich nach dem Welten-

raum hin als ungeladen darstellt. Dieser Schluss wäre aber doch nicht unbedenklich. Vielleicht herrschen in den grossen Höhen über 10 km, die den luftelektrischen Messungen bisher unzugänglich waren, ganz andere Verhältnisse wie unten. Dort leuchten die Polarlichter, die auf starke elektrische Vorgänge hindeuten, dort müssen wir jene sehr starken elektrischen Ströme annehmen, welche die noch in geheimnisvolles Dunkel gehüllten magnetischen Variationen verursachen. Es taucht auch die Frage auf, ob ein Austausch von Elektrizität zwischen den höchsten Schichten der Atmosphäre und dem Weltenraum stattfinde? Bei der Leichtbeweglichkeit der Elektronen, könnten diese einen Austausch recht wohl vermitteln. Neuere Theorien des Polarlichtes nehmen an, dass die Erde beständig von elektrisch geladenen Teilchen getroffen werde, die von der Sonne ausgestossen werden. So sehen wir, dass die luftelektrische Forschung hier die Blicke weit hinaus in andere Gebiete der kosmischen Physik richten muss. —

Doch kehren wir zurück zu den uns jetzt schon zugänglichen tieferen Schichten der Atmosphäre!

Wegen der Leitfähigkeit der Luft finden beständig elektrische Strömungen statt, welche die Ladungen zu mindern streben. Von Ausnahmsfällen abgesehen ist bei der angegegebenen Verteilung der Ladungen ein elektrischer Strom vorhanden, der von oben nach unten geht. Man nennt ihn den *vertikalen Leitungsstrom.* Infolge dieses Stromes würden die Ladungen schon in Bruchteilen einer Stunde auf die Hälfte sinken müssen, wenn nicht Ursachen im Spiel wären, die sie zu vergrössern streben. Welches sind diese Ursachen?

In aller erster Linie kommen offenbar die *Niederschläge* in Betracht! Regen, Schnee und Hagel zeigen sich fast immer elektrisch geladen und zwar oft sehr stark. So hat man vielfach die Meinung ausgesprochen, dass die Niederschläge die eigentliche Ursache der Ladungen seien, und ich möchte mich dieser Meinung anschliessen. Es lässt sich freilich nicht verkennen, dass die vollständige Erklärung heute noch auf sehr bemerkenswerte Schwierigkeiten stösst. Die luftelektrische Forschung mag daraus für sich einen kräftigen Anstoss zu weiteren Anstreng-

ungen entnehmen. Die Schwierigkeiten liegen in folgendem. Die herabkommenden Niederschläge sind bald positiv, bald negativ geladen. Zur Aufrechterhaltung der tatsächlichen Ladungen von Erdoberfläche und Luft müsste nun angenommen werden, dass negative Elektrizität im Ueberschuss herab geführt wird. Sehr sorgfältige Abschätzungen aber, über die wir gerade bei der diesjährigen Tagung der luftelektrischen Kommission der deutschen Akademien hörten[1], ergaben, dass umgekehrt die positive Eletktrizität bei den Niederschlägen im Ueberfluss zu sein scheint! Das bedeutet einen scharfen Widerspruch gegen unsere Annahme. — Hierbei scheint es mir aber wichtig, dass folgendes nicht ausser Acht gelassen wird. Die Niederschläge bringen so reichlich sowohl positive als auch negative Elektrizität herab, dass der Ueberschuss, um den es sich hier handelt, nur einen verhältnismässig kleinen Bruchteil der ganzen Mengen ausmacht, etwa nur 20 %. Unter diesen Umständen hat bei den sehr grossen Unregelmässigkeiten, welche die Niederschlagselektrizität zeigt, die Abschätzung des Ueberschusses viel Missliches. Das bisher gefundene Resultat, welches unseren theoretischen Ueberlegungen so unerwartete Schwierigkeiten bereitet, könnte vielleicht dort nur einem Zufall zuzuschreiben sein. Aber auch noch eine andere Möglichkeit der Erklärung bietet sich dar. Vielleicht sind die Ueberschüsse herabgeführter negativer Elektrizität in der Tat gar nicht an den wenigen Stellen zu finden, wo bisher die schwierigen Messungen der Niederschlags-Elektrizität ausgeführt wurden. Vielleicht sind sie in den Tropen, oder an den Polen, oder auf dem Meere oder an Bergeshängen zu suchen! Träfe etwas derartiges zu, so wären freilich bedeutsame weitere Schlüsse anzuknüpfen: Es müsste von jenen Gebieten, welche dem Erdkörper die negative Ladung zuführen, zugleich auch in den Höhen der Atmosphäre ein positiver Strom von Elektrizität nach allen Seiten sich ausbreiten. — Will man diese Hypotese verfolgen, so ist man weiter genötigt, eine äusserst hohe Leitfähigkeit der höchsten Schichten der Atmosphäre anzu-

[1] Durch einen Vortrag von *H. Benndorf*, der im Druck erscheinen wird.

nehmen, denn der Weg ist weit und die Dicke der Atmosphäre verhältnismässig klein. Es ist bemerkenswert, dass die Versuche, die erdmagnetischen Variationen zu erklären, eben zu dieser Vorstellung besonders hoher Leitfähigkeit der höchsten Schichten der Atmosphäre geführt haben. Eigentümlichkeiten der Uebertragung radiotelegraphischer Wellen deuten ebenfalls darauf hin. Und auch die luftelektrischen Messungen selbst bieten einige Fingerzeige, welche der Hypothese günstig scheinen. Wir werden hier zur Besprechung einer sehr bemerkenswerten Eigenart geführt, welche die Beobachtungen über den vertikalen Leitungsstrom enthüllt haben. Es hat sich gezeigt, dass dieser Leitungsstrom in der Atmosphäre vom Boden bis zu den höchsten Höhen, welche der Beobachtung zugänglich waren, nur wenig an Stärke variiert, während Potentialgefälle und Leitfähigkeit sehr stark variieren. Es hat sich ferner gezeigt, dass der vertikale Leitungsstrom an der Erdoberfläche zeitlich sehr viel weniger sich ändert, wie jene anderen Elemente. — Alles dies, wie auch manche andere Einzelheiten der luftelektrischen Vorgänge erhalten eine überraschend einfache Erklärung, wenn man annimmt, dass der gut leitenden Erdoberfläche in den grossen Höhen der Atmosphäre ebenfalls eine gut leitende Schicht entspricht, die mit der Erde eine nahezu konstante Potentialdifferenz besitzt. Diese Potentialdifferenz würde dann den vertikalen Leitungsstrom verursachen, der die Erdoberfläche und die höher leitende Schicht verbindet. Es würde sich so z. B. ohne weiteres erklären, dass der Strom mit der Höhe nur wenig variiert. Bei der Verschiedenheit der Leitfähigkeit der Atmosphäre in verschiedenen Höhen würde sich aber auch die Raumladung der Atmosphäre und die Variation dieser Ladung mit der Höhe erklären, ebenso auch die Variation des Potentialgefälles mit der Höhe. Ich will das Bild hier nicht weiter ausmalen, weil ich es vermeiden muss, zu sehr auf Einzelheiten einzugehen.

Nur kurz mag noch erwähnt werden, dass der Einfluss des Nebels, der Wolkenschichten, des Staubes auf das Potentialgefälle ebenfalls leicht verständlich wird. Dass die Hypothese der höheren leitenden Schicht wenigstens bis zu einem ge-

wissen Grade für die luftelektrischen Phänomene Bedeutung hat, glaube ich mit einiger Sicherheit behaupten zu können, fraglich scheint mir nur, auf wie weite Entfernung der Ausgleich in der Höhe vermittelt wird, ob es sich um 100 oder 1000 km handelt oder ob gar die ganze Erde umfasst wird. — Die Potentialdifferenz zwischen dem Erdboden und der Zirrenhöhe (ca. 10 km) beträgt rund $^1/_4$ Millionen Volt.

Es bleibt mir nur noch übrig die Frage zu behandeln, wie dann die Ladung der *Niederschläge* zu erklären ist. Hier sind uns die wesentlichen Gesichtspunkte durch experimentelle Untersuchungen wohl bekannt. Wir wissen, dass die Kondensation bei Bildung der Niederschläge zunächst an den Staubteilchen erfolgt; diese werden zu den ersten «*Kondensationskernen*», wie man zu sagen pflegt. Erst wenn die Staubteilchen von den Tropfen fortgeführt worden sind, kommen die leicht beweglichen Jonen an die Reihe und zwar zunächst die negativen Jonen; nach diesen dann, also zuletzt, die positiven Jonen. So sehen wir, wie kräftige Scheidungen der Elektrizitäten und daher Elektrisierungen der Niederschläge und der zurückbleibenden Luft eintreten können. Man hat auch einige Anzeichen dafür, dass vielleicht noch andere scheidende Kräfte mitwirken.

Blicken wir zurück, so sehen wir, in wie ausserordentlich komplizierter Weise die luftelektrischen Erscheinungen sich abspielen: Radioaktive Bestandteile der Erde diffundieren in die Atmosphäre und zwar in wechselnder Weise, je nach der Beschaffenheit des Untergrundes, nach der Feuchtigkeit im Erdboden, nach der Mitwirkung des Windes, der Barometerschwankungen. Die radioaktiven Teile werden durch Luftströmungen in die Höhe gewirbelt und verursachen durch ihre Strahlungen beim Zerfall Jonisierung der Luft. Dabei wirkt vielleicht die Sonnenstrahlung und eine γ-Strahlung vom Erdboden, vielleicht auch vom Weltenraum mit. Ein Teil der gebildeten Jonen bleibt leicht beweglich, ein anderer wird von Staubteilchen eingefangen, diese elektrisierend. Bei der Wolkenbildung wird durch Tröpfchen die Aussonderung von Jonen bewirkt. Die Niederschläge führen sie fort, so wird der Erd-

boden und durch die zurückbleibenden Jonen auch die Höhe der Atmosphäre elektrisiert. —

Wir erkennen klar, dass der luftelektrischen Forschung noch manche mühevolle Arbeit bevorsteht, ehe sie im Stande sein wird, eine einigermassen vollständige Rechenschaft über ihr Erscheinungsgebiet abzulegen. Ich hoffe aber, dass meine Uebersicht ihnen auch die Berechtigung jener Worte gezeigt haben wird, mit welchen ich im Anfang des Vortrages frohen Mutes auf die jetzt schon gewonnenen schönen Erfolge hinwies. Wer sich dem Studium der luftelektrischen Erscheinungen liebevoll zuwendet, fühlt sich umfangen von jenem herrlichen Gefühl, welches stets der Lohn des Naturforschers ist, wenn er sich von den geistigen Kräften, die dem Menschen vergönnt sind, hinaustragen lässt aus dem Leben des Alltags in die Unendlichkeit der Natur.

Leere Seite
Blank page
Page vide

Atomes et molécules
à la lumière de recherches magnétiques récentes

par

Pierre Weiss

Que la philosophie naturelle s'essaye, ambitieuse, à construire un système du monde et à comprendre tout l'univers dans une explication d'ensemble ou que, plus modeste, elle cherche seulement à dominer les faits par la connaissance des lois, il y a des questions fondamentales auxquelles elles ne saurait se dérober.

Aussi bien que l'architecte des cathédrales gothiques, épris d'idéal, que l'ingénieur utilitaire, le philosophe ne peut se dispenser de connaître la matière avec laquelle il construit.

Les idées sur la constitution de la matière sont aussi vieilles que la science elle-même. Les Grecs déjà eurent recours dans leurs explications à deux conceptions opposées : la continuité et la discontinuité de la matière. Ce sont eux qui ont inventé l'*atome,* c'est-à-dire l'indivisible. Mais en réalité pour eux l'atome n'est qu'une limite pratique de la divisibilité ; l'atome lui-même est, dans leur esprit, formé d'une matière au sens usuel du mot. Et ainsi la continuité qui paraissait évincée réapparaît subrepticement.

On montrerait facilement que la science moderne travaille tantôt avec la notion de continuité, tantôt avec la représentation atomique. Si grandes sont les difficultés du problème, si âpre est la lutte contre l'inconnu que toutes les armes sont bonnes. Même des succès retentissants, obtenus avec l'une des

conceptions, ne suffisent pas à discréditer l'autre. Les phénomènes électriques ont été l'objet de remarquables théories fondées sur des mouvements tourbillonnaires dans des fluides continus. L'éther, cette matière hypothétique, plus subtile que la matière ordinaire, qui a été imaginée pour représenter les phénomènes lumineux est douée de propriétés continues. Mais, incontestablement, c'est l'atomisme qui au cours des dernières années a enregistré les plus grands succès.

Notre point de vue est très différent de celui des Grecs. Nous distinguons de nos jours deux étapes dans la divisibilité de la matière. La première va jusqu'aux atomes des corps simples de la chimie dont nous connaissons actuellement une centaine environ, et jusqu'aux molécules formées par la combinaison des atomes. La seconde a pour objet une investigation bien plus approfondie de la matière, elle en est encore à ses débuts et ne comprend jusqu'à présent que des connaissances très fragmentaires sur certains matériaux qui à leur tour composent tous les atomes chimiques. Cette physique nouvelle s'occupe donc d'objets plus petits que l'atome parmi lesquels le plus connu est l'électron. Mais elle ne se les représente pas comme étant formés d'une matière semblable à celle qui nous est familière par l'expérience journalière. Car tout serait à recommencer à une plus petite échelle. Si l'on considère que dans les descriptions nous procédons habituellement par des images empruntées aux objets qui nous tombent sous les sens on conçoit que pour le « plus petit que l'atome » les moyens d'expression puissent nous faire défaut. Tant que l'on n'allait pas plus loin que l'atome ou la molécule on a en général travaillé avec deux images : la première qui suffisait pour une certaine approximation est le solide invariable de la mécanique, la seconde, la loi de force liée à un centre, empruntée à notre système solaire qui permettait d'aller plus loin dans la représentation des phénomènes. Mais déjà certains symptômes, et en particulier les mystérieuses propriétés des Quanta qui ont fait l'objet de la conférence de M. de Kowalski, montrent que ces images ne suffisent pas. C'est donc au milieu des plus grandes difficultés d'expression et de représentation que croît lentement cette science

nouvelle. Elle ne peut que noter attentivement les quelques traits qu'elle devine de l'image voilée. Je voudrais, dans cette causerie, marquer ces deux étapes de l'atomisme et indiquer plus particulièrement en quoi les études magnétiques ont contribué à la connaissance du plus petit que l'atome.

Les phénomènes chimiques, et notamment cette circonstance que les rapports pondéraux dans lesquels les corps se combinent peuvent s'exprimer par les multiples entiers d'une quantité déterminée de chaque corps simple, ont le plus contribué à faire accepter la discontinuité de la matière. On voit en effet immédiatement que si le chlore et le fer sont composés d'atomes identiques entre eux et si les chlorures de fer résultent de la réunion de ces atomes en nombres différents il en résulte que les quantités de chlore qui entrent en combinaison avec une même quantité de fer dans les divers chlorures sont entre elles comme certains nombres entiers. Par contre, sans le secours des atomes, il est extrêmement difficile de se représenter comment il se fait que, dans les deux chlorures, les quantités de chlore combinées à une même quantité de fer sont dans le rapport de 2 à 3 et pourquoi le chlore ne se mélange pas au fer en toutes proportions comme le sucre à l'eau. L'absence de toute autre explication plausible de la rationalité des rapports pondéraux dans les combinaisons chimiques est l'un des appuis les plus anciens et les plus importants de l'atomisme.

La chimie exige donc que la divisibilité de la matière soit limitée mais elle ne montre pas où se trouve la limite. Si, ayant choisi les masses atomiques on les remplaçait ensuite toutes par leur centième partie, rien ne serait changé dans les formules chimiques. En d'autres termes, jusqu'à présent ce ne sont que les rapports qui interviennent. Cela est tellement vrai que l'on a posé arbitrairement une masse atomique, celle de l'hydrogène, égale à l'unité et qu'on en a déduit toutes les autres. Si l'on suppose en outre que les nombres ainsi obtenus représentent des grammes de matière ils forment la série des atomes-grammes.

Mais cette manière de procéder pose immédiatement le pro-

blème de la détermination du nombre d'atomes vrais dans l'atome-gramme.

Ce nombre — le nombre d'Avogadro — est extrêmement grand $0{,}685 \times 10^{24}$; il est probablement connu à 1 % près. Mentionnons brièvement les phénomènes extrêmement divers qui permettent de le déterminer. Ce sont la compressibilité des gaz, leurs constantes dielectiques. C'est aussi l'agitation incessante de très petites particules solides en suspension, connue depuis longtemps sous le nom de mouvement brownien par les microscopistes et qui est une preuve directe de la structure atomique. Ce mouvement montre en effet le mouvement des molécules à peu près comme le roulis et le tangage d'un navire révèle l'agitation de la mer. Une autre détermination de ce nombre a été faite par J. J. Thomson au moyen de la vitesse de chute d'un brouillard formé de gouttelettes d'eau égales et électrisées. Une autre encore résulte de la mesure de l'énergie rayonnée par un corps incandescent et de sa répartition spectrale.

Il est incontestablement très remarquable que des méthodes de mesure aussi différentes, mettant à contribution des phénomènes aussi divers, conduisent à des résultats concordants. Rien n'est plus propre à fortifier la confiance dans la réalité des atomes. Il n'est plus possible à présent de compter l'atomisme parmi ces doctrines provisoires pour lesquelles on a inventé l'expression très heureuse d'hypothèse de travail. Ce n'est pas une théorie qui représente les phénomènes jusqu'à un certain point seulement et qui exige un nouveau contrôle à chaque nouvelle application. On peut dire qu'elle domine la science tout entière.

C'est intentionnellement que j'ai omis dans l'énumération précédente un dernier groupe de déterminations concordantes du nombre d'Avogadro, à savoir celles qui se rattachent aux phénomènes offerts par les substances radioactives. Elles méritent d'être mentionnées à part comme marquant une étape nouvelle dans la certitude. Les rayons α, émis par les substances radioactives, sont des atomes d'hélium chargé d'électricité et projeté avec une très grande vitesse. Si l'on expose un écran

de sulfure de zinc hexagonal à ce rayonnement, chaque projectile provoque, à l'endroit où il porte, une émission momentanée de lumière. Sous la loupe, l'écran ressemble à un ciel étoilé dont les étoiles s'allumeraient instantanément pour s'éteindre aussitôt. Ce phénomène, découvert par Crookes, est le premier dans lequel nos sens ont pu apercevoir l'effet produit par un atome isolé. On détermine le nombre d'Avogadro en comptant, directement ou indirectement, le nombre des atomes d'hélium projetés par une quantité connue de substance radioactive.

L'atomistique du deuxième degré qui s'occupe des matériaux constituant l'atome a son origine dans la structure atomique de l'électricité énoncée d'abord par Helmholtz. L'électricité, on le sait, en traversant une solution d'un sel métallique, la décompose et dépose le métal au pôle négatif, le reste de la molécule au pôle positif. Nous pouvons déterminer d'une part le nombre d'atomes déposés et la quantité d'électricité qui a traversé la solution et nous constatons que chaque atome en arrivant a déposé la même quantité d'électricité, ou tout au plus deux ou trois fois, exactement, cette quantité. Supposons que nous ayons à effectuer le transport d'une denrée (de farine, par exemple) à travers un désert et que nous recrutions à cet effet des bêtes de somme d'espèces variées, aussi prodigieusement différentes les unes des autres que l'est par exemple l'atome d'hydrogène de l'atome de mercure, 200 fois plus lourd. Supposons qu'examinant les charges portées par chaque animal nous les trouvions rigoureusement égales entre elles et cela quelles que soient les conditions au départ, la vitesse du transport, etc. La conclusion qui s'imposera est qu'il ne dépendait pas des porteurs de choisir des charges conformes à leurs aptitudes ou à leurs préférences ; ce n'étaient pas eux qui faisaient les paquets mais ceux-ci leur étaient donnés tout faits.

La même conclusion s'impose pour le transport de l'électricité dans l'électrolyse : chaque atome transporte une charge élémentaire indivisible ou un petit nombre de ces charges. Cet atome d'électricité est très petit il est de $1,4 \times 10^{-19}$ coulombs, il a reçu le nom d'*électron*.

Cette conception a été très féconde. J. J. Thomson et son école qui, au cours des dernières années du siècle passé se sont proposé d'étudier les propriétés peu connues des gaz conduisant l'électricité, ont trouvé que cette conduction est liée à l'existence de molécules dans le gaz dont les unes portent une charge positive, les autres une charge négative, qui sont précisément égales à l'atome d'électricité de Helmholtz. C'est là le phénomène important et de nos jours bien connu des gaz ionisés.

Un nouveau progrès vint de l'étude de la décharge électrique dans les gaz très raréfiés. Nous répétons ici une expérience de Crookes dans laquelle un agent se propageant en ligne droite est émis par la cathode d'un tube dans lequel on a fait un vide très avancé. Cet agent, invisible par lui-même, provoque une belle traînée bleue sur un écran phosphorescent qu'il rencontre. Crookes appelait ce phénomène : la matière radiante. Il pensait qu'il était produit par un quatrième état de la matière plus subtil que l'état gazeux. Cette image imparfaite n'était pas tout à fait inexacte. On sait de nos jours que ces rayons — les rayons cathodiques — sont formés de petites particules égales entre elles, dont chacune a une masse 1830 fois plus petite que celle du plus léger des atomes, de l'hydrogène. Chacune de ces particules porte une charge d'électricité négative qui est précisément égale à un électron. On désigne souvent, avec J. J. Thomson, l'ensemble de la charge et de la petite masse qui la porte sous le nom de *corpuscule*. Ces corpuscules animés d'une vitesse très grande ont les propriétés d'un courant d'électricité négative. La trace sur l'écran est déviée par l'aimant comme le serait un tel courant.

Des théoriciens, parmi lesquels il faut nommer surtout H.-A. Lorentz et Drude, ont montré que si l'on admet que des corpuscules possédant la charge et la masse trouvées par l'observation des rayons cathodiques existent à l'intérieur des atomes, on peut, avec leur secours, édifier une théorie satisfaisante des phénomènes optiques, électriques et caloriques les plus importants dont la matière est le siège. Cela suffirait pour admettre, d'une part, des corpuscules décrivant dans l'intérieur

des atomes des mouvements planétaires et, de l'autre, une nuée d'électrons libres errant d'un atome à l'autre dans l'intérieur du solide. Mais ces hypothèses sont considérablement fortifiées par l'existence, en dehors des rayons cathodiques déjà mentionnés, d'une série de phénomènes où ces électrons sortent des métaux et où leur charge et leur masse devient mesurable. Si l'on fait tomber un rayon de lumière sur la surface polie d'un métal fortement électropositif tel que le zinc, le sodium, le rubidium, les ondes lumineuses détachent du métal des électrons qui sont projetés avec des vitesses caractéristiques. Une élévation suffisante de la température provoque le même phénomène : au rouge-blanc une surface de platine émet de nombreux électrons, phénomène dont Richardson a fait une étude détaillée. Enfin, l'an dernier Haber a montré qu'une réaction chimique, par exemple l'action du gaz phosgène sur un métal alcalin peut libérer des électrons.

L'étude des substances radioactives fournit des données nouvelles sur les rapports de l'électron avec la matière. L'uranium ou le radium sont composés d'atomes dont la durée est limitée. Pendant chaque seconde une certaine proportion de ces atomes est atteinte par le destin ; ils s'anéantissent dans une explosion. Cette proportion est très faible pour l'uranium, elle est relativement plus forte pour le radium, mais la nature du phénomène est la même. Le résultat est la formation d'un atome de poids atomique moindre ; la matière correspondant à cette diminution du poids atomique est projetée avec une grande vitesse et constitue les rayons α et β.

Le plus souvent ce nouvel atome plus léger est lui-même instable ; il fait explosion à son tour avec émission de particules α ou β, ou des deux à la fois, et ainsi de suite jusqu'à ce qu'un état stable soit atteint. Les atomes du radium deviennent, après explosion, ceux de l'émanation qui n'est autre chose qu'un gaz radioactif. Les atomes de l'émanation ne vivent en moyenne que quatre jours et donnent naissance aux atomes du radium A qui sont encore moins stables. Ainsi sont franchis successivement tous les degrés d'une échelle de substances instables, le radium B, le radium C, jusqu'au radium G. Ce

dernier est identique avec le polonium qui a été découvert d'une manière indépendante et qui, lui aussi, n'a qu'une existence passagère. Il est probable qu'après explosion les atomes du polonium donnent du plomb.

Tous les projectiles des rayons α, émis par des atomes très divers, sont identiques entre eux et consistent en atome, d'hélium dont chacun a perdu deux corpuscules. Il semble donc qu'ils soient l'un des éléments constitutifs primordiaux des atomes. Cette particule α qui se produit avec prédilection dans les catastrophes atomiques a cela de particulier qu'elle est un porteur d'électricité positive comme l'électron porte l'électricité négative. Et le moindre renseignement sur l'électricité positive est intéressant parce que jusqu'à présent son siège dans l'atome est tout à fait énigmatique. Il est probable cependant que si la particule α est un constituant important, ce n'est pas un constituant indivisible. On connaît en effet dans l'atome d'hydrogène qui est ionisé par la perte d'un corpuscule, un porteur qui n'a, pour la même quantité d'électricité positive, qu'une masse moitié moindre. Peut-être l'atome d'hydrogène est-il la plus petite quantité de matière qui puisse être liée à la charge élémentaire positive? On possède à ce sujet une indication précieuse par les expériences de J.-J. Thomson sur les rayons canaux. Ceux-ci sont des masses formées des atomes les plus divers, hydrogène, azote, carbone, mercure, etc., projetés avec de très grandes vitesses. La plupart de ces atomes ont été observés dans des conditions où ils possédaient une, deux ou trois charges élémentaires positives, par suite de la perte de un, deux ou trois corpuscules. Seul l'hydrogène n'a été trouvé porteur que d'une seule charge élémentaire. On peut donc dire, très provisoirement sans doute et jusqu'à plus ample information, que l'atome d'hydrogène est la plus petite masse qui porte une charge élémentaire positive. Il est remarquable que cette masse ne se rencontre pas parmi les produits de désintégration des atomes radioactifs.

Les rayons β sont des électrons. Puisqu'il y a, indépendamment des phénomènes radioactifs, de fortes raisons pour supposer, à l'intérieur de l'atome, l'existence de l'électron dont

rien ne fait suspecter l'indivisibilité, son caractère de constituant universel est certainement beaucoup mieux fondé que pour la particule α.

Après ce coup d'œil rapide sur l'histoire de l'état actuel des représentations de la matière, nons allons montrer ce que l'on peut déduire d'un groupe de phénomènes restreint, mais particulièrement fécond en suggestions nouvelles. Je veux parler des phénomènes magnétiques.

Chaque aimant possède un pôle nord et un pôle sud. La force d'un aimant ne dépend pas seulement de la grandeur des pôles, mais aussi de leur distance. Des pôles mêmes très puissants, situés dans le voisinage immédiat l'un de l'autre, ne produiraient aucune action sensible à distance car leurs effets se détruiraient mutuellement. Le *moment magnétique d'un aimant,* c'est-à-dire le produit de la grandeur des pôles par leur distance est une mesure très rationnelle de la valeur d'un aimant. Quand on brise un aimant la somme des moments magnétiques des parties est égale au moment de l'aimant entier. Le moment par unité de volume a donc aussi un sens bien défini ; on l'a appelé intensité d'aimantation. Si, continuant à briser l'aimant en des fragments de plus en plus petits on arrive jusqu'à la molécule, on obtient le *moment moléculaire.*

L'étude des phénomènes montre qu'il y a non seulement des aimants permanents mais encore des corps qui deviennent des aimants sous l'influence d'un aimant placé dans le voisinage ou, comme on dit, sous l'influence du champ magnétique de cet aimant, tout comme les corps prennent des propriétés électriques dans un champ électrostatique. L'idée qui se présenta naturellement fut de transporter au magnétisme les idées qui avaient fait leurs preuves en électricité. Poisson a admis que l'aimantation par influence consiste dans la séparation de fluides magnétiques contraires. Mais cette hypothèse qui peut être développée avec succès jusqu'à un certain point, n'explique pas tous les faits. Tandis que la polarisation électrique croit proportionnellement au champ quel que soit son intensité, le moment magnétique tend vers une limite qui ne peut être

dépassée même par l'application des champs les plus intenses. On dit alors que la substance est aimantée à saturation.

W. Weber imagina une hypothèse nouvelle qui rend compte

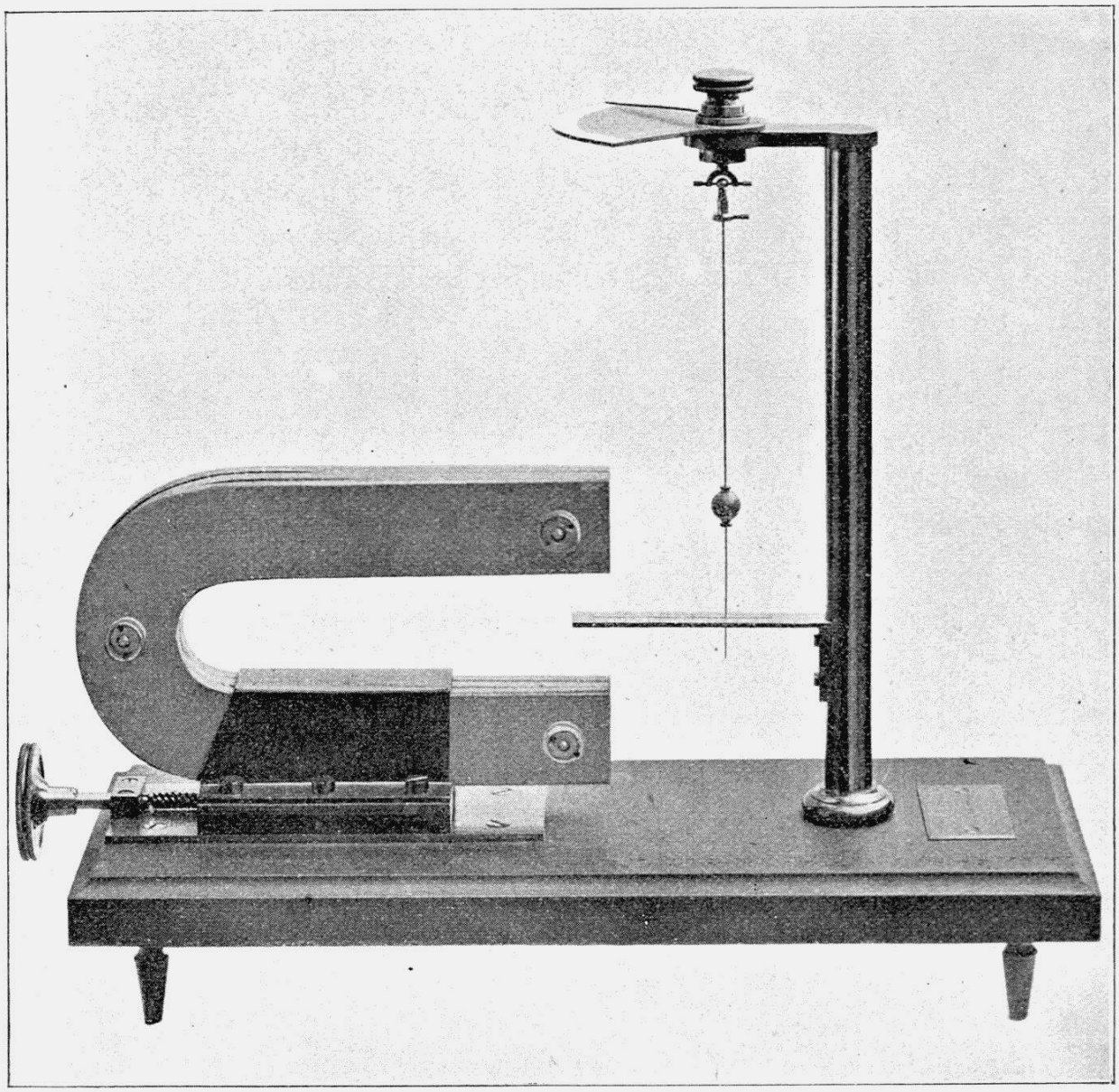


Fig. 1

d'une manière intuitive de cette saturation inexpliquée dans la conception de Poisson. Il admit que chaque molécule est un petit aimant invariable. Dans le fer à l'état naturel ces petits aimants sont disposés sans aucun ordre et l'action à distance des pôles voisins de nom contraire s'annule. Mais, si l'on fait

agir un champ magnétique croissant, les aimants moléculaires s'approchent progressivement du parallélisme et quand le parallélisme est complet un accroissement ultérieur du champ ne peut plus produire aucun effet : c'est la saturation.

L'idée de W. Weber a pu être développée et rend compte de l'ensemble des phénomènes du magnétisme ; je ne vais décrire ici qu'un cas particulier qui peut être illustré par une expérience. Si l'on se représente que ces aimants moléculaires puissent tourner autour d'axes et que ces axes soient tous parallèles on pourra donner à ces aimants les directions contenues dans le plan perpendiculaire à ces axes, mais il sera impossible de les en faire sortir. Cette description s'applique exactement au cristal de pyrite magnétique ou pyrrhotine. Les aimants moléculaires ne peuvent prendre que des directions contenues dans le plan de base du prisme hexagonal dans lequel cette substance cristallise. Ce plan que l'on peut appeler « plan magnétique » est donc le siège de toutes les propriétés magnétiques. Si l'on approche du cristal un pôle d'aimant dans une position telle qu'il provoque l'orientation des aimants moléculaires, la substance est attirée. Si au contraire on l'approche dans une position telle que son champ soit perpendiculaire au plan magnétique la substance reste aussi indifférente magnétiquement que le serait un morceau de cuivre. Dans l'appareil reproduit fig. 1 une petite sphère de pyrrhotine est suspendue à un genou de Cardan. Il permet de la présenter à l'aimant, son plan magnétique étant soit perpendiculaire soit parallèle au champ. Dans le premier cas il ne se passe rien, dans le second, elle est attirée par le pôle d'une distance de plusieurs centimètres.

On se rend compte que les moments des molécules ou des atomes sont des constantes caractéristiques qu'il est nécessaire de déterminer pour pouvoir donner à la théorie tout son développement. Cependant, il y a quelques années, on ne possédait encore aucune valeur certaine de ces quantités et cela surtout parce que les conditions qui permettent de les atteindre n'avaient pas été clairement aperçues faute d'une théorie suffisante.

Nous allons d'abord décrire un cas où les moments atomiques peuvent être déterminés avec un minimum d'hypothèses qui ne dépasse pas l'idée fondamentale de Weber et les notions de la mécanique usuelle. Le fait que, en général, l'on peut dans un corps quelconque donner n'importe quelle direction à l'aimantation montre que les forces magnétiques à l'intérieur de la substance n'opposent pas d'obstacle insurmontable à l'orientation des aimants élémentaires. En d'autres termes, les énergies potentielles d'orientation n'empêchent pas leur parallélisme, c'est-à-dire la saturation. Mesurons maintenant le moment de l'atome-gramme de la substance d'après les méthodes classiques. La valeur que nous trouvons sera influencée par le fait que les aimants élémentaires oscillent par suite de l'agitation thermique. Ils ne seront donc orientés qu'exceptionnellement dans la direction du champ et se présenteront en général avec un certain raccourci. On trouve donc un moment magnétique trop faible. Mais l'erreur commise sera d'autant plus faible que l'agitation thermique sera moins intense. Elle disparaîtra donc avec elle au zéro absolu. C'est là que réside l'intérêt des mesures que Kamerlingh Onnes et moi avons effectuées à la température de l'hydrogène liquide à 20° seulement au-dessus du zéro absolu et par conséquent à —253° de l'échelle ordinaire. Nous avons trouvé pour les moments de l'atome-gramme de

fer	12.360
nickel	3.370

Ces valeurs sont exactement entre elles comme 11 à 3. En effet :

$$12.360 : 11 = 1123,6$$
$$3.370 : 3 = 1123,3$$

Anticipant sur les développements qui vont suivre nous dirons de suite que cette propriété rencontrée ici pour la première fois est générale : tous les moments atomiques ont une commune mesure : 1123,5. Plus tard le moment de l'atome de cobalt qui ne peut être atteint qu'en surmontant des difficultés particulières à ce corps fut déterminé par M. O. Bloch. Il trouva

8,94 fois la valeur ci-dessus, c'est-à-dire au degré de précision des expériences, le nombre entier 9.

On peut interpréter cette commune mesure comme la manifestation de l'existence d'un même aimant élémentaire qui existe 11 fois dans l'atome de fer, 3 fois dans l'atome de nickel, 9 fois dans l'atome de cobalt. J'ai appelé le moment de cet aimant élémentaire le « magnéton ». Le nombre 1123,5 se rapportant à l'atome-gramme est le magnéton-gramme. Pour obtenir le magnéton lui-même il faut diviser par le nombre

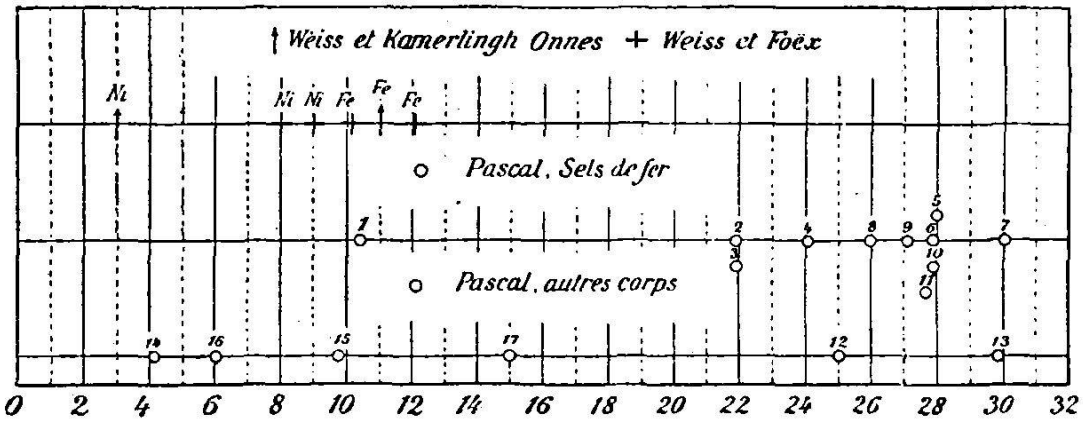


Fig. 2. — 1. Ferricyanure de K et amm. — 2. Pyrophosphate de fer et d'ammonium. — 3. Citrate de fer et d'ammonium. — 4. Ferripyrophosphate de sodium. — 5. Ferrimétaphosphate de sodium. — 6. Chlorure ferrique. — 7. Sulfate ferrique. — 8. Ferrométaphosphate de potassium. — 9. Ferrooxalate de sodium. — 10. Ferropyrophosphate de sodium. — 11. Sulfate ferreux. — 12. Chlorure de cobalt. — 13. Sulfate de manganèse. — 14. Permenganate de potassium. — 15. Sulfate de cuivre. — 16. Sulfate de cuivre ammoniacal. — 17. Sulfate uraneux.

d'atomes vrais dans l'atome-gramme, le nombre d'Avogadro : $0,685 \times 10^{24}$. On trouve ainsi :

$$1,64 \times 10^{-21}$$

Pour obtenir d'autres déterminations des moments atomiques il est nécessaire de faire appel à une théorie cinétique des phénomènes paramagnétiques. Il existe en effet, à côté des métaux fortement magnétiques, un nombre beaucoup plus considérable de substances dont les atomes possèdent des moments magnétiques mais où, pour des raisons dans le détail desquelles nous ne saurions entrer ici, l'agitation thermique ne permet

pas d'obtenir, même approximativement, le parallélisme des aimants élémentaires. Ces moments ne peuvent donc être déduits qu'indirectement des observations sur le magnétisme faible que prennent ces substances. Langevin a le premier développé la théorie nécessaire en ayant en vue surtout l'oxygène, gaz paramagnétique. J'ai appliqué cette théorie aux solutions des sels paramagnétiques et j'ai trouvé ainsi un assez grand nombre de moments atomiques.

La fig. 2, ci-dessus, résume les résultats. Elle comprend une échelle de lignes verticales équidistantes, numérotées de 0 à 32, qui représentent les nombres entiers de magnétons. Les lignes en traits pleins correspondent aux nombres pairs, les lignes pointillées aux nombres impairs. Cette échelle a été tracée au moyen de la valeur du magnéton que nous avons déduite de l'aimantation à saturation du fer et du nickel aux très basses températures. Les valeurs marquées par des flèches sur la première ligne horizontale sont par définition sur les traits. Cette même horizontale porte en outre une série de moments atomiques de substances ferromagnétiques aux températures élevées, déterminées suivant une méthode qui sera décrite plus loin. Sur la deuxième et la troisième horizontale sont marqués les moments atomiques déduits d'une série très complète de mesures faites par Pascal sur les solutions des sels paramagnétiques. C'est à ces solutions que se rapporte la légende au-dessous de la figure.

De l'examen de cette figure, comme aussi de la discussion des résultats, pour lesquels je renvoie au mémoire détaillé [1], il résulte une propriété très curieuse de ces moments atomiques. Un même atome n'a pas toujours le même moment. Les points 2, 4, 8, 6, 7, par exemple, représentent des valeurs du moment de l'atome de fer dans des combinaisons chimiques différentes. Disons en passant que les moments atomiques les plus grands sont fournis par les corps dans lesquels le fer a les réactions chimiques les plus intenses. Mais ces moments ne sont pas distribués au hasard ; on voit en effet du premier coup d'œil que

[1] *Arch. des sc. phys. et nat.*, mai 1911.

ces cinq points sont équidistants et que leurs distances sont égales à deux fois la valeur indiquée ci-dessus pour le magnéton. La figure montre donc que les nouveaux moments magnétiques satisfont aussi à la règle que nous avons indiquée : ils sont des multiples entiers du magnéton. Nous sommes donc amenés à modifier l'énoncé de Weber : Un atome n'a pas un moment magnétique unique, bien déterminé, il peut suivant les circonstances prendre des moments divers. Mais ceux-ci sont toujours des multiples entiers du magnéton.

Il ne semble pas possible, à première vue, d'étendre la théorie cinétique du magnétisme aux substances paramagnétiques solides. Il est difficile de se représenter que dans les corps solides la mobilité des molécules puisse être suffisante pour permettre d'appliquer sans grandes complications les lois de la mécanique statistique sur lesquelles repose la théorie cinétique. Mais si l'on fait le calcul comme si la théorie simple s'appliquait on trouve encore avec une approximation remarquable des multiples entiers du magnéton. On démontre ainsi du même coup que l'on s'était exagéré les difficultés qui s'opposent à l'application de la théorie cinétique et que les moments atomiques dans les corps solides sont des multiples entiers du magnéton.

Il est nécessaire pour déterminer les moments atomiques des substances ferromagnétiques aux températures autres que le voisinage du zéro absolu de faire usage d'une théorie plus explicite du ferromagnétisme. C'est la *théorie du champ moléculaire* qui permet d'atteindre ce résultat. Nous ne pouvons l'exposer ici et devons nous contenter d'en indiquer quelques résultats. Un groupe de ces résultats se traduit dans la fig. 3, où ont été représentés suivant une méthode indiquée dans le mémoire détaillé les expériences faites sur la magnétite aux températures élevées. Les points marqués sur le tracé inférieur sont placés d'une manière remarquable sur quatre droites qui sont juxtaposées ou reliées l'une à l'autre par une région de transition cd. La manière dont la transition se fait est secondaire, ce qui est essentiel c'est que la théorie montre qu'une substance dans un état déterminé doit fournir une seule et

même droite. On avait donc rencontré dans la magnétite une substance qui, dans les limites représentées dans la figure se présente dans quatre états différents. On peut y joindre un cinquième état existant en dehors des limites de la figure entre

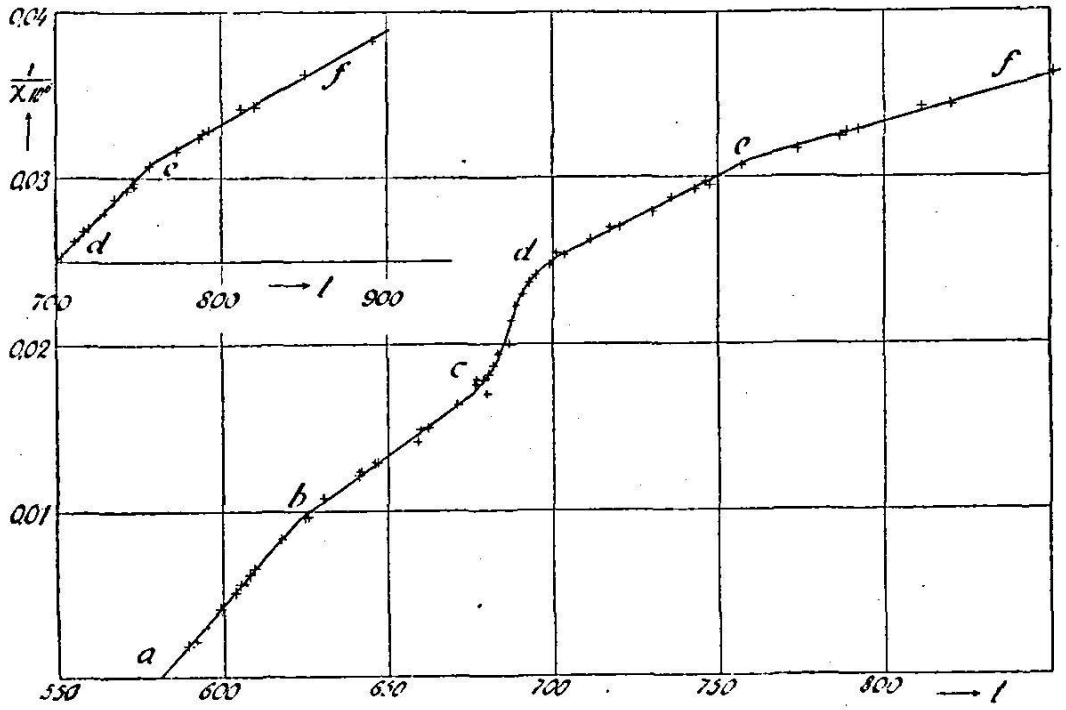


Fig. 3

900° et 1200°. Si l'on calcule pour ces divers états les moments magnétiques, on trouve qu'ils sont entre eux comme

4 : 5 : 6 : 8 : 10

Le moment de la molécule de magnétite augmente donc à quatre reprises quand la température s'élève et l'accroissement est soit une fois, soit deux fois le quart de la plus petite valeur qu'il possède dans cette série d'expériences. La ligne tracée dans la figure 3 correspond aux rapports exacts exprimés par les nombres entiers. Les observations marquées sur ce trait ne manifestent aucun écart systématique.

C'était la première fois que l'on rencontrait une même molécule pouvant prendre divers moments magnétiques ayant entre eux des rapports exprimables par des nombres entiers. Les métaux aux températures élevées présentent des propriétés ana-

logues. Une première étude, faite par M. G. Foëx sous ma direction, a donné :

Nickel a	8,03	magnétons
Nickel b	9,03	»
Fer β_1	12,08	»
Fer β_2.....	10,04	»
Fer γ	19,95	»

Ce sont des nombres entiers avec toute l'exactitude désirable.

Une deuxième série d'expériences, par M. O. Bloch, a confirmé les valeurs ci-dessus pour le nickel et a fourni les deux nouvelles valeurs suivantes :

Cobalt première détermination	15,01	magnétons
» deuxième »	14,92	»

donc de nouveau des nombres entiers au degré de précision des expériences.

Si nous réunissons encore, pour terminer, différents moments atomiques trouvés pour une même substance, le nickel, nous obtenons le tableau suivant :

Nickel dans le voisinage du zéro absolu	3	magnétons
» au-dessus de 400°	8	»
» » » 900°	9	»
» dans les sels dissous	16	»

J'ai donc déterminé par l'application de la théorie cinétique du magnétisme aux corps paramagnétiques dissous et aux corps paramagnétiques solides un nombre relativement grand de moments atomiques, quantités qui, à première vue, paraissaient peu accessibles. Il s'est manifesté cette propriété très curieuse que le même atome, suivant les conditions de température et de liaison chimique peut prendre des moments magnétiques très différents. Mais on peut trouver, entre les moments d'un même atome d'abord, une commune mesure. On peut ensuite s'assurer que toutes les communes mesures trouvées ainsi pour les divers atomes sont une seule et même quantité. Elle a reçu le nom de *magnéton*.

Si l'on admet, ce qui est extrêmement probable, que ce moment magnétique réside dans un substratum matériel, on peut dire que le magnéton est un élément constituant d'un grand

nombre d'atomes magnétiques et probablement de tous. Jusqu'à présent la démonstration est faite pour Fe, Ni, Co, Cr, Mn, V, Cu, U.

Cette propriété appartient-elle aux seuls atomes magnétiques? Le cas du cuivre et de l'oxygène qui, suivant qu'ils sont libres ou combinés, sont magnétiques ou diamagnétiques, celui de l'iodure de mercure et de potassium, où la combinaison de trois atomes diamagnétiques donne une molécule paramagnétique, montre qu'on ne saurait tracer une frontière infranchissable.

Quelles vont être les conséquences de l'acquisition de cette donnée nouvelle sur la constitution intime de la matière ? En première ligne elle fournit un nouveau moyen d'action dans les recherches magnétiques. Les propriétés des ferromagnétiques dont la complexité paraissait auparavant déroutante redeviennent abordables et, dans cet ordre d'idées, quelques résultats nouveaux ont déjà montré combien la notion nouvelle est féconde.

Le parallélisme déjà signalé entre l'intensité des propriétés chimiques et les nombres de magnétons soulève de nouvelles questions. Quel rôle les phénomènes magnétiques jouent-ils dans la combinaison chimique ? Les forces chimiques sont-elles dans certains cas des attractions d'aimants élémentaires ? Les valences sont-elles en relations avec les magnétons ?

La nature de la transformation qu'un corps subit quand son nombre de magnétons change est encore très obscure et demande à être examinée pour elle-même. Elle n'est pas une modification allotropique au sens ordinaire du mot ; le cas de la magnétite montre qu'une molécule peut conserver à travers ces transformations sa masse et son architecture générale. Cette transformation coûte-t-elle de l'énergie? Y a-t-il d'autres signes extérieurs qui l'accompagnent ? Il n'est possible, jusqu'à présent, de répondre à cette dernière question que sur un point : le champ moléculaire qui exprime les actions mutuelles d'orientation entre les molécules d'un corps ferromagnétique subit un changement en même temps que le nombre de magnétons.

Si l'on se représente pour un instant comme étant donnée à priori l'existence de ces petits aimants égaux entre eux et se

rencontrant dans les atomes en nombres grands et variables suivant les conditions de l'expérience, leur démonstration expérimentale paraîtra entourée des plus grandes difficultés. On s'attendrait à ce que les moments magnétiques différemment dirigés eussent des résultantes sans rapport simple avec leur grandeur propre. Il semblerait que pour les saisir on dut attendre une occasion exceptionnelle comme celles qui font jaillir l'électron de l'atome.

La facilité avec laquelle les magnétons se manifestent, le caractère exceptionnel des cas où ils échappent à l'observation sont l'expression de propriétés importantes. Il est en effet très remarquable que ces aimants élémentaires soient toujours placés de façon que leurs moments magnétiques s'ajoutent algébriquement, c'est-à-dire qu'ils soient parallèles ou même disposés suivant une ligne droite. Il est peut être tout aussi curieux que, parmi les mesures existantes, si peu suggèrent l'idée de mélanges de molécules de nombres de magnétons différents. On peut se demander si l'égalisation du nombre des magnétons ne serait pas une des conditions de l'équilibre des molécules de même espèce entre elles.

Après l'électron symbolisant les idées nouvelles sur la structure discontinue de l'électricité, le magnéton marque une évolution analogue dans la représentation des phénomènes magnétiques.

Le magnéton est un troisième constituant de la matière qui, comme l'électron et la particule α, appartient à un grand nombre d'atomes. L'Antiquité croyait à l'unité de la matière. Les alchimistes, en cherchant à faire de l'or, tentaient de transformer cette croyance en réalité tangible. Les fondateurs de la chimie moderne, à la fin du 18me et au commencement du 19me siècle, en élevant à la hauteur d'un principe l'invariabilité des corps simples, reculèrent à l'arrière-plan, loin des lois bien établies et des faits accessibles, l'hypothèse d'une substance première. Et maintenant, la découverte d'éléments constituants communs à tous les atomes, nous rapproche à nouveau de la conception des Grecs et de l'Unité de la Matière.

Leere Seite
Blank page
Page vide

Les pigments des végétaux

par

R. Chodat

J'ai choisi, pour le traiter devant la Société, le sujet attrayant des pigments végétaux. Nul ne saurait nier l'intérêt général qui s'attache au problème de la coloration des plantes et de leurs fleurs. Qui ignorerait le rôle social joué par l'horticulture, préoccupée tout entière de faire les fleurs plus belles, plus brillantes et plus parfumées. Prenez ces roses, ces dahlias, ces chrysanthèmes. N'y découvrez-vous pas tous les tons de la gamme des couleurs? Quelles admirables combinaisons la palette de l'horticulteur a fournies, pour transformer la rose sauvage, l'églantier, en ces merveilleuses créations qui ont pour nom, Hugh-Dickson, Ecarlate, Beauté de Lyon, Veilchenblau, les dahlias simples ou doubles de nos grand-mères, en ces chatoyantes variétés qui font la joie des amateurs.

On pourrait à propos des pigments des fleurs parler du rôle qu'ils jouent dans la vie des plantes : comme préparés pour un but spécial, leur présence, leur distribution, tout semble concourir à réaliser une disposition qui assure aux fleurs la visite des insectes.

Mais ce sont là des questions complexes. Elles sont dans une très grande mesure étrangères à ma manière de penser scientifique. J'aime mieux demander à la physiologie d'expliquer, de décrire l'enchaînement des phénomènes que de poser la question : à quoi sert cette disposition, qu'elle est sa raison d'être ?

Cela étant, je vais essayer d'examiner à propos de la question des pigments et de leur formation dans les plantes, *quels sont les problèmes importants de la botanique contemporaine qui lui sont associés et par quelles méthodes elle essaye de les résoudre.*

De tous les pigments végétaux, celui qui intéresse le plus les botanistes c'est, sans contredit la chlorophylle, ce pigment indispensable à la création de la nourriture hydrocarbonée qui fait vivre directement ou indirectement végétaux et animaux. Depuis Senebier et Ingenhouz la manière d'être de la chlorophylle vis-à-vis de l'acide carbonique, de l'eau et de la lumière est bien définie. Des recherches récentes de Blakmann et Matthaei[1] ont précisé le rôle des facteurs variés qui interviennent dans la photosynthèse, la rapidité de la décomposition de l'anhydride carbonique en fonction des facteurs combinés, lumière, température, concentration du CO_2. La question physiologique prend un faciès physico-chimique, elle est considérée au point de vue exclusif de la cinétique chimique, pour laisser de côté, provisoirement, les causes biologiques, c'est-à-dire celles que présentement on n'a pas réussi à décomposer en leurs facteurs physiques ou chimiques.

Mais le problème, plus simple, de l'origine de la chlorophylle est encore un mystère. Nous savons seulement que, dans la plupart des plantes, la lumière est nécessaire à la formation de ce pigment ; elle ne l'est pas dans le cas des Conifères, des Fougères et d'un grand nombre d'Algues inférieures[2]. Nous savons aussi que chez beaucoup de végétaux la chlorophylle disparaît par l'étiolement. Dans l'obscurité les nouvelles pousses qui naissent ne développent plus de chlorophylle, dans les anciennes le pigment s'atténue ou disparaît complètement.

Plus récemment on a étudié la décoloration des plantes en pleine lumière, comme cela a lieu chez beaucoup de parasites, de saprophytes et chez les plantes panachées.

[1] Blackmann et Matthaei. Experimental researches in vegetable assimilation etc. *Proceed. of the royal Soc.* (1904-1905).

[2] Artari, Bildung des Chlorophylls, *Ber. d. d. bot. Ges.*, XX (1902), 201 ; Radais, Formation de la chlorophylle à l'obscurité, *C. R.*, T. CXXX 793 (1900).

Considérons tout d'abord ce dernier cas pour illustrer une méthode d'analyse moderne, celle de l'analyse biologique. La panachure est un phénomène plus profond qu'il ne paraît au premier abord. Il n'y a pas que disparition de la chlorophylle dans les parties non vertes ; il y a en même temps une modification profonde des tissus décolorés [1]. Depuis longtemps la panachure a été considérée comme une maladie bénigne. On a montré même que cette affection est, dans certains cas infectieuse, transmissible par la greffe [2].

On sait que cette affection est héréditaire. Les semences récoltées sur les branches chlorotiques fournissent un pourcentage très élevé de plantes panachées, ce qui n'est pas le cas pour les semences récoltées sur les rameaux verts (*Mirabilis Jalapa* d'après Correns) [3].

C'est ici qu'intervient une méthode d'analyse nouvelle, fondée sur la découverte de Mendel et développée surtout par Bateson [4] et ses collaborateurs, par Correns, Bauer et d'autres. D'après les idées actuelles, chaque plante est constituée dans son tréfond protoplasmique par une mosaïque de corpuscules représentatifs, les gènes, qui déterminent les caractères élémentaires manifestés au cours de l'évolution individuelle sous forme de caractère visibles ou non, morphologiques ou physiologiques. Chaque caractère manifesté correspond à un gène s'il est simple, à un groupe de gènes s'il est complexe. Ces gènes sont supposés invisibles comme les atomes, les ions, les électrons et les magnétons des physiciens et des chimistes. De même que l'association d'atomes invisibles détermine les caractères manifestés d'un corps chimique, celle des électrons négatifs dans l'atome, les propriétés de cet atome, de même aussi ces gènes supposés, déterminent l'apparence d'une plante. Il serait trop long de développer ici toute cette séduisante théorie. Je me borne à en extraire ce qui concerne le sujet que je veux traiter.

[1] Rodrigue, A. Feuilles panachées, *Bull. Hb. Boiss. Mémoires* (1900).
[2] Bauer, E. Ueber dic infektiöse Chlorose der Malvazeen, *Sitzb. d. preuss. Akad. d. Wiss.* (1906) 11. — *Id. Ber. d. bot. Ges.* 25 (1907) 410.
[3] Correns. *Id.* Zur Kenntnis der Rolle von Kern u. Plasma bei der Vererbung. *Zeitsch, f. indukt. Abst. u. Vererb.* II (1909) 331.
[4] Bateson. Mendels Principles of Heredity.

Remarquons tout de suite que l'analyse biologique faisant usage d'une suggestion de Punnet a fait découvrir que chaque caractère a son contraire, qu'à chaque gène on peut supposer un antigène. Ainsi « vert » et « absence de vert » ou mieux dit « non-vert », soit capacité de produire du vert et incapacité d'en produire. Les caractères négatifs ne sont pas, dans la théorie moderne de l'hérédité, des valeurs nulles mais réellement des valeurs négatives au sens mathématique du mot et avec lesquelles il faut compter. On pourrait aussi les comparer à des catalyseurs négatifs à opposer aux catalyseurs positifs, les uns retardant la réaction, les autres l'accélérant. Lorsqu'on fait un hybride, ce dernier possède la combinaison de gènes apportée par les cellules germes des deux parents et qui se sont associées en une zygote. Ces gènes peuvent se manifester au cours de l'évolution individuelle par des caractères visibles et si les deux parents étaient différents l'apparence de la plante hybride sera celle d'un mélange quand les caractères interfèrent, celui d'une mosaïque quand ils s'associent. Mais dans l'hybride, ne sont pas toujours manifestés les caractères qui correspondent aux gènes ; il y a parfois inhibition de certains gènes refoulés par les autres, mais non détruits.

Lorsque se forment dans cet hybride les cellules germes mâles ou femelles, dans ces cellules germes sont distribuées les gènes et l'expérience démontre que dans une même cellule germe ne peuvent coexister des gènes antagonistes. Par un procès aussi curieux qu'important qui précède la formation définitive des cellules germes mâles ou femelles (réduction chromatique) les gènes se distribuent selon la règle des probabilités, mais à ce moment du moins, les contraires se fuient : vert n'est pas dans la même cellule germe que non-vert, etc.

Toutes les expériences entreprises ces dernières années ont confirmé ces différentes suppositions et une branche nouvelle de la science (Génétique) est venue se greffer sur la biologie et l'innoculer d'une force nouvelle.

En particulier, la transmission de la panachure, étudiée par Correns, chez une race du *Mirabilis Jalapa,* est venue nous

montrer que si la plante panachée peut être, au point de vue du pigment, représentée par « vert et non-vert » (A. a.), ses cellules sexuelles soit mâles soit femelles seront pures. Les unes contenant le caractère A (facteur de pigmentation) les autres le caractère *a* (antagoniste du facteur pigmentation).

♂ *a* A.
♀ *a* A.

Les chances de rencontre des cellules A et *a* étant égales, on obtient les combinaisons suivantes :

AA *a*A *aa*.
*a*A

soit

$$A^2 + 2aA + a^2.$$

Il y aura dans la descendance trois catégories : 1° des plantes vertes ; 2° des plantes panachées et 3° des plantes blanches. Ces dernières ne sont pas viables. Après la germination elles meurent bientôt.

Correns a fait, en plus, l'intéressante découverte que, dans la plante étudiée, la chlorose est seulement transmise par les cellules femelles. Il semblerait que ce soit une maladie du plasma. Cela nous permet donc de localiser dans la cellule un caractère considéré. Car les germes mâles des rameaux chlorotiques sont incapables de transmettre la chlorose, sans doute à cause de la quantité insignifiante de plasma qui accompagne le noyau mâle dans la fécondation [1].

Voilà donc un problème de très haute portée associé à la question du pigment chlorophyllien. Ici la formation de la chlorophylle est inhibée par une maladie du protoplasma.

Mais en est-il de même chez les plantes saprophytes et parasites? Notons tout d'abord que beaucoup de saprophytes décolorés, comme le *Neottia nidus avis,* contiennent encore de la chlorophylle qu'on peut reconnaître dans les extraits alcooliques par l'analyse au spectroscope.

[1] Correns, Vererbungsversuche mit blasgrünen und buntblættrigen Sippen. *Zeitschr. f. indukt. Vererb.* I (1909).

J'ai fait et fait faire sur le saprophytisme expérimental une grande série d'observations, soit en partant des Phanérogames en culture pure, soit en partant d'Algues en culture pure. Le résultat a été que la chlorophylle disparaît inégalement vite chez les diverses espèces. Chaque espèce considérée constitue donc un milieu spécial qui influe par des facteurs secondaires sur le phénomène considéré. Mais dans tous les cas, et ceci est conforme à d'autres expériences faites autre part, une abondante nourriture hydrocarbonée assimilable amène (en pleine lumière) à la décoloration plus ou moins forte. Si, au contraire, on associe à cette nourriture hydrocarbonée assimilable (par exemple, glycose) une nourriture azotée suffisante, mais plus particulièrement une nourriture azotée complexe comme la peptone, même en présence d'une forte concentration de sucre, la chlorophylle se maintient et même s'exagère. Ces résultats sont les mêmes, qu'il s'agisse de plantules de *Lepidium* (Jaffé et Chodat)[1], soit qu'il s'agisse d'algues qui se décolorent facilement, comme le *Chlorella variegata*[2]. Beij.

Il semble donc bien que la disparition de la chlorophylle chez les plantes saprophytes et parasites soit amenée par un équilibre faussé entre la formation des matières sucrées et la production des matières protéiques.

Mais alors même que les conditions favorables sont réalisées et même lorsque les algues verdissent à l'obscurité, la lumière favorise la formation de la chlorophylle, et aussi la synthèse des matières protéiques[3].

On sait d'autre part la nécessité du fer dans la production de la chlorophylle et je vais même plus loin, dans la production de la matière organique végétale. Sans fer pas de chlorophylle, mais aussi pas de croissance *active*. On ne sait pas généralement que la croissance des plantes vertes les plus diverses est excessivement accélérée par les sels ferriques comme le chlorure ferrique (Fe_2 Cl_6). C'est ce qu'il nous a été possible de

[1] Inédit.
[2] Chodat et Mendrewska ; inédit.
[3] Voir Chodat, Principes, IIe Ed., 504 (1911).

mettre récemment en évidence dans la culture de beaucoup d'algues et ce qui a été confirmé par des essais de culture d'avoine faits par moi avec Monnier[1]. La dose utile de chlorure ferrique est excessivement élevée : $^1/_{10}$-$^2/_{10}$, $^0/_{00}$-1 $^0/_{00}$.

Cette coïncidence entre la formation de la chlorophylle et la présence abondante de matières protéiques par rapport aux substances hydrocarbonées, montre que lorsque ces dernières sont en excès, l'azote disponible est utilisé pour la synthèse des matières protéiques essentielles et qu'il n'en reste pas pour la formation de la chlorophylle ; ou peut-être aussi, et très probablement, que la chlorophylle naît aux dépens des déchets des matières protéiques (dérivés de l'indol : tryptophane, etc.).

Il serait trop long de passer ici en revue les beaux travaux de Willstätter[2], Marschlewski[3] et de leurs collaborateurs sur la constitution de la chlorophylle[4]. Disons seulement que malgré d'énormes efforts, nous sommes encore loin de connaître exactement la nature chimique de la chlorophylle. Le résultat le plus important, mais déjà ancien, est que parmi les principaux produits de la décomposition des chlorophylles se trouvent des combinaisons comme la phylloporphyrine, corps complexe dérivé du pyrrol ou de l'indol.

Le fait que le chlorure ferrique a un effet si marqué sur la formation de la chlorophylle, sans que le fer entre dans la composition de cette dernière, nous amène tout naturellement à l'idée que sa formation est due à une action catalytique, à l'intervention d'un ferment auprès duquel le fer joue le rôle de co-ferment[5]. En effet, la rapidité avec laquelle la chlorophylle est obtenue à partir du chlorophyllogène des plantes chlorotiques parle en faveur d'une action ferment. Malheureusement on ne connaît bien ni le chromogène, c'est-à-dire la substance

[1] Chodat et Monnier, Recherches sur l'augmentation en poids des plantes. *Archives*, IVe pér., XXXIII, 102 (1912).
[2] Willstætter. Chlorophyll u. seine wichtigsten Abbauprodukte, in Abderhalden. *Hdb. der Biochem. Method.* II, 671 (1910).
[3] Marschlewski, L. Chlorophyll. In Rosc. u. Schorlemmer. Lehrb.
[4] Monteverde. Sct. Petropol. (1893), etc.
[5] Menteverde et Liubimenko. Recherches sur la formation de la chlorophylle. *Bull. Acad. Sc. Pétersb.*, 609 (1912).

mère incolore dont procède la chlorophylle, ni le ferment oxydant qui, avec l'aide du fer[1], interviennent dans le verdissement. Il y a là un beau champ à défricher.

Cette chlorophylle, dans la cellule, est liée à des corpuscules vivants définis, les plastides, aussi nommés « chloroplastides ». Souvent on observe que, dans ces mêmes chromatophores, lorsque la chlorophylle a disparu, par exemple en hiver, au soleil, les feuilles de *Buxus,* en automne les baies de la tomate, se colorent en rouge orangé par un pigment insoluble dans l'eau : la carotine. A mesure que, dans les fruits qui mûrissent, les acides sont remplacés par les sucres, le rougissement augmente. Lorsqu'en hiver, la migration des matières sucrées dans les feuilles persistantes du *Buxus,* etc. est arrêtée, la carotine apparaît. Dans nos expériences sur un nombre assez grand d'algues, nous avons trouvé que les conditions qui favorisent la disparition de la chlorophylle[2], favorisent l'apparition de la carotine ; ainsi une nourriture sucrée excessive, l'augmentation de la concentration osmotique du milieu, une lumière très vive. La peptone, au contraire, entrave la formation de la carotine. Enfin la carotine apparaît aussi bien à l'obscurité que dans la lumière. Le rôle de la carotine est inconnu. Fixe-t-elle peut-être l'oxygène à la façon de l'hémoglobine ? Sert-elle de véhicule à l'oxygène dans certaines réactions? Mais ce qu'on sait mieux c'est que, comme il y a plusieurs chlorophylles, il y a plusieurs carotines[3].

D'autres pigments sont, dans la cellule, liés à des corps définis, les plastides. Ce sont entre autres les pigments rouges et bleus des Algues comme les Rhodophycées et les Cyanophycées. Ces pigments qui accompagnent la chlorophylle, diffusent après la mort de la cellule et deviennent solubles dans l'eau. Les recherches de Molisch, de Kylin en particulier, nous ont rendu vraisemblable que ces pigments rouges et bleus sont des corps

[1] On sait le rôle catalytique du chlorure ferrique dans beaucoup d'oxydations.

[2] Voir une opinion contraire dans Monteverde et Liubimenko, *loc. cit.* p. 624 qui considèrent la carotine comme un produit complémentaire de la chlorophylle.

[3] Willstætter u. Escher, *Zeitschr. f. phys. Chem.* 64, 47 (1910).

azotés dérivés des albumines. Comme ces dernières, on peut les précipiter de leurs solutions par le sulfate d'ammonium en excès. Ils cristallisent. Leurs solutions sont rouges avec une vive fluorescence jaune-orangée ou pour la phyco-cyanine, bleues avec une fluorescence, un dichroïsme, rouge carmin.

Ces pigments ont aussi été étudiés à divers points de vue. Citons en premier lieu les expériences de Gaidukow-Engelmann[1] qui ont essayé de faire revivre l'ancienne théorie de Unger, que la couleur des algues est une adaptation à la profondeur de l'eau et à la longueur d'onde des radiations qui pénètrent dans ce milieu. Les radiations les plus vite absorbées étant les rouges, les plus réfrangibles pénétrant dans une plus grande profondeur, à ces différentes radiations correspondraient des adaptations complémentaires. Les Algues vertes à la surface, les rouges dans la profondeur. Gaidukow a essayé de démontrer que, par un éclairage *ad hoc,* certaines Cyanophycées modifieraient leurs colorations d'une manière complémentaire

Lumière	rouge, jaune, vert, bleu
Couleur de la Cyanophycée .	vert, vert-bleu, rouge, brun-jaune

Nous avons expérimenté[2] en partant de cultures pures de l'*Oscillatoria amphibia* et en l'exposant dans les différentes régions du spectre en utilisant des plaques de gélatine colorée par des couleurs qui ne laissent filtrer que des régions bien définies du spectre (méthode utilisée pour la photographie en couleur). Nous n'avons pu reconnaître aucune adaptation chromatique. Werner Magnus[3] et Schindler ont également obtenu des résultats négatifs en partant de cultures impures; pour eux, les changements observés sont affaire de nutrition.

Quelle peut être l'origine et la genèse de ces pigments encore incomplètement étudiées au point de vue chimique? On a

[1] Gaidukow. Ueber den Einfluss des farbigen Lichts auf die Færbung der Oscillarien, *Scripta Botanica* (1903).
[2] Chodat et Lagowska; inédit.
[3] Werner Magnus und B. Schindler. Ueber den Einfluss der Nahrsalze auf die Færbung der Oscillarien, *Ber. d. d. bot. Ges.* XXX, 315 (1912).

fait la supposition qu'ils dériveraient des matières protéiques[1].

Au cours de mes recherches sur la tyrosinase[2], j'ai découvert un caractère général des matières protéiques solubles, de donner naissance, en présence des phénols, et plus particulièrement en présence du p-crésol ou de la pyrocatéchine à toute une gamme d'admirables colorations. Cette propriété est non seulement particulière aux albumines solubles, mais à tous les produits connus de leur peptolyse. Depuis les protéoses aux acides aminés simples ou complexes, en passant par les protéines et les peptides. On sait d'autre part que le p. crésol est un produit de la dégradation de la tyrosine, l'un des matériaux de construction de la plupart des albumines. Ces pigments qui varient du rouge vif au bleu indigo, vert bouteille, vert-bleu, violet gentiane, etc., etc., sont aussi obtenus à partir des peptides à tyrosine, tandis que la tyrosine ne la donne pas ou seulement dans des circonstances particulières.

Ces matières colorantes rappellent, soit par leur solubilité, soit par leur nature peptique ou peptoïque, enfin par leur beau dichroïsme les rhodophycines et les phycocyanines étudiées par Molisch, Kylin, etc. Il y a tout lieu de penser que l'origine de ces pigments d'algues est bien celle que nous avons mise en évidence. D'autre part, la tyrosinase est un ferment très répandu dans le règne animal et végétal.

Enfin, ce même ferment agit sur l'indol (qui est aussi un des matériaux de construction du plasma), en présence des phénols et en produisant un pigment insoluble bleu qui rappelle certains dérivés de la chlorophylle.

Ainsi, par cette méthode, nous avons un moyen d'investigation nouveau pour pénétrer plus avant dans cette question complexe de l'origine et de la synthèse des pigments liés au protoplasma ou aux plastides.

Mais le végétal produit aussi des pigments non azotés et dont

[1] La crésol-tyrosinase, réactif des peptides, des polypeptides, des protéines et de la protéolyse par les microorganismes. *Archives*, IVe pér., t. XXXIII, 70-95 (1912). — *Id.* Les matières protéiques et leurs dérivés en présence du réactif p-crésoltyrosinase. *Ibid.* 225-348.

[2] Chodat, *l. c.* 245 (20).

la collection variée a reçu le nom générique d'anthocyanes. Ces pigments sont solubles dans l'eau; on les trouve dissouts dans la vacuole ou les vacuoles; observés déjà chez les Algues Chlorophycées *(Ancylonema, Spirogyra)*, les anthocyanes sont les pigments rouges rouges, bleus ou violets des fleurs.

Pour la résolution du problème de la nature de ces pigments, on s'est aussi adressé à la méthode d'analyse biologique. Ici encore l'analyse biologique des hybrides a montré que la pigmentation dépend de plusieurs facteurs. Ainsi, certaines variétés de fleurs blanches qui, laissées à elles-mêmes et se fécondant par leur propre pollen, fournissent une descendance toujours blanche pour ce qui est de la couleur des fleurs, combinées avec d'autres variétés blanches, produisent une descendance à fleurs colorées. La pigmentation dépend donc de deux facteurs, A et B, dont chacun est à lui seul incapable de déterminer la coloration de la fleur. On a trouvé plus tard par des expériences toujours plus critiques, que la pigmentation comporte plusieurs facteurs et qu'elle se laisse expliquer en partant de la théorie Bach-Chodat des ferments oxydants, peroxydase-peroxyde et la présence d'un chromogène[1].

Ici encore, on arrive à trouver des lois, à produire à coup sûr, en partant de certaines suppositions, la couleur de la descendance et à l'évaluer dans ses proportions, avec une si grande probabilité qu'il devient évident que les théories qui sont à la base de ces expériences constituent une admirable méthode d'investigation.

Mais l'analyse biologique ne peut remplacer l'analyse chimique.

Qu'est-ce que l'anthocyane? Toutes les anciennes recherches et les nouvelles tendent à nous montrer que l'anthocyane a des rapports avec les tanins. Les cellules qui produisent ces pig-

[1] Wheldale. On the formation of anthocyanine, *Journ. of genetics* I 134 (1911). — *Id.* Note on the physiogical Interpretation of the Mendelian factors for Colour. *Rep. Evol. Com. Roy. Soc. Report V*, 1909. — Keeble and Armstrong, The Distribution of oxydases in Plants and their role in the formation of Pigments. *Roy. Soc. Proced.* 85 et 464 (1912). — *Id. Journ. of genetics* II, (1912) 279.

ment solubles contiennent aussi des tanins[1]. Overton les a considéré comme des glycosides de corps dérivés des tanins car c'est une observation confirmée maintenant par une belle série d'expériences que les sucres favorisent la production de l'anthocyane. Tout ce qui contribue[2] à accumuler les sucres dans les cellules les rend aussi capables de former ces matières colorantes, le froid (coloration automnale et hivernale des feuilles en rouge), l'annellation qui empêche la migration des substances hydrocarbonées, une lumière intense, etc. [3]

Quant à la nature chimique de l'anthocyane on sait depuis les recherches de Sostegni qu'il s'agit probablement d'un dérivé aromatique car la fusion de cette matière avec la potasse fournit de l'acide protocatéchique et de la pyrocatéchine. Les études, plus récentes, de V. Grafe qui a réussi en partant de très grandes quantités de fleurs de mauves ou de fleurs de *Pelargonium*[4] (28 kilogrammes), d'obtenir de l'anthocyane cristallisée en quantité suffisante, sont particulièrement significatives. Cet auteur a su différencier deux catégories d'anthocyane, la première un corps glycosidique amorphe stable, la seconde un corps dépourvu de sucre, beaucoup plus labile, instable, à caractère aromatique bien marqué, possédant des hydroxyles et des carboxyles, fournissant à la fusion à la potasse de l'acide protocatéchique et montrant dans ses réactions de grandes analogies avec les tanins ou les tanoïdes.

Des essais de synthèse de l'anthocyane à partir des matières tannantes des raisins blancs, entrepris par D. Malvezin[5] n'ont pas abouti à des matières colorantes possédant les caractères de l'anthocyane, quoique diverses réactions amènent à la production de matières colorantes rouges.

Tout converge donc vers cette solution qui consiste à partir

[1] Overton. Beobachtungen und Versuche über das Auftreten von rothem Zellsaft bei Pflanzen. *Pringsh. Jahrb. f. wiss. Bot.* Bd. XXXIII (1890).

[2] Combes, R. Rapports entre les composés hydrocarbonés et la formation de l'anthocyane. *Ann. Sc. nat.*, IXe série (1909 et 1912).

[3] *Id. C. R. Ac. Sc.* T. CLIII, 886 (1911). — Katic. In. Diss. Halle, 1905.

[4] Grafe, V. Studien über das Anthokyan. *Sitzbr. d. k. Akad. d. Wiss.*, Wien (1906), (1909, 1911).

[5] Malvezin, D. Sur l'origine de la couleur des raisins rouges. *Comptes rend.*, 147, 384 (1908).

du tanin ou des substances dérivées ou voisines pour faire la synthèse des anthocyanes.

C'est ce que j'ai essayé de réaliser[1] en partant de la tyrosinase le ferment oxydant qui s'est déjà montré si actif dans la réaction des albumines et de leurs dérivés dont il a été question plus haut. M. Wheldale a essayé, au moyen de la péroxydase et de l'eau oxygénée, d'obtenir à partir d'extraits de plantes à fleurs incolores, des pigments du type de l'anthocyane. Ces résultats sont négatifs. En effet les laccases (phénolase) et leur image peroxydase-peroxyde sont sans action sur les tanins pour les colorer en anthocyanes. Mais si au lieu de la laccase on utilise la tyrosinase purifiée le résultat est positif.

En faisant cette réaction il faut se rappeler[2] que la tyrosinase est inhibée dans son action oxydante par les acides. Dès lors il convient de neutraliser le tanin qui a un caractère acide et faire agir la tyrosinase sur une solution suffisamment diluée de ce corps. Nous avons utilisé l'acide gallo-tanique officinal. Dans ces conditions l'oxydation se fait avec rapidité. La couleur est d'abord rouge, puis elle passse au bistre et finalement au vert-foncé ou vert-bleu.

Si au lieu du tanin on utilise l'acide gallique, la réaction est plus rapide. Le pigment vert est le produit d'une réaction en milieu faiblement alcalin. Si ensuite, par le moyen du phosphate acide de potassium, on neutralise cette solution, la teinte passe au bleu. L'addition d'un acide fait immédiatement virer au rouge. La coloration rouge est celle de l'anthocyane de certains vins rouges légèrement violacés. Selon les circonstances, on obtient toute la gamme des rouges-roses aux mauves et aux bleus-verts. L'ammoniaque fait virer le rouge au vert comme il le fait pour l'anthocyane ; des solutions d'anthocyane du vin, de même concentration (jugée par l'intensité de la coloration), fournissent les mêmes réactions, celles de notre matière colorante synthétique.

On a donc ici une intéressante réaction qui, par un chemin

[1] Observations inédites.
[2] Chodat, R. Oxidationsfermente in Abderhalden. *Handbuch der Biochem. Methoden.*

inverse, amène au même résultat que les analyses des couleurs, c'est-à-dire que les tanins sont le point de départ pour la production des anthocyanes.

Nous disons anthocyanes, car toutes les recherches montrent qu'il y a, malgré les analogies, toute une classe de ces corps.

Quant au ferment la tyrosinase, il est très répandu dans le règne végétal. Je ne voudrais pas prétendre que, dans tous les cas, l'anthocyane doive son origine à l'action oxydante de la tyrosinase. Il n'est pas toujours facile d'isoler les ferments. Il n'est non plus certain que les ferments oxydants ne sont pas très nombreux et variés. Il faudra donc étudier dans quelle mesure la distribution des ferments oxydants spécifiques coïncide avec la formation de l'anthocyane. Disons en passant que la peroxydase intensifie l'action de la tyrosinase dans ce phénomène, soit sur le tanin, soit sur l'acide gallique. D'autre part, il se peut que d'autres substances oxy-acides aromatiques entrent aussi en ligne de compte. L'acide protocatéchique ne fournit cependant pas cette réaction. La pyrocatéchine au contraire réagit fortement vis-à-vis de la tyrosinase en produisant des pigments jaunes très intenses.

Quoiqu'il en soit, c'est pour la première fois, qu'à partir des tanins ou de leurs dérivés (ac. gallique), on arrive, en faisant agir la tyrosinase pure, à la production d'un pigment, dont l'analogie, sinon l'identité avec les anthocyanes est évidente.

Ainsi l'étude des ferments oxydants[1], à son tour, viendra contribuer à jeter une lumière toute particulière sur le sujet si difficile de l'origine des pigments chez les plantes.

Il me resterait à vous parler de ces pigments jaunes si bien étudiés par notre regretté collègue *Kostanecki,* et dont M. le Prof. *Noelting* a fait un si lucide exposé dans le dernier volume des Actes (1911).

Il me faudrait vous parler aussi de la distribution des pigments dans les tissus des plantes, des dispositifs qui, dans l'épiderme, concourent à donner de l'éclat aux pétales, de ces papilles qui

[1] Chodat et Bach. *Bericht d. d. Chem. Ges.*, 1902-1906. — Abderhalden et Guggenheim, I, *Hoppe Seiler. Zeitschr. f. phys. Chem.*, 1908. — Chodat et Staub. *Archives*, 1907.

fonctionnent à la fois comme miroirs et comme lentilles. Il y aurait aussi à exposer les combinaisons par lesquelles, au rouge de la carotine ou au jaune d'or de son dérivé, la xanthophylle, viennent s'associer les rouges et les bleus des anthocyanes ou des flavones jaunes-dorés du suc cellulaire. Mais j'ai déjà été trop long. Il me suffit en terminant d'insister sur la nécessité dans laquelle se trouve le biologiste d'être attentif aux recherches poursuivies par les disciplines connexes, la physique et la chimie. Des réunions comme celles de la Société helvétique des sciences naturelles qui groupent des spécialistes du domaine étendu des sciences naturelles, sont l'image du travail scientifique qui, sur la base de la spécialisation, déborde au delà de ses limites étroites et utilise les découvertes d'un champ beaucoup plus étendu.

Leere Seite
Blank page
Page vide

Der Gebirgsbau der Zentralschweiz

von

Dr. P. Arbenz (Zürich)

Mit einem Deckenschema der Zentralschweiz und Längsprofilen (Tafeln I und II).

Achtundzwanzig Jahre sind verflossen, seit *Marcel Bertrand* (1) durch seine Umdeutung der Profile durch die Glarneralpen den Anstoss zur Umwälzung der grundliegenden Vorstellungen über den Bau unseres Gebirges gegeben hat. Er setzte an Stelle der Glarner Doppelfalte, die aus einer von Norden und einer von Süden her kommenden Falte bestehen sollte, eine einheitliche von Süden gegen Norden geschobene Falte, indem er die ganze Nordfalte an die Südfalte anhängte, die Wurzel der gesamten überschobenen Massen von Glarus im Süden, im Vorderrheintal suchte.

Es dauerte lange, bis diese fundamentalen Vorstellungen, die bereits *Bertrand* auch auf die Præalpen der Westschweiz und des Chablais angewandt hatte, ausgebaut wurden. *Schardt* war es, der zuerst im Laufe der neunziger Jahre die Præalpen und Klippen der Schweiz als von Süden her überschobene, exotische Massen ausführlich und in aller Schärfe darstellte. An der Jahresversammlung unserer Gesellschaft in Engelberg, 1897 (2), sprach er in einem denkwürdigen Vortrag über dieses Thema.

1897 griff *Bertrand* (3) nochmals ein wichtiges Problem alpiner Tektonik auf. Er zog zusammen mit *Golliez* die Konsequenzen aus seiner früher geäusserten Anschauung über die Glarner Ueberschiebung auch für die Berneroberländer und Unterwaldner Kalkalpen, deren erste Durchforschung und

Kartierung wir *Mœsch* verdanken. *Bertrand* gelangte zum Schlusse, dass das ganze Gebirge nördlich der Linie Surenen-Jochpass-Scheidegg überschobenes, wurzelloses Gebiet sei, dessen Heimat wie die ehemalige Glarner Nordfalte im Süden, südlich des krystallinen Aarmassivs zu suchen sei. Damit war der Schlüssel zur Umdeutung aller Profile zwischen Genfersee und Rhein gegeben.

Merkwürdigerweise machte aber auch diese überaus wichtige Arbeit in ihrer vorsichtigen Ausdrucksweise momentan keinen allgemeinen Eindruck.

Erst als in den Jahren 1901 und 1902 *Lugeon* mit seinem epochemachenden Werk: *Les grandes nappes de recouvrement des Alpes du Chablais et de la Suisse* (4) hervortrat, begannen die Bertrand'schen Ideen, erweitert und vertieft durch *Lugeon*, ihren Siegeszug durch die Geologenschulen in nah und fern. *Lugeon* war es auch gelungen, in den Gneissregionen des Wallis die Existenz von Deckfalten nachzuweisen.

Nichts zeugt mehr für die Fruchtbarkeit der Lugeon'schen Ideen und Konstruktionen als der Umstand, dass auch heute noch, zehn Jahre nachdem diese Arbeit erschienen, die Geologen mit der Anwendung und dem Ausbau der neuen Lehre beschäftigt sind. Mehr als je stehen wir heute, wie wir sehen werden, auf dem Boden dieser Ideen. Gerade die Alpen der Zentralschweiz sind und bleiben ein klassisches Beispiel eines Gebirgsstücks, dessen Bau erst durch einen verblüffenden und zunächst kaum glaubhaft erscheinenden tektonischen «Kunstgriff», wenn ich so sagen darf, verständlich wurde. Dabei ist das Problem im Ganzen betrachtet erstaunlich einfach. *M. Bertrand* schrieb 1884 mit Recht: «C'est simplement au fond l'hypothèse d'un pli unique, substituée à celle du «double pli» d'*Escher*.» Doch im Einzelnen stellen sich enorme Komplikationen ein. Nur eine gründliche Neudurchforschung des Alpengebietes konnte hier Licht schaffen. Die Schweizerische geologische Kommission, an ihrer Spitze Prof. *Alb. Heim*, beauftragte eine ganze Reihe von jüngern Geologen, darunter auch den Sprechenden, mit solchen Neuaufnahmen. Heute ist der grösste Teil der Kalkalpen zwischen Diablerets und Rhein fertig auf-

genommen, ferner wurde ein grosser Teil des Walliser Deckenlandes neu kartiert. Diese grosse Arbeit hätte mit verhältnismässig so geringen Mitteln niemals in so kurzer Zeit ausgeführt werden können, hätten nicht die neuen Ideen bei der geologischen Jungmannschaft einem wahren Feuereifer gerufen.

Es wäre undankbar, würden wir an dieser Stelle nur derjenigen Männer gedenken, denen wir den gegenwärtigen Aufschwung der Alpengeologie zuschreiben müssen. Mit Bewunderung müssen wir aber gerade heute auf die Werke eines Pioniers der Alpengeologie blicken, dessen Arbeitsfeld das Reusstal war: Dr. *Lusser*. Seine Profile (5) waren für jene Zeit (sie erschienen 1842 in den Denkschriften), da man von Jura, Kreide und Eocän in diesem Lande noch kaum etwas wusste, von einer ungewöhnlichen tektonischen Genauigkeit. Wir sehen bereits die Windgällenfalte in ihren gröbsten Umrissen dargestellt, wir finden in seinen Profilen den Faltenwurf des Frohnalpstocks, der Bauenstöcke richtig wiedergegeben. Seine scharfen Einzelbeobachtungen haben auch heute noch ihren Wert. Wenn *Lusser* damals noch nicht jeder Stufe und jedem Gestein seinen richtigen Namen geben konnte, so fallen doch seine Gruppen der «Niederschläge erster, zweiter, dritter Art» mit den tektonischen Einheiten, wie man sie heute unterscheidet, grösstenteils zusammen.

Wie manchen Wandel die Ansichten über den Bau der Zentralschweiz durchgemacht haben, lässt sich nicht mit wenigen Worten sagen. Ich muss mich darauf beschränken, die Resultate der Neudurchforschung zu schildern. Nur zu einem kleinen Teil kann es sich um Resultate eigener Arbeiten handeln. Für die östliche Schweiz (Glarner- und St. Galler-Alpen) sind die Aufnahmen von *Oberholzer* und *Arnold Heim* massgebend, im Vierwaldstätterseegebiet die Arbeiten von *Tobler* und *Buxtorf;* für die Windgälle kommen die neuen Arbeiten von *W. Staub* in erster Linie in Betracht; die Urirotstockgruppe und die Berge zwischen Engelberg, Meiringen und dem Sarnersee sind das Arbeitsfeld des Sprechenden. Für den grössten Teil unseres Gebietes liegen geologische Spezialkarten vor. Eine geologische Karte der Umgebung des Vierwaldstättersees, in der Haupt-

sache von *Tobler* und *Buxtorf* aufgenommen, befindet sich im Druck.

Bevor wir uns mit dem Bau der Zentralschweiz im Einzelnen befassen können, ist es wohl zweckmässig, einen Ueberblick über die *Gliederung des Alpenkörpers* zu geben, so wie sie heutzutage angenommen wird. Nicht dass damit das letzte Wort über die regionale Tektonik unseres Gebirges gesprochen wäre. Die Ansichten, die Namen werden sich noch häufig ändern.

Diejenigen Partien der Alpen, in denen die krystallinen Gesteine (Granit, Gneiss und krystalline Schiefer im allgemeinen) auf grossen Flächen zu Tage treten, — Regionen, die meistens schon durch ihre Massenerhebung ausgezeichnet sind, — pflegt man *Zentralmassive* oder kurz *Massive* zu nennen. Man spricht von einem Aarmassiv, Gotthardmassiv, Silvrettamassiv u.s.w. Unter diesen zeigen die nördlichen, alpenauswärts gelegenen Massive: Mont-Blanc-, Aiguilles-rouges-, Aar- und Gotthard-Massiv, ferner auch der südlichste Gneissdistrikt, das Massiv des Monte-Cenere (Seengebirge) steile Stellung der Gneisse und diskordante Ueberlagerung durch jüngere Schichten. Alle die genannten Massive sind zwar intensiv gefaltet, als Ganzes sind sie jedoch an Ort un Stelle geblieben, d.h. *autochthon*. Die Reihe von äusseren Massiven, die auch in den Westalpen mehrere Vertreter hat, erfuhr in der Carbonzeit zusammen mit dem Seengebirge und gleichzeitig mit Vogesen und Schwarzwald eine intensive Faltung. Man bezeichnet diese als die *hercynische* Faltung, und die Gebirge, die damals in Mitteleuropa aufgestaut wurden, das armoricanische und variscische Gebirge. Schon zu Beginn der Triaszeit hatte dieses alte mächtige Gebirge seine scharfen Formen verloren und war auf weite Strecken sogar völlig ausgeebnet.

Ganz anders verhalten sich die Gneissmassive in Wallis, Tessin und Bünden. In ihnen ist keine alte Faltung, keine Discordanz unter der Trias vorhanden. Hier hat der carbonische Schub nicht gewirkt, wohl aber nördlich und südlich dieses Streifens. Um so mehr ergriff dafür in der Tertiärzeit der faltende Schub dieses bisher verschonte Gebiet und türmte mächtige Gneissdecken in Form von liegenden Falten übereinander.

Wir nennen diese Zone, deren Erforschung und tektonische Deutung in neuester Zeit insbesondere von *Argand* (6) in hohem Masse gefördert wurde, die *penninische Zone* und die Ueberfal tungsdecken in dieser Region die *penninischen Decken.*

Die Sedimente, die zu den Massiven gehören, verhalten sich in tektonischer Beziehung wie diese selbst sehr verschieden-Ueber dem krystallinen Untergrund der äussern autochthonen Massive liegt eine reichgegliederte Schichtserie von Trias bis Eocän, in der meistens der Jura dominiert. Dies ist der *autochthone Sedimentmantel* der äussern Massive. Nach der Fazies seiner Sedimente gehört er zur helvetischen Zone.

Ganz anders sieht die Sedimenthülle der penninischen Massive aus. Hier dominieren mesozoische, mehr oder weniger tonige Schiefer, die im Wallis als *Schistes lustrés* oder *Glanzschiefer,* in der östlichen Schweiz als *Bündnerschiefer* bezeichnet werden.

Das Bindeglied zwischen der autochthon-helvetischen und der penninischen Region ist in den *helvetischen Decken* zu finden.

Diese Massen entstammen in der Tat der Region am Südrande der autochthonen Massive, vor allem des Aarmassivs. Hier ist ihre Wurzel, die im Wallis bei Sitten und in Bünden im Vorder-Rheintal zu sehen ist. In Form von mächtigen Deckfalten (nappes de recouvrement) überdeckten sie das Aarmassiv, sind aber auf der Massivhöhe völlig abgetragen worden. Dagegen blieben sie nördlich des Massivs in einer vertieften Zone, und an den Enden des Massivs, d.h. da wo das Massiv in die Tiefe taucht, auch auf dem Scheitel des Gebirges ganz oder teilweise erhalten. Am Alpenrande schliesslich bäumen sie sich wieder auf. Das ist die Brandungszone und zugleich die Stirnregion der helvetischen Decken. Somit besitzen die helvetischen Decken zunächst der Wurzel einen *aufsteigenden Teil,* dann eine *Scheitelregion* über der Massivhöhe, einen *absteigenden* Teil und zuletzt nochmals eine *aufsteigende Stirnregion* am Rande des Molasselandes.

Die helvetischen Decken zerfallen in eine Anzahl von mehr oder weniger tief von einander getrennten *Zweig-* oder *Teildecken.* Als Ganzes hervorgegangen, aus liegenden Falten und Schuppen, zeigen diese Teildecken selbst wieder intensive

Sekundärfalten. In der Fazies ihrer Schichtreihen sind die helvetischen Decken unter sich recht verschieden. Von Norden gegen Süden, d.h. in der Richtung von der helvetischen gegen die penninische Zone, ist eine allgemeine Zunahme der Mächtigkeit der meisten Stufen zu konstatieren, und zwar setzen besonders die schiefrig-tonigen Ablagerungen immer stärker ein und verdrängen die Kalkfazies.

Ueber den helvetischen Decken liegen aber noch weitere Massen, die noch höheren Decken angehören. In der Westschweiz und im Chablais sind sie in den *Præalpen* zusammenhängend erhalten, in der Zentral- und Ostschweiz dagegen nur noch in Ueberresten, den sogenannten *Klippen,* vor der Abtragung bewahrt geblieben. Die Fazies ihrer Schichtreihen ist von der helvetischen stark verschieden und deutet auf eine weit südlichere Heimat. Innerhalb der penninischen Zone können sie ebenfalls nicht wurzeln, wir müssen sie daher von einer noch südlicher gelegenen Zone ableiten.

Der Bau Graubündens kann über die Lage der Wurzeln dieses Deckensystems Aufschluss geben. Aequivalente der Klippendecke und deren Begleiter liegen nämlich dort über dem penninischen Bündnerschieferland und reichen südwärts mindestens bis zum Engadin und Bergell. Man nennt dort diese Decken im allgemeinen die *lepontinischen.* Auch hier müssen wir aber die Wurzeln dieser Decken südlich der penninischen Zone erwarten.

Damit ist aber noch nicht das höchste Glied des Alpenkörpers genannt. Auf den lepontinischen Decken Graubündens liegt das System der riesigen *ostalpinen Decken* mit ihrer mächtigen Triasentwicklung, mit riesigen überschobenen Gneissmassiven wie Silvretta und Oetztalermasse, mit Fenstern, in denen des lepontinische und penninische Untergrund zum Vorschein kommt (wie im Unter-Engadin, in den Hohen-Tauern und am Semmering). Die Wurzeln dieses mächtigen Deckenlandes kommen vom Tonale-Pass ins Veltlin herüber und lassen sich dann weiter über Bellinzona bis gegen Ivrea verfolgen.

Die Linie, an der die ostalpinen Decken gegen Westen aufhören, zieht sich quer durch den ganzen Alpenkörper hindurch.

Sie schneidet das Faltenstreichen unter schiefem Winkel. Diese Linie entspricht nicht der Stirn der Decke, sondern ist lediglich als ein Erosionsrand aufzufassen. Das ostalpine Deckensystem ist als Ganzes wie das lepontinische und helvetische von Süden gegen Norden (nur lokal von Süd-Osten gegen Nord-Westen) gewandert und hat auch noch eine Strecke weiter westwärts über dem penninischen und helvetischen Gebiet gelegen, wo es heute verschwunden ist. Somit liegen auf Grund der Deckentektonik die Ostalpen nicht neben, sondern *über* den Westalpen und ihrer Fortsetzung.

Betrachten wir noch zum Schlusse dieser Uebersicht die Lage der Decken und ihrer Wurzeln im Vergleich mit den Massiven, die in der Carbonzeit gefaltet worden sind, dem Aarmassiv und dem insubrischen Seengebirge. Alle Decken unseres Landes stammen ohne Zweifel aus dem Raum zwischen diesen beiden alten verfestigten Klötzen. Diese beiden Massivzonen im Norden und im Süden wirkten zur Zeit der Faltung im Tertiär auf die sich bildenden Decken wie die Backen eines Schraubstocks.

So folgen sich also südlich der äusseren Massive nacheinander die Wurzeln der helvetischen, penninischen, lepontinischen und ostalpinen Decken. Hauptwurzelzonen sind die Linie des Rhone-Rheintales für die helvetischen Decken, das Veltlin und die Amphibolitzone von Ivrea für die ostalpinen Decken.

Am *Aufbau der Zentralschweiz* nehmen Teil: das autochthone Aarmassiv, die helvetischen Decken und einige Klippenberge.

Das *Aarmassiv* im weitern Sinne zerfällt zwischen Andermatt und Erstfeld, wie auch weiter westlich in zwei Teile. Der südliche Teil, das eigentliche Aarmassiv, enthält den karbonischen Intrusivstock des Aaregranits mit seinen randlichen Porphyrapophysen. Vom nördlichen Teil ist dieser durch die tiefe muldenförmige Einfaltung der Windgälle getrennt, die sich wohl ins Maiental zum Malmkalkheil von Färnigen und den jurassischen Mulden am Sustenpass fortsetzt. Der nördliche Teil des Massivs, das Massiv der Erstfeldergneisse, besteht in der Hauptsache aus Injektionsgneissen, sedimentären Gneissen

und sericitischen Schiefern hohen Alters. Die diskordante Auflagerung des Karbons auf den Gneissen westlich des Wendenjochs beweist, dass es sich im Erstfeldermassiv um vor- oder altkarbonische Gesteine und Intrusionen handelt.

Rechts des Reusstales wird das Erstfeldermassiv von seinem autochthonen Sedimentmantel überwölbt, links des Tales ist dieser auf dem Scheitel des Gneissrückens nur noch in kleinen Resten auf der Krönte, am Zwächten und an den Spannörtern erhalten. Zusammenhängend stellen sich hier die autochthonen Sedimente erst am Nordabfall des Massivs ein und bilden die hohen Felsmauern der Schlossberg- und Titliskette. Auffallend ist, wie die mesozoischen Schichten diskordant auf den Schichtköpfen der Gneisse und auch des Karbon aufsitzen. Wir ersehen daraus, dass der Untergrund schon in karbonischer Zeit gefaltet und vor Beginn der Triasperiode bereits wieder abgetragen und ausgeebnet war.

Ueber das Erstfeldermassiv und seinen Sedimentmantel schwingt sich die mächtige Windgällenfalte mit ihrem Porphyr im Gewölbekern. Sie wurzelt nach *W. Staub* (7) südlich des Maderanertales und stammt mit samt dem Porphyr aus der südlichen Massivzone, d.h. aus dem eigentlichen Aarmassiv. Somit ist hier ein Teil des Aarmassivs über das tieferliegende Erstfeldermassiv hinübergefaltet worden.

Westlich des Reusstales ist von der Windgällenfalte nichts mehr vorhanden. Sie hatte einst hoch über den Spannörtern und der Krönte gelegen. Dafür stellen sich im Erstfeldertal, im Gadmertal und bei Innertkirchen im Nordmassiv bedeutende Trias- und Malmfalten ein, die besonders im Urbachtal durch die Arbeiten von *Baltzer* berühmt wurden. Im Querprofil des Haslitals fällt die Trennung von Nord- und Südmassiv schwer, weil eine der Färniger Mulde entsprechende Synklinale aus Jurakalk fehlt. Erst vom Mönchsjoch an stellt sich ein der genannten Mulde höchst wahrscheinlich entsprechender Kalkzug wieder ein, der unter dem Namen *Oberer Jungfraukeil* bekannt ist. Dieser reicht westwärts bis ins Lötschental und grenzt das Massiv des Gasterngranits südlich vom eigentlichen Aarmassiv ab. Gasterngranit und Erstfelder Gneisse gehören in die glei-

che Zone (Zone der nördlichen Gneisse) und entsprechen sich tektonisch. Das eigentliche Aarmassiv verhält sich zum nördlich vorgelagerten Gastern-Erstfeldermassiv gleich wie das Mont-Blanc-Massiv zum Massiv der Aiguilles-Rouges.

Kehren wir zur Windgälle zurück. Ueber dem Malm folgt direkt das Eocän (die Kreide kann hier übergangen werden), das zusammen mit Oligocän in grosser Mächtigkeit das ganze Schächental erfüllt und über die Surenen nach Engelberg zieht. Innerhalb dieser Eocänzone, wir wollen sie die *parautochthone* nennen, gibt es reichliche Komplikationen. Malmfalten spalten das Tertiär in mehrere Serien, die zum Teil den Namen Decke verdienen, weil sie grösstenteils von ihrer Wurzel abgetrennt sind. Sie haben sich südlich über der Windgälle vom Mantel des reichgefalteten Aarmassivs abgetrennt. Dahin gehören Griesstock- und Faulendecke. Wir wollen diese kleinern Decken, die von *W. Staub* eingehend studiert worden sind, nach *Arnold Heim* die *parautochthonen* Decken nennen.

Von grosser Bedeutung ist das tektonische *Verhältnis der Windgällenfalte zu den parautochthonen Decken.* Die Windgällenfalte hat sich nämlich in diese Decken hineingedrängt und überfaltet die unterste sogar ein Stück weit. Dieser Vorgang ist der Anfang zu einer Einwicklung, einem Phänomen, dem wir später noch unsere Aufmerksamkeit zuwenden müssen. Wir können aus diesen Verhältnissen schliessen, dass *die Windgällenfalte gegenüber den parautochthonen Decken in ihren letzten Bewegungen jünger ist.*

Die parautochthone Tertiärzone ist eine der wichtigsten Zonen in den helvetischen Alpen. Sie erweitert sich gegen Osten beträchtlich und erreicht im Flyschgebiet von Elm und Linthal ihr Maximum. Gegen Westen verschmälert sie sich rasch. Am Jochpass und bei Meiringen erreicht sie stellenweise kaum noch dreissig Meter. Dass sie sich durch das ganze Berner Oberland bis zur Gemmi fortsetzt, wurde schon 1897 von *Marcel Bertrand*(3) festgestellt. Sie scheidet überall die autochthone Zone im Süden von den nordwärts absteigenden noch erhaltenen Resten der helvetischen Decken.

In der Zentralschweiz, speziell im Quertal der Reuss, finden

wir, abgesehen von den bereits genannten parautochthonen, in der Hauptsache nur *zwei helvetische Decken*, die unter sich selbst wieder durch ein Band von Eocän getrennt sind.

Die obere Decke baut Frohnalp und Bauenstöcke auf und wird als *Drusbergdecke* bezeichnet, die untere, die südlich unter der genannten hervorkommt bildet die Axenkette und die Berge von Isental. Sie trägt den Namen *Axendecke*.

Die beiden Decken sind in ihrer *Kreidefazies* stark voneinander verschieden. Die obere Decke, die sog. *Drusbergdecke,* ist durch eine mächtige Entwicklung der Kreidesedimente ausgezeichnet. Die kalkigen Horizonte nehmen innerhalb dieser Decke von Norden gegen Süden an Mächtigkeit ab. An ihre Stelle treten mergelige und tonige Schichten.

Die *Axendecke* dagegen zeigt im Ganzen bedeutend geringere Mächtigkeiten in der Kreide und ein Ueberwiegen der kalkigen Fazies, besonders im Valangien.

In den *parautochthonen Decken* ist die Kreide nur rudimentär ausgebildet, im *autochthonen* Windgällengebiet fehlt sie mit Ausnahme des tiefsten noch fraglichen Horizontes gänzlich.

Denken wir uns die verschiedenen Decken an ihren Ursprungsort zurückversetzt, so bekommen wir von Norden nach Süden im ehemaligen Ablagerungsraume eine *stetige Faziesveränderung* und zwar in dem Sinne, dass die Kreidesedimente südwärts in immer grösseren Mächtigkeiten auftreten.

Eine ähnliche Faziesfolge lässt sich auch in der Kreide der Säntis-Churfirstengruppe und auch im Wildhorngebiet nachweisen.

Die *Strukturformen* der beiden in der Zentralschweiz dominierenden Decken, der Drusbergdecke oben und der Axendecke unten, zeigen wesentliche Differenzen.

Während in der *Drusbergdecke* eine Anzahl von schrägstehenden Falten, z. B. die Falte des Seelisbergerkulms, des Frohnalpstocks, der Fallenfluh, das Bild beherrschen, tauchen in der Axendecke alle Falten in die Tiefe. Die Ueberschiebungsflächen beider Decken tauchen zwar am Urnersee in gleicher Weise nordwärts in die Tiefe, die Stellung der Sekundärfalten ist aber in beiden sehr verschieden. Die Axendecke kann als Beispiel einer mit der Stirn in die Tiefe *tauchenden Decke*

bezeichnet werden. Die Drusbergdecke und die nordwärts unmittelbar sich daran anschliessenden tieferen Teildecken erheben sich dagegen in der nördlichen Kalkkette wieder. Die Stirnen dieser Decken, Falten und Schuppen schauen nicht in die Tiefe, sondern schräg nach oben.

Die Axendecke gehört zu den kompliziertesten Teilen der helvetischen Alpen. Seit den Untersuchungen von *Alb. Heim* ist allbekannt, wie am Urnersee eine eocäne Mulde von unten in die Kreide am Axen hineingreift und oben von Kreide völlig überwölbt wird. An der Silbern und am Glärnisch, die in die östliche Fortsetzung der Axendecke gehören, konnte *Oberholzer* eine ganze Anzahl von grossen Schuppen und Teildecken nachweisen. In der Axenkette selbst werden uns die Untersuchungen von *Buxtorf* und *Hauswirth* ähnliche Komplikationen aufdecken.

Die Drusbergdecke enthält in der Zentralschweiz nur Kreide und Eocän. Einzig bei Muotatal und am Schonegg-Pass ist etwas Malm mitgekommen. Im allgemeinen sind aber die Jurakerne dieser Decke weiter im Süden zurückgeblieben und der Abtragung anheimgefallen.

Ganz anders verhält sich die *Axendecke*. Ihr Jura ist in riesigen Massen bei der Ueberschiebung genügend weit mitgelangt, dass er noch heute erhalten bleiben konnte. Er nimmt die Flächen zwischen dem Bösen Faulen, dem Ortstock und dem Kinzig-Kulm ein. Der Malmkalk erreicht aber mit seiner tauchenden Gewölbestirn das Niveau des Urnersees nicht, sondern schliesst höher oben am Gruonbach total umwickelt von unterer Kreide auf.

Seinerzeit, als man diese Kette notwendigerweise als autochthon ansehen musste, war es kaum begreiflich, warum dieser Malm keinen Stiel nach der Tiefe besitzt. Auf Grund der Deckentheorie wird dieses Strukturbild ohne weiteres verständlich.

Verfolgen wir nun die beiden Decken im Streichen, und zwar zunächst nach Osten.

Die Falten der Drusbergdecke setzen sich im obern Sihltal fort. Am Fluhbrig ist die Stirn der Drusbergdecke als mäch-

tiges liegendes Gewölbe erhalten. Unter der eigentlichen Drusbergdecke *(Arn. Heim)* (= Fluhbrigdecke nach *Lugeon)* erscheinen östlich des Wäggitals zwei tiefere Abzweigungen der gleichen Decke. Sie tragen den Namen *Räderten-* und *Wiggis-* (resp. *Säntis-)* decke. Die Drusbergdecke selbst ist dort abgewittert. An die Wiggisdecke schliessen sich die Churfirsten und an diese das Faltenbüschel des Säntis. Aus diesem Grund hat *Arn. Heim* an Stelle des Namens Wiggisdecke den der *Säntisdecke* eingeführt. Geht man dem Kamme der Churfirsten entlang gegen Südosten, so erreicht man in der Alviergruppe die streichende Verlängerung der Räderten- und Drusbergteildecken. Hier finden wir aber solche grosse Falten nicht mehr. Die Räderten- und Drusberg- (Fluhbrig-) teildecken resp. Falten klingen somit gegen Osten aus. Der faltende Schub hat sich dafür im Säntisgebirge um intensiver ausgelöst.

Hier im äussersten Osten der höhern helvetischen Decke (Säntis-Drusbergdecke) sind am Gonzen auch die Jurakerne dieser Decke erhalten.

Wir sehen somit wie die Drusbergdecke gegen Osten ausklingt und ihre Rolle der Wiggis-, im weiteren Sinne der Säntisdecke abtritt.

Gehen wir zur *Axendecke* über. Ihre Hauptentwicklung fällt zwischen Ortstock und Glärnisch. Oestlich des Linthtals ist sie nur in Liasresten (Magereu, Spitzmeilen) erhalten. Bei Wallenstadt hat *Arn. Heim* Reste derselben aufgefunden. Es handelt sich aber nur um Jura, und auf diesem liegt unmittelbar die Säntisdecke (Churfirsten). Man kann sich nun fragen, wo die Kreide der Axendecke östlich des Linthtales hingekommen sei. Ich bin nun zur Ansicht gelangt, dass wir sie wenigstens teilweise im Säntis suchen müssen. Im Glärnischgebiet ging der Komplex der Drusbergdecke mit ihren Abzweigungen über die Axendecke hinweg, im Osten wurde die Kreide der Axendecke von ihrem Jura abgetrennt und der Stirn der Wiggis- (Säntis-) decke angegliedert.

Während wir im Reusstal unter der Axendecke direkt auf die parautochthone Flyschzone stossen, schieben sich im Glarnerland unter der Axenkette noch die *Mürtschen-* und die *Glar-*

nerdecke ein. Beide reichen gegen Westen nur wenig über Linthal hinaus. Diese beiden tiefsten Decken sind die einzigen helvetischen Decken die eine vollständige Schichtreihe vom Verrucano bis zum Eocän enthalten. Alle höheren Decken der Zentralschweiz enthalten als älteste Schichten höchstens Trias.

Es ist gewiss kein Zufall, dass sich die tiefern helvetischen Decken da einstellen, wo gegen Osten das Aarmassiv zur Tiefe sinkt, und dass vor dem Massiv selbst nur die höhern Decken zur Geltung gelangen.

Verfolgt man unsere Decken auch *westlich des Reusstals,* so tritt dieses Verhältnis deutlich in Erscheinung.

Wir können die Kreidefalten der Drusbergdecke der Zentralschweiz gegen Westen bis zum Brienzersee verfolgen, und von dort ist der Anschluss an die grösste helvetische Decke der westlichen Berneralpen, die *Wildhorndecke,* leicht möglich. Wir können somit sagen, dass die *Drusberg-Säntisdecke in die östliche Fortsetzung der Wildhorndecke fällt.*

Die Fortsetzung der *Axendecke* westlich des Reusstals finden wir in der *Urirotstockgruppe.* Die höhern Gipfel und Plateaux dieses herrlichen Gebirgsstücks sind aus Malm, Dogger und Lias einer höhern Abzweigung der Axendecke, der Urirotstockdecke herausmodelliert und zeigen intensive Faltungen[1]. Die Kreideregion der Axendecke nimmt westlich des Urnersees die Gegend von Isental ein. Eine tiefe Mulde trennt sie von der Kreide des Gitschen, die als verkehrte Serie der Urirotstockmasse zu deuten ist.

Der Malm am Fuss des Gitschens könnte als Fortsetzung desjenigen ob Flüelen angesehen und zur Axendecke gerechnet werden. Er ist aber faziell ganz anders ausgebildet. Es ist ein heller Korallenkalk, wie er sich in der Axendecke nicht findet. Ohne Zweifel gehört er einer tiefern tektonischen Einheit an. Auch am Weissberg bei Engelberg ist eine Linse solchen Korallenkalks unter der Urirotstockdecke vorhanden.

Die Urirotstockdecke und die Kreide der eigentlichen Axen-

[1] Die neuesten Mitteilungen von *A. Buxtorf* lassen darauf schliessen, dass die Urirotstockdecke die direckte Fortsetzung der Axendecke ist, dass somit beide Decken identisch sind. (Während des Druckes beigefügt).

decke reichen nach Westen nicht wesentlich weiter als bis zum *Engelbergertal.* Dort legen sich auf die Urirotstockdecke die komplizierten Jurafalten der *Hutstockgruppe.* Die jüngsten Schichten, die an diesen Falten teilnehmen, gehören zur untersten Kreide, alle jüngern Sedimente bewegten sich weiter nach Norden. Dass die Hutstockfalten und die Berge bei der Frutt zur höhern helvetischen Decke (im Sinne von *A. Buxtorf)* gehören, unterliegt keinem Zweifel. Wir sehen somit in dieser Region zum ersten Mal die Jurakerne der Drusbergdecke erhalten. Sie verdanken ihre Erhaltung dem Umstand, dass *die Axendecke und ihre Fortsetzung, die Urirotstockdecke, gegen Westen aufhören.* Diese teilen also das Schicksal der tiefern Decken von Glarus: ihre Stirn zieht sich zurück. Eine um die andere der tiefern Decken setzt an der Basis der helvetischen Schubmassen aus, so dass vom Jochpass zum Lauterbrunnertal einzig die Drusberg-Wildhorndecke übrig bleibt[1].

Im Gegensatz zu diesen tiefern Decken, der Axendecke im engern Sinne und der Urirotstockdecke, *zeigt die höhere Decke, die Drusbergdecke, im Zentrum der Schweiz vor dem Aarmassiv keine abgeschwächte Form.* Im Gegenteil sind ihre Sekundärfalten hier zum Teil viel intensiver als im Osten. So nimmt die kleine Falte am Hauserstock ob Sisikon gegen Westen an Grösse immer mehr zu, wird im Engelbergertal zu einer grossen liegenden Falte und entwickelt sich schliesslich zu einer Art Teildecke, der Augstmatthorndecke von *P. Beck.*

Wir sehen somit, dass bei der jetzigen Nomenklatur Decke und Decke jedenfalls nicht immer dasselbe sagen will. Grosse *Stammdecken* müssen von kleinern *Zweig-* oder *Teildecken* unterschieden werden. Besonders diese letztern gehen im Streichen deutlich aus liegenden Falten hervor, wie denn überhaupt der Faltenbau die Tektonik der helvetischen Alpen durchaus beherrscht.

Immer noch werden mehr und mehr Decken unterschieden, die Analyse der Strukturformen schreitet weiter. Für den Nicht-

[1] Inwiefern hier auch noch Reste der Diableretsdecke vorhanden sind, ist zur Zeit noch nicht eruiert worden.

eingeweihten wirkt diese grosse Zahl von Decken und Decklein verwirrend. Wer aber den Gang der Erforschung verfolgt, wird keinem der zahlreichen Terraingeologen einen Vorwurf daraus machen, dass er zu viel Decken unterschieden hat. Es fällt nachher, wenn man den Charakter der vielen Einzelteile einmal kennt, nicht schwer, Ordnung zu schaffen und zusammenzufassen, was zusammengehört.

Besonders reichgegliedert ist die *Kreideregion des Vierwaldstättersees.* In der *Randkette,* die tektonisch an die tiefern Teile der Wildhorndecke, d.h. an die Räderten- und vor allem an die Wiggis-(Säntis-)decke anschliesst, unterscheidet *Buxtorf* (3) eine Niederhorn-, Pilatus- und Bürgenstockdecke. Selbverständlich sind dies nur Zweig- oder Teildecken, deren Jurakerne weiter zurück zu suchen sind. Sie haben zum Teil gedrängten Faltenbau, zum grössten Teil handelt es sich aber nur um einfache Schuppen ohne irgend eine gewölbeförmige Stirnbiegung. Im Gegensatz zu den bisher geschilderten weiter südlich gelegenen Deckenteilen, wo die Ueberschiebungsflächen an der Basis der Decken gegen Norden in die Tiefe fallen, steigen die verschiedenen Teildecken der Randkette nordwärts empor. Die Unterfläche der helvetischen Decken hat somit in der Zentral- und Ostschweiz die Form einer *Mulde.* Dies ist die «Absenkungszone».

In dieser Mulde, wo alle tektonischen Elemente die tiefste Lage einnehmen, liegen die *Klippenberge* (Giswilerstöcke, Stanserhorn, Buochserhorn, Klewenalp, Mythen) als Reste der höhern Decken mit exotischer Fazies.

Bisher habe ich versucht, die Gliederung der helvetischen Alpen in Decken zu schildern, deren Verbreitung und Beziehungen zu einander kurz zu erörtern, somit im Grossen und Ganzen die Formen der Querprofile zu charakterisieren. Bevor wir aber dazu übegehen können die Formen der Längsprofile ins Auge zu fassen, muss noch eine wesentliche Komplikation im helvetischen Gebirge erwähnt werden. Das sind die *Einwicklungen* höherer Decken unter tiefere.

Lugeon machte schon in seiner grundlegenden Arbeit, dann aber auch später auf Reste von Decken aufmerksam, die ihren

normalen Platz über der Wildhorndecke, d.h. zu oberst auf den helvetischen Decken der Berneralpen haben und bereits zu dem Deckenkomplex der sog. Préalpes internes gehören, die aber sogar unter die Diableretsdecke hineingreifen und tief in den Muldensack zwischen dieser und der Morclesdecke in Liegenden eindringen. Die Diableretsdecke hat hier diese Reste der höhern Decke *eingewickelt.*

Wir haben durch *W. Staub* in der Windgälle Anfänge zu Einwicklungen kennen gelernt.

Von besonderer Bedeutung ist das Auftreten des sog. *Wildflysches* mit exotischen Blöcken und Fetzen von Kreideschichten in der parautochthonen Flyschzone der Zentral- und Ostschweiz. Er enthält Fossilien des Mitteleocän (Lutétien) und liegt über Obereocän (Priabonien, Bartonien) und Oligocaen. Seine Hauptverbreitung liegt in der Umgebung der Klippen. Der Wildflysch hat seine Heimat nicht in der parautochthonen Zone, sondern ist dorthin lediglich in Folge von Einwicklungen im grossen Stil gelangt, wie sie in Anlehnung an *Lugeon* auch *Arn. Heim, P. Beck* und *Buxtorf* annehmen. Die normale Position des Wildflysches wäre über den helvetischen Decken. Seine Heimat ist weiter südlich gelegen.

Aber nicht bloss Wildflysch, auch Reste der eigentlichen Klippendecke wurden eingewickelt. So liegen z. B. östlich des Thunersees Klippenpakete am Molasserand unter der helvetischen Randkette.

Daraus müssen wir ganz allgemein schliessen, dass *die Wildflyschdecke und die Decke der Prœalpen (Klippendecke) schon an Ort und Stelle, d. h. schon überschoben gewesen sein müssen, bevor sich die helvetischen Decken entwickelten.* Ferner sind auch innerhalb der helvetischen Decken, wie wir an der Windgälle bereits gesehen haben, *die jüngsten nachweisbaren Bewegungen in den allertiefsten Decken und im Autochthonen selbst erfolgt.*

Dies geht mit aller Deutlichkeit aus dem *Verhalten des Aarmassivs zu den Decken* und deren Unterfläche hervor. Am Ende des Massivs ist der Abfall der Decken vom Scheitel gegen die Absenkungszone nicht steil. Vor der Mitte des Massivs dagegen wird die Ueberschiebungsfläche, je weiter wir nach Westen

vorrücken, immer steiler. Bei Meiringen steht sie stellenweise schon vertikal, und im Berner Oberland ist sie nach älteren und neueren Beobachtungen sogar auf längere Strecken überkippt. Wir sehen daraus deutlich, dass *die Ueberschiebungsfläche der helvetischen Decken nicht mehr ihre ursprüngliche Lage besitzt, sondern durch eine nachträgliche Aufwölbung und ein Vordrängen des Aarmassivs steil gestellt und zum Teil lokal überkippt wurde.*

Diese Steilstellung macht sich auch in den autochthonen Falten selbst bemerkbar, die z. B. in der Gegend der Engelhörner in ihren Malm-Eocänpartien gänzlich auf dem Kopf stehen. Bei dieser Umformung wurde auch die Windgällenfalte, wie wir gesehen haben, weiter vorgetrieben, der Flysch am Nordhang des Titlis und an der Schlossbergkette vom Autochthonen abgeschert, und die Decken glitten noch stärker in sich zusammen: Dabei stauten sich die einen und andern an Hindernissen, so z. B. die komplizierten Hutstockfalten an dem Faltenknäuel der Urirotstockdecke am Scheideggstock bei Engelberg. Ferner ist diese letzte Bewegungsphase gewiss für zahlreiche sekundäre Verschiebungen (Brüche etc.) innerhalb der Decken verantwortlich zu machen. Sie sind zu einer Zeit erfolgt, als die Decken auf dem Scheitel des Aarmassivs wohl schon teilweise abgetragen waren. Wenn man sich der Beweiskraft dieser Argumente nicht verschliesst, so muss man zugeben, dass die Decken über dem Massiv niemals so grosse absolute Höhen erreicht haben, wie man annehmen könnte, wenn wir sie uns über den heutigen Massiven in der Luft vollständig ergänzt denken.

Bis jetzt war nur von der Aufwölbung des Massivs die Rede, die die Scheitelregion der Decken noch erhöht hat, und wir können uns fragen, ob nicht auch die Absenkungszone vor dem Massiv in ihrer heutigen Form sehr jung sei und gleichsam als Mulde zu dem aufgestauten Gewölbe, als Vortiefe zur Massivfalte aufzufassen wäre. Noch sind wir auf Vermutungen angewiesen; trotzdem will es mir scheinen, dass die Verschärfung der Absenkungsmulde zusammen mit der letzten Massivaufaufwölbung nichts anderes sei als *eine* flache Falte, bestehend

aus Mulde und Gewölbe, eine Falte, die Autochthones und alle Decken zugleich ergriffen hat. Die Faltenform ist vor dem Massiv am schärfsten, flacher dagegen, wo das Massiv verschwindet.

Schliesslich liegt es nahe, auch die Ueberschiebung der Randkette und deren Anpressung an die Molasse mit dieser letzten Faltungsphase in Zusammenhang zu bringen.

Alle diese Ueberlegungen haben den Zweck nachzuweisen, dass die helvetischen Decken am Nordfuss des Aarmassivs nicht mehr die Form und Stellung zeigen können, die sie kurz nach der Ueberschiebung zeigen mussten. Ich möchte hier zum ersten Mal die Ansicht aussprechen, dass *alle* Decken, in denen die Sekundärfalten im allgemeinen überklippt sind, *nachträglichen Bewegungen diese Stellung verdanken.*

Ueberall in der Zentralschweiz zeigt es sich, dass die Drusbergdecke beim Ueberschreiten der Axendecke letztere tektonisch stark beeinflusst hat. Ganz besonders deutlich zeigt sich dies in den Bergen von Isenthal. Aber die letzte Steilstellung der Axenkette ist zweifellos jünger und mit den Vorschüben im Windgällegebiet in Zusammenhang zu bringen.

Wir sehen somit, dass wir den Prozess der Alpenfaltung selbst in einem kleinen, aber gründlich durchforschten Revier, gliedern können. Wir können zum mindestens drei Phasen unterscheiden:

1. Die Ueberschiebung des Wildflysch und der Præalpen, die im Eocän begonnen und im Oligocän im Wesentlichen vollendet war.

2. Die Ueberschiebung der helvetischen Decken, und zwar:

a) zuerst die der tieferen,

b) später die Beendigung der Bewegungen in der Drusbergdecke.

3. Die letzte Aufwölbung des Massivs und die Vertiefung der Absenkungszone. Gleichzeitig oder früher erfolgte der Vorstoss der parautochthonen Windgällefalte und analoger Falten.

Die faltenden Schübe haben sich also im Laufe der Zeit in die Tiefe zurückgezogen. Dies ist ein Phänomen, das uns nicht verwundern darf. Die Bewegungen dauern eben durch lange

Zeiträume hindurch. Abtragungen grosser Gebirgsteile wechseln ab und gehen Hand in Hand mit den Aufstauungen. Gebirgsstücke, die bereits durchtalt sind, können den Schub nicht mehr übernehmen; er packt naturgemäs die tieferen zusammenhängenden Teile der Erdrinde, und die *oberflächlichen Teile,* die Produkte älterer Schübe sein mögen, *werden als tote Fracht passiv mitgetragen.*

In jüngster Zeithat *Argand* (6) in verblüffender Weise die Faltung der penninischen Alpen in Phasen zergliedert. In jenem grossen Gebiete können prinzipielle Fragen gelöst werden. Die helvetischen Alpen sind ja doch nur eine Dépendence der penninischen, und es wird früher oder später gelingen müssen, die Wirkungen der Revolutionen in den mächtigen penninischen Decken, die verschiedenen Phasen der Unterschiebungen auch dem vorgelagerten, aufgewühlten und weggeschobenen helvetischen Lande aufzufinden. Doch dazu sind wir heute noch nicht gelangt.

Damit glaube ich die wesentlichsten Züge, die in den Querprofilen der Zentralschweiz zum Ausdruck kommen, erwähnt zu haben und möchte nun versuchen, die Aufmerksamkeit auf die Form der *Längsprofile* zu lenken, die für das Verständnis des ganzen Strukturbildes von grösster Bedeutung sind. Nur auf den Querprofilen empfinden wir das verwirrende Chaos der Decken «peinlich», im Längsprofil wird unser Gebirge dagegen wieder einfach und übersichtlich.

Schon lange weiss man, dass die Decken und ihr autochthoner Untergrund im Längsverlauf langsam auf- und absteigen. In den aufragenden Partien, die wir *Kulminationen* nennen wollen, sind die höchsten Decken zuerst abgetragen worden und die tiefern zum Vorschein gelangt; in den Depressionen dagehen, die als schiefe Quermulden den Alpenkörper durchsetzen, waren die höchsten Decken am ehesten vor der Abtragung geschützt und sind daher an diesen Stellen am häufigsten erhalten geblieben.

Vom Aostatal an steigen die penninischen Decken in ihrem Streichen ostwärts langsam an und erreichen zwischen Simplon

und dem nördlichen Tessin ihren Höhepunkt. Die höheren Walliserdecken verschwinden eine um die andere. Ihre mesozoische Unterlage und die nächst tiefere Decke kommen zum Vorschein. Jenseits der Kulmination, das heisst östlich des Tessins, sinken alle Decken wieder zur Tiefe, und je weiter wir nach Osten fortschreiten, immer stossen wir wieder auf eine höhere Decke, die erhalten geblieben ist. Die allgemeine Kulmination der penninischen Decken liegt zwischen dem Simplon und dem nördlichen Tessin, hinter dem Aar- und Gotthardmassiv. Dort sind die tiefsten Decken entblösst worden. Hier ist der tektonisehe Höhepunkt des ganzen Alpenbogens.

Auch die Zone der autochthonen Massive zeigt ein intensives Auf- und Absteigen der Axen. Die Depression zwischen Montblanc- und Aarmassiv, in der die helvetischen Decken von der Wurzel bis zur Stirn erhalten sind, ist schon lange bekannt. In ihr zeigen auch, wie die Forschungen von *Argand* lehren, die penninischen Decken ein unbehindertes Vorrücken, während sie hinter dem Montblanc- und Aarmassiv zurückgehalten wurden. *Die Massive wirkten also schon zur Zeit der grossen Schübe als Widerstände auf die herandrängenden Decken, hinter denen sie zurückgehalten wurden und sich aufstauen mussten.*

Welchen Verlauf der Scheitel der Südzone des Aarmassivs nahm, können wir nicht sagen. Wohl aber lässt sich die Strukturoberfläche des Nordmassivs einigermassen rekonstruiren. Nach dem Verlaufe des Jungfraukeils und der Einfaltungen bei Innertkirchen lässt sich durch Konstruktion ableiten, dass in der Gegend des Haslitales eine flache Einsenkung im Nordrand des Massivs auftritt. Es ist allerdings nicht sicher, ob wir diese Einsattelung auf das ganze Massiv ausdehnen dürfen. Dadurch würde eine Wölbung des westlichen Aarmassivs von einer Wölbung des östlichen durch eine schwache Einsenkung getrennt. Die westliche wollen wir mit I, die östliche mit II bezeichnen.

In der Windgälle taucht das Erstfelder Massiv ostwärts unter, am Tödi und im Limmernboden das Aarmassiv. Das Gefälle der Gneissoberfläche beträgt in axialer Richtung 15 bis 20°. Nach dem Verlauf der autochthonen Sedimente muss die

Gneissoberfläche in der Gegend des Segnespasses am tiefsten liegen, wohl ungefähr auf Meeresniveau. Nochmals taucht der Gneiss im Osten in der kleinen Kulmination bei Vättis auf, die wir mit III bezeichnen.

Von dort an fällt die Oberfläche des hercynisch gefalteten Untergrundes definitiv ab und erreicht in dieser Zone des Alpenkörpers nirgends mehr die Tagesoberfläche.

Betrachten wir den *Verlauf der helvetischen Decken* im Längsprofil, so finden wir auch hier Kulminationen und Depressionen.

Wir wollen den Längsverlauf der helvetischen Decken zunächst in derjenigen Zone verfolgen, die dem *Nordrand des Aarmassivs unmittelbar benachbart ist.*

Die Depression I/II (Haslidepression) ist sehr deutlich ausgeprägt. Ostwärts steigen die Faltenaxen rasch an, wie auf der geologischen Spezialkarte Engelberg-Meiringen deutlich zum Ausdruck kommt. Der Höhepunkt, d.h. die Kulmination II, liegt zwischen Urirotstock und Reusstal. Nicht nur die Faltenaxen, auch die Deckenbasis hat sich rasch gehoben. Weiter gegen Osten gelangen wir wieder abwärts in eine Depression, die derjenigen zwischen II und III im Massiv nicht direkt entspricht. Der tiefste Punkt in diesem Längsprofil liegt hier in der Gegend der Schächentaler Windgälle. Nach einigen Unregelmässigkeiten erreicht man in langsamem Anstieg weiter gegen Osten eine dritte Kulmination etwa in der Gegend des Spitzmeilen. Ueberall sehen wir, dass die Faltenaxen in den verschiedenen übereinander liegenden Decken gleiches Auf- und Absteigen zeigen, ebenso auch die Unterfläche der Decken, soweit sie sichtbar ist. Differenzen entstehen da, wo eine Decke im Streichen an Mächtigkeit rasch abnimmt und ihre Rolle von einer andern übernommen wird.

Jenseits der dritten Kulmination senkt sich das Gebirge rasch und intensiv nach Osten und erhebt sich erst östlich des Rheines wieder. Wir stossen hier somit auf eine neue Depression (III/IV).

Verfolgen wir nun auch das *Längsprofil durch den nördlichen, vorwiegend kretazischen Teil der helvetischen Decken,* etwa in der Axe der Absenkungszone.

Der Brienzergrat enthält eine flache Kulmination, entsprechend I. Die Depression I/II ist in der Gegend nördlich des Brünig schwach angedeutet. Von Sarnen an erheben sich alle Axen gegen Osten rasch, um zwischen Seelisberg und Frohnalpstock die Kulmination II zu erreichen. Jenseits steigen sie ebenso rasch wieder zur Tiefe, um in der Gegend von Iberg die Depression II/III zu bilden. Der rasche Anstieg, der sich nun gegen Osten einstellt, entblösst nacheinander die tiefern Stirnteile der Drusbergdecke. Südlich Wesen erreichen wir den höchsten Punkt, also auch hier eine dritte Kulmination. Hernach folgt ein rascher Abfall gegen das Rheintal. Die Oberfläche der Säntisdecke erreicht das Niveau des Rheintals und verläuft bei Feldkirch horizontal. Dort stehen wir in einer Depression. Die vierte Kulmination stellt sich im Vorarlberg bei Au ein.

Das *Auf- und Absteigen der Randkette* wurde von *C. Burckhardt* und *Arnold Heim,* ferner auch von *Buxtorf* eingehend studiert. Wie schon *F. J. Kaufmann* dargetan hatte, steht die Randkette gänzlich unter dem Einfluss der *Nagelfluh-Zentren.* Diese wirkten als Widerstände auf die heranrückenden Decken. Im allgemeinen betrachtet, finden wir in unserem Alpenvorland drei grosse Nagelfluhmassen, die des Napf, die des Rigi und die des Zürcher Oberlandes und der St. Galler und Appenzeller Vorberge.

Diesen drei Zentren entsprechen mehr oder weniger genau drei einspringende Winkel in der Randkette, die nicht blosse Erosionsformen sind.

Der westlichste Winkel bei Thun entspricht einer Depression der Faltenaxen, auf deren Deutung hier nicht näher eingegangen werden kann. Im allgemeinen liegt jedoch die flache Wölbung I der Randkette hinter dem Napfmassiv, etwa bei Schangnau. Der einspringende Winkel ist dort nicht sehr deutlich.

Hinter dem Rigi ist der einspringende Winkel dagegen äusserst prägnant. Schräge Längsbrüche verursachen dort eine Längsstreckung der Randkette an der Stelle, wo sie besonders intensiv an den Nagelfluhklotz angepresst wurde. *Mit der Nagelfluh des Rigi fällt die Kulmination II, die auch in der Randkette fühlbar ist, zusammen.*

Die Kulmination III der Kreideketten bei Wesen fällt deutlich vor die östlichste Nagelfluhmasse. Dort stösst man in der Randkette auf eine Region mit intensiven Längsstreckungen.

Im Säntis wölben sich die Falten nochmals hoch empor und tauchen dann insgesamt in die folgende tiefe Depression hinab, um sich dann im Vorarlberg teilweise wieder zu erheben.

In der Randkette haben wir somit eine Zone vor uns, in der die Einflüsse des Vorlandes, insbesondere die der Nagelfluhsporne, ausserordentlich intensiv waren. An diesen Hindernissen haben sich die Ketten aufgebäumt und ihre Scheitel haben sich meistens gehoben. Auch wurden sie an diesen Stellen zurückgehalten. Unter den Deformationen, die in dieser Situation entstanden sind, spielt die Längsstreckung eine grosse Rolle.

So liegt der Zusammenhang der Kulminationen in den randlichen Ketten der Zentralschweiz mit den Nagelfluhmassen auf der Hand.

Für die weiter alpeneinwärts gelegenen Zonen kann aber dieses Moment nicht mehr geltend gemacht werden. Im Innern des Gebirges ist für die Entstehung der Kulminationen und Depressionen die Konfiguration der Massive von grösster Bedeutung. Wir sehen, dass die penninischen Decken von den Massiven beeinflusst werden. Die Massive wirkten gegen diese südlichen Decken als Widerstände. Zwischen Montblanc- und Aarmassiv sind die Gneissdecken weiter vorgedrungen, ebenso wie die lepontinischen Massen der Præalpen.

Auch die helvetischen Decken zeigen deutlich den Einfluss der Massivwiderstände.

Einmal sind die helvetischen Decken ihrer Zahl nach in den Depressionen zwischen den Massiven am vollständigsten entwickelt, besonders reichlich die tieferen, dann aber lässt sich auch direkt ein Vorrücken des Scheitels der Decken über der Massivdepression, z. B. am Segnespass, nachweisen.

Vergleicht man die Kulminationen in den Decken mit denen der Massive, so fallen *folgende Unterschiede* ohne weiteres auf:

Die Längswölbungen sind in den Decken im Ganzen viel schwächer als im Massiv. Die Absenkungszone hebt sich in der

Längsrichtung im allgemeinen nicht mit dem Massive; wohl sind hier die Kulminationen in ähnlicher Lage wie im Massive vorhanden, doch ist eine direkte Verbindung nicht immer sicher. Vor allem muss auffallen, dass die Kulminationen und Depressionen nicht immer direkt quer zum Streichen des Gebirges verlaufen. Von grosser Bedeutung sind, wie schon hervorgehoben wurde, die Depressionen zwischen den Massiven. Hier ist die Zahl der Decken am grössten. Vor den Massivwölbungen reduziert sich ihre Zahl von unten nach oben. Auch dieser Umstand ist auf die stauende Wirkung des Massivs zurückzuführen.

Ueberblicken wir nochmals die Längsprofile, so können wir drei Einflüsse konstatieren, die wir bei der Beurteilung der Kulminationen und Depressionen[1] zu berücksichtigen haben:

1. Die Wirkung der Massive als vorherbestehende durch alte Faltung versteifte Klötze, die sich auf sämmtliche Decken geltend macht. Wir konstatieren eine stauende Wirkung auf die penninischen Decken und einen modifizierenden Einfluss, nämlich eine Auslese der darüber hiweggehenden helvetischen.

2. Die stauende Wirkung der Nagelfluhzentren am Alpenrand.

3. Die Veränderung der bereits gebildeten Kulminationen und Depressionen durch die Erhöhung und das Vordrängen des Aarmassivs.

Naturgemäss muss es zu einer Wechselwirkung und Interferenz dieser Faktoren kommen. Auf manchen Linien konzentrieren sich alle drei Wirkungen, so auf der Linie der Kulmination II, die vom Tessiner Scheitel bis zum Rigi führt. Die Depression II/III verläuft ganz schräg durch das Gebirge und ist nicht einheitlich.

Aus allen diesen Erörterungen geht hervor, dass die *Kulminationen keine nachträgliche Deformationen sind, vor allem nicht Vertikalbewegungen ihre Entstehung verdanken, sondern mit dem Faltungsprozess und dem Andrang der Decken aufs Engste verknüpft sind.* Die tiefste Ursache liegt aber noch weiter zurück

[1] *Argand* hat kürzlich für diese Phänomen die Bezeichnung *Segmentation* geschaffen.

als der tertiäre Faltenvorgang und ist in dem verschiedenartig in Klötze zerteilten, karbonisch gefalteten Untergrund zu suchen.

Es ist nicht möglich im Rahmen eines Vortrages die Entwicklung des alpinen Strukturbildes zu schildern. Nur einen Punkt möchte ich zum Schlusse noch herausgreifen, nämlich die Beziehung zwischen *der Längsgliederung des Gebirges und der Anlage der Täler.*

Für die *urspüngliche Entwässerung* spielen die quer zum Gebirge verlaufenden Depressionen eine grosse Rolle. Sie dirigieren in erster Linie die sich bildenden Quertäler. Für eine grosse Zahl von Tälern der westlichen Alpen hat *Lugeon* gezeigt, dass ihre Mündung mit axialen Depressionen in den Falten zusammenfallen. So können wir uns vorstellen, dass die ältesten Täler der Schweizeralpen, die der Molassezeit, teilweise von den Depressionen dirigiert worden waren. Die *Hauptabtragung* erfolgte aber damals, wie auch später in den aufragenden Teilen des Gebirges, *in den Kulminationen.* Es ist wohl kein Zufall, dass *die drei Nagelfluhzentren vor den drei Kulminationen der helvetischen,* resp. *penninischen Alpen* liegen. Die Kulminationszonen lieferten die Geschiebemassen; je bedeutender die Kulmination, um so bedeutender war die Abtragung. So liegt die grösste Nagelfluhmasse vor der Wölbung I, die des Rigi vor II und die der Zürcher und St. Galler Voralpen vor III.

Für die pliocäne Faltungsphase war diese Gruppierung von grosser Bedeutung, indem die innern Widerstände (die Massivkulminationen) mit den äussern (den Nagelfluhzentren) in *eine* Querprofillinie fallen konnten. Dies gilt besonders für die Kulmination II, die Reusswölbung.

Was schliesslich die *Lage der gegenwärtigen Täler der Zentralschweiz* anbelangt, so können wir keine einfache Gesetzmässigkeit, keinen direkten Zusammenhang mit der Längsgliederung des Gebirges erkennen.

Zwar verlassen Aare und Rhein das Gebirge in Depressionen, ähnlich wie viele Täler der westlichen Alpen, Reuss und Linth münden dagegen in Kulminationen.

Vergleicht man die verschiedenen Talläufe im Innern der

helvetischen Alpen, so fällt uns ihre Heterogenität noch mehr auf.

Das Reusstal folgt ungefähr der Wölbung II, das Muotatal liegt zum grössten Teil in einer Depression, seine Mündung weicht aber vor den Klippen der Mythengruppe nach links aus und verlässt die Depression.

Linth- und Sernftal bewegen sich zunächst ebenfalls in einer Depression (einer Teildepression von II/III). Die Mündung des Tales ins Vorland fällt aber wieder in eine Kulmination.

Das Rheintal fällt von Buchs an mit einer Depression zusammen.

Von den zahlreichen *Längstälern*, deren Betrachtung uns aber zu weit von unserm Thema wegführen würde, gehören eine ganze Anzahl zu sog. *subsequenten Deckenrandtälern.* Ihre Form und Anordnung steht mit dem Gebirgsbau in engstem Zusammenhang. Dort ist jedoch nicht die Längsgliederung, sondern die Quergliederung das ausschlaggebende Moment.

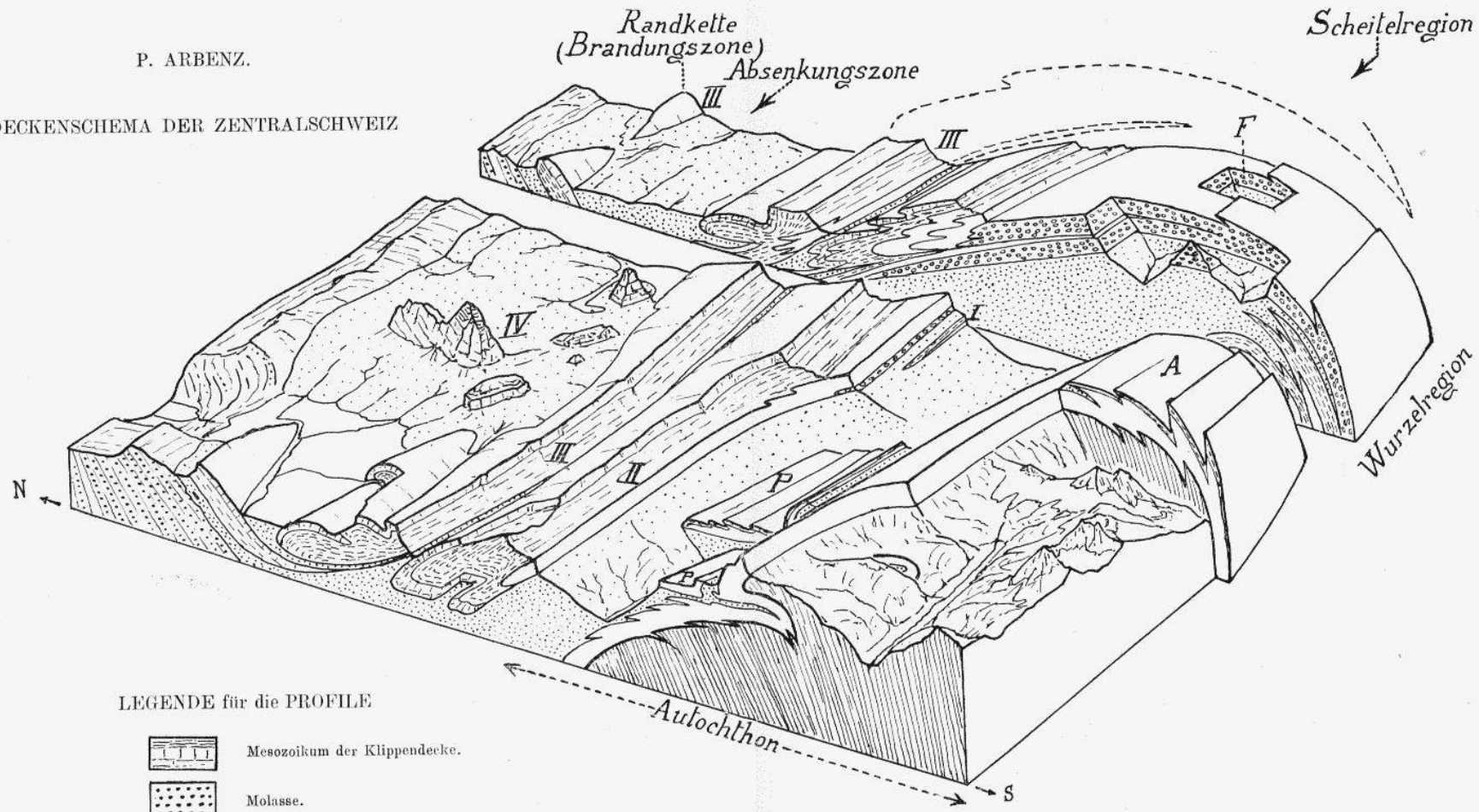
So sehen wir, dass die tektonische Längs- und Quergliederung des Gebirges in sehr verschiedenartiger Weise die Anlage der Täler und den Gang der Abtragung beeinflusst.

Verwickelt und reich an Etappen ist die geologische Geschichte des Alpenkörpers; kompliziert verschlungenen Wegen folgte die Abtragung. Wir haben in einem kleinen Gebiete gesehen, wie sich verschiedene, ungleich altrige Bewegungen im Strukturbild des heutigen Gebirges erkennen lassen und wie zur Zeit der letzten tektonischen Bewegungen das Gebirge sich an seinen Abtragungsprodukten, der Nagelfluh, ungleichmässig staute, entsprechend der ungleichmässigen Verteilung der verfestigten Nagelfluhmassen. Wir sahen ferner, wie diese Verteilung in gewissem Zusammenhang mit der allgemeinen Längsgliederung des Gebirges überhaupt steht, und wie diese Gliederung selbst wieder von der Anordnung restistenter Massen höheren Alters bestimmt wurde. Auf Grund einfacher mechanischer Vorstellungen, durch Vergleich mit einer bewegten, plastischen Masse, die sich an verschiedenen Hindernissen staut, ist uns das Werden des Gebirges verständlicher geworden.

Ungeheuer war der Fluss der Lithophäre im ganzen Alpen-

P. ARBENZ.

DECKENSCHEMA DER ZENTRALSCHWEIZ



LEGENDE für die PROFILE

- Mesozoikum der Klippendecke.
- Molasse.
- Eocän, Flysch.
- Kreide, helvetisch.
- Jura, helvetisch.
- Trias und Permien der helv. Decken.
- Krystallines Massiv.

P = Parautochthone Decken.

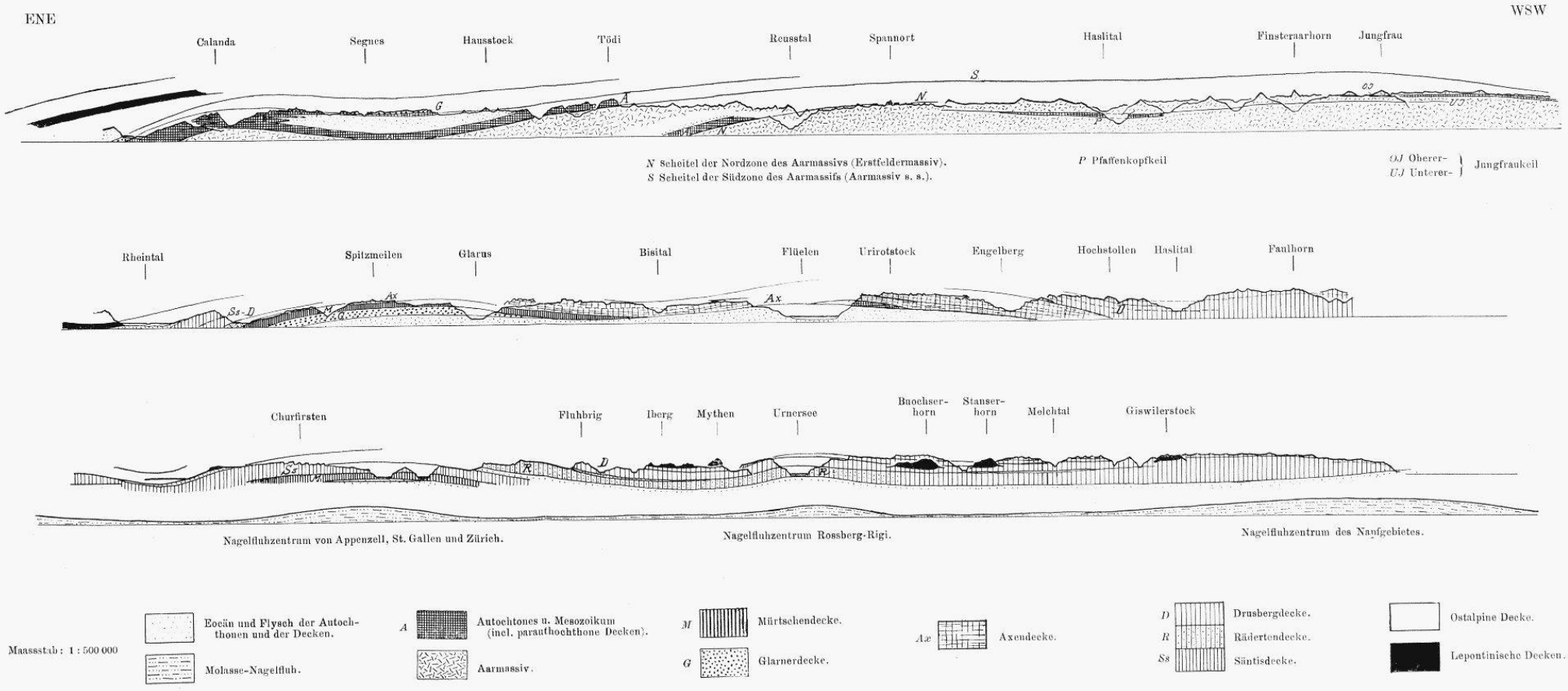
I—III = Helvetische Decken.

IV = Klippendecke.

A = Autochthoner Sediment-Mantel.

F = Fenster.

P. ARBENZ. — LÄNGSPROFILE DURCH DIE HELVETISCHEN ALPEN DER ZENTRAL- UND OSTSCHWEIZ



gebirge, den Karpathen und dem Apennen. In dem kleinen Teile der Alpen, der uns heute beschäftigte, stossen wir nur auf die Vorposten der grossen Bewegungen der südlichen Alpen. Deutungen und Probleme, die dort gereift sind, konnten hier ihre Anwendung und Erweiterung finden. So vervollständigte sich uns das Bild vom Bau der Zentralschweiz in hohem Masse, und gleichzeitig erlangten wir auch eine genauere Vorstellung von den aufeinandefolgenden Bewegungen. Die Analyse der Strukturformen ermöglichte auch eine Analyse der tektonischen Geschichte des Gebirges (9).

ZITIERTE ARBEITEN

1. M. Bertrand. Rapports de structure des Alpes de Glaris et du bassin houiller du Nord. *Bull. Soc. géol. de France* (3) XII, p. 318, 1884.
2. H. Schardt. Die exotischen Gebiete, Klippen und Blöcke am Nordrande der Schweizeralpen. *Verh. d. Schweiz. naturf. Ges.*, 1897; *Ecoglae V*, p. 233, 1898.
3. M. Bertrand et H. Golliez. Les chaînes septentrionales des Alpes bernoises. *Bull. Soc. géol. de France* (3) XXV, p. 568, 1897.
4. M. Lugeon. Les grandes nappes de recouvrement des Alpes du Chablais et de la Suisse. *Bull. Soc. géol. de France* (4) I, p. 723, 1901 (1902).
5. Lusser. Geognostische Forschung und Darstellung des Alpendurchschnitts vom St. Gotthard bis Art am Zugersee. *Denkschriften (alte) der Schweiz. natf. Ges.* I, Abt. 1, 1829.

— Nachträgliche Bemerkungen zu der geognostischen Forschung und Darstellung des Alpendurchschnitts vom St. Gotthard bis Art am Zugersee. *Neue Denkschriften* VI, 1842.

6. E. Argand. Les nappes de recouvrement des Alpes Pennines et leurs prolongements structuraux. *Matér. Carte géol. Suisse,* nouv. sér. livr. XXXI, 1911.

— Les nappes de recouvrement des Alpes occidentales. *Ibid.,* livr. XXVII. Carte spéciale 64 et coupes, 1911.

— Phases de déformation des grands plis couchés de la zone pennique. *Bull. Soc. vaud.* Procès-verbal, 21 février 1912.

— Encore sur les phases de déformation des plis couchés de la zone pennique. *Ibid.,* 6 mars 1912.

— Sur le rythme du proplissement pennique et le retour cyclique des encapuchonnements. *Ibid.*, 20 mars 1912.

— Sur le drainage des Alpes occidentales et les influences tectoniques. *Ibid.*, 3 avril 1912.

— Le faîte structural et le faîte topographique des Alpes occidentales. *Ibid.*, 17 avril 1912.

— Sur la segmentation des Alpes occidentales. *Ibidem,* XLVIII, p. 345 (1er mai 1912).

7. W. Staub. Geologische Beschreibung der Gebirge zwischen Schächental und Maderanertal im Kanton Uri. *Beiträge z. geol. Karte d. Schweiz,* neue Folge XXXII, mit geol. Spezialkarte N° 62. 1911.

— Beobachtungen am Ostende des Erstfelder Massives. *Geol. Rundschau* III, p. 310, 1912.

8. A. Buxtorf. Erläuterungen zur geologischen Karte des Bürgenstocks. *Geol. Karte d. Schweiz.* Erl. heft N° 9, 1910. (Tektonische Karte).

9. P. Arbenz. Der Gebirgsbau der Zentralschweiz, *Vierteljahrschrift d. natf. Ges. Zürich,* Protokoll vom 4. Dez. 1911.

Der schweizerische Nationalpark

von

Dr. Paul Sarasin

Dr. Paul Sarasin, Basel, Präsident der Schweiz. Naturschutzkommission, hielt einen Vortrag in ungebundener Rede über den Schweizerichen Nationalpark, welchen er mit einer Reihe von Lichtbildern begleitete. Einleitend sprach er sich über die Wichtigkeit der Begründung von Grossreservationen in naturschützerischer Beziehung aus, wobei er betonte, dass dieselben nur dann ihr Zweck erfüllen, wenn sie die gesamte Natur des betreffenden Distrikes, namentlich alle Pflanzen und alle Tiere unter strengen Schutz stellen. Die oft als Muster herangezogenen nordamerikanischen Reservationen können für solche Schutzgebiete nicht zum Vorbild dienen, da sie viele Tiere und fast alle Pflanzen ungeschützt lassen und darum nur *partielle* Reservationen sind, unsere Schweizerische Reservation soll aber als erste *totale* Grossreservation allen andern, somit auch den amerikanischen zum Vorbilde werden. Die Ueberwachung solcher totaler Reservationen soll dementsprechend nicht Jägern unterstellt werden, wie dies in Amerika der Fall ist, sondern Naturforschern, wie bei uns in der Schweiz, und es ziemt sich deshalb umsomehr, dass der Schweiz. Nationalpark als ein Werk der Schweiz. Naturforschenden Gesellschaft zu gelten habe, welche mittelst ihres aktiven Organes, der Schweiz. Naturschutzkommission, die Verantwortung für strenge Ueberwachung im naturschützerisch totalen Sinne zu übernehmen

hat. Nachdem der Vortragende noch eine Beschreibung der Reservation in kurzen Zügen entworfen hatte, wobei er darauf hinweisen konnte, dass sie auch an Naturschönheit bis jetzt ihresgleichen nirgends findet, gab er der lebhaften Hoffnung Ausdruck, es möge die Eidgenossenschaft, dem Gesuche der Schweiz. Naturforschenden Gesellschaft und ihrer Kommission für Naturschutz entsprechend, die für die Pacht des Gebietes nötigen jährlichen Unkosten übernehmen, wogegen die Naturschutzkommission mit Hilfe des von ihr ins Leben gerufenen Schweiz. Bundes für Naturschutz diejenigen der Ueberwachung bestreiten werde. Er teilte mit, dass die Gemeinde Zernez sich bereit erklärt habe, das von ihr für die Reservation zu überlassende grosse Gebiet auf 99 Jahre in Pacht abzustehen. Der Vortragende wies darauf hin, dass, wenn die Eidgenossenschaft helfend eingreife, von der Schweiz die erste Grossreservation in Europa und die erste totale Reservation der Welt geschaffen sein werde. Möge darum, so schloss er, in der Schweiz. Nationalversammlung dem idealen Werke eine ideale Gesinnung entgegengebracht werden, von welcher getragen man sich gerne bereit finden wird, zur Verwirklichung des grossen und guten Werkes die helfende Hand zu bieten.