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: 124 (1944)

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

Nutzungsbedingungen

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

Conditions d'utilisation

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

Terms of use

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

Download PDF: 09.12.2025

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

A.

Partie scientifique

Discours d'introduction du Président annuel
et Conférences principales

Communications faites aux séances de sections

Wissenschaftlicher Teil

Eröffnungsrede des Jahrespräsidenten
und Hauptvorträge

Vorträge, gehalten in den Sektionssitzungen

Partita scientifica

Discorso inaugurale del Presidente annuale
e Conferenze principali

Comunicazioni fatte alle sedute delle sezioni

Eröffnungsrede des Jahrespräsidenten der S.N.G.

zur 124. Jahresversammlung in Sils (Engadin)

Von

Dr. med. Rudolf Campell, Pontresina

Hochgeehrter Herr Zentralpräsident !

Verehrte Damen und Herren !

Vor Jahresfrist hat die junge « Secziun engiadinaisa da la Societed svizzra per scienzas natürelas » beschlossen, sich für die Übernahme der 124. Jahresversammlung der S. N. G. zur Verfügung zu stellen. Wir freuten uns, einer schönen und erhabenen Sache zuliebe eine grosse Arbeit auf uns zu nehmen. Es war uns voll bewusst, dass es sich um ein Wagnis handelte. Um so mehr reizte es uns, die übernommene Arbeit zum Gelingen zu bringen. Es sind wohl auch Bedenken laut geworden wegen des Krieges, wegen Distanzen und Kosten, wegen Mangel an erfahrenen Hilfskräften, wegen Schwierigkeiten der Lokalitätsbeschaffung, der Demonstrations- und Projektionseinrichtungen usw. Wir waren überzeugt, trotzdem Meister zu werden; denn es wurde uns verraten, die S. N. G. wolle auch wieder einmal auf rätoromanischem Boden tagen. Dieser Wunsch war uns Befehl !

Die Teilnehmer werden nicht vergessen, dass Segl keine Universitätsstadt ist, wo der Staat alle wissenschaftlichen Einrichtungen als Selbstverständlichkeit bereitstellt. Wir mussten alles selbst mit Mühe und Kosten improvisieren und zählen darum auf einige Nachsicht. Wir hoffen, dass der Genius loci und unsere schöne Gebirgslandschaft mithelfen werden, eventuelle Fehler und Mängel der Organisation zu überbrücken.

Als Jahrespräsident pro 1944 möchte ich hier meiner Freude Ausdruck verleihen, dass die Tagung trotz Krieg und Schwierig-

keiten nun doch bei uns zustande gekommen und so zahlreich besucht ist.

Wir Engadiner hegen von jeher eine grosse Verehrung für die Aufgaben und für die Leistungen der S. N. G. und folgen, obwohl weit weg von den wissenschaftlichen Zentren, ihrer Arbeit mit grösster Aufmerksamkeit. Der naturverbundene Gebirgler mit regem Geist ist begreiflicherweise an der Naturwissenschaft mehr interessiert als der Städter in seiner künstlichen Umgebung.

Vor 80 Jahren hat bereits einmal die S. N. G. im Oberengadin getagt. Damals, im Jahre 1863, hat mein Vorgänger, Herr Nationalrat da Planta (Samedan), in seiner Eröffnungsrede den Anwesenden Land, Volk, Geschichte, Kultur des Engadins geschildert; er nahm auch die Gelegenheit wahr, auf die relativ vielen Naturforscher hinzuweisen, die aus unserer kleinen Bevölkerung hervorgegangen sind. Das Engadin war wohl damals den Miteidgenossen noch recht fremd. — Heute brauche ich nicht mehr darüber zu sprechen; denn vielen von ihnen ist unser Hochtal in allen Details ebensogut bekannt — vielleicht noch besser als uns selbst — und sie freuen sich mit uns über dessen überragende Naturschönheiten und über den Reichtum seines naturwissenschaftlichen Beobachtungsmaterials.

Ich begrüsse Sie hier im Namen unserer Sektion und im Namen der Engadiner Bevölkerung : Ch'Els sajan bainvgnieus in Engiadina ! Ich heisse vor allem den Zentralvorstand mit Herrn Prof. Tiercy, Genève, an der Spitze willkommen; ich begrüsse die Präsidenten der Fachgesellschaften und alle Mitglieder und Freunde mit ihren Angehörigen. Einen speziellen Gruss richte ich an die als Gäste erschienenen Vertreter der Behörden von Eidgenossenschaft und Kanton, von Kreis und Gemeinde; auch die Herren der Presse sind uns willkommen. Wir hoffen, dass alle ihr Erscheinen nicht bereuen werden und wünschen, dass sie von der Silser Tagung nicht nur wissenschaftliche Anregung und Belehrung mitnehmen werden, sondern auch Freude und Kraft für ihre weitere Tätigkeit. Möge unser Gebirgsklima wirken auf Ihren Körper, Geist und Seele !

* * *

Die S. N. G. stellt seit 124 Jahren für unser Land eine auf freiwilliger Basis errichtete Akademie der Naturwissenschaften dar. Sie blickt auf eine sehr erfolgreiche Tätigkeit zurück und hat

zur Entwicklung auf vielen Gebieten der Forschung Grosses beigetragen; deswegen ist die S. N. G. im In- und Ausland hochgeachtet. In ihren 15 Fachgesellschaften umfasst sie ausgeprägte *Spezialisten* aller Richtungen. Zugleich will sie eine Institution sein, die einen allgemeinen *Überblick* über den jeweiligen Stand der Wissenschaft als Ganzes vermittelt.

Diese beiden Bestrebungen scheinen sich auf den ersten Blick zu widersprechen; und doch sind sie beide von kardinaler Bedeutung. Die wissenschaftliche Spezialisierung hat eine grosse — nicht mehr wegzudenkende — Bedeutung erlangt; sie bringt aber auch grosse Gefahren mit sich, die mehr und mehr zu denken geben, indem Einseitigkeit ein Feind des Geistes zu werden droht, der dem Menschen die Harmonie raubt.

Die S. N. G. ist geradezu der Träger des Ausgleichs zwischen den übertriebenen Tendenzen einer stets oberflächlicher werdenden Allgemeinbildung einerseits und der Überspezialisierung in den Hochschulen anderseits. Sie will verbinden und die Basis schaffen für beide Strömungen : Sie will Grundlage sein für Vertiefung in die Details, aber auch für Überblick in der Wissenschaft im allgemeinen und zwischen den Spezialgebieten untereinander.

Die S. N. G. hat somit seit ihrem Bestehen an Bedeutung nichts eingebüsst, sie hat sich immer wieder neue, erstrebenswerte Ziele zu geben verstanden. Wichtig ist nur, dass sie von allen Seiten in ihren Bestrebungen auch unterstützt und verstanden werde. Behörden und Volkserzieher auf der einen Seite, Hochschulinstitute und Spezialisten auf der andern Seite müssen erkennen, dass die regulierende Tätigkeit der S. N. G. heute nötiger ist als je zuvor.

* * *

Nach der kurzen Begrüssung und einigen Gedanken allgemeiner Natur gestatte ich mir, nun Ihre Aufmerksamkeit auf das Thema « *Blitzschlag und Blitzschäden beim Menschen* » zu lenken. Für jeden Naturbeobachter bedeutet Gewitter und Blitz ein besonders interessantes Phänomen. Physiker, Meteorolog, Elektrotechniker und Mediziner sind daran beteiligt, und für alle gibt es hier noch viele ungelöste Fragen. Mich drängt es besonders auch als Gebirgler und als Hochtourist, die Verhältnisse beim Blitz im Zusammenhang zu überblicken — aus praktischen Gründen —,

aber auch aus wissenschaftlichem Interesse für dieses überwältigende Wunder der Natur. — Wer im verlassenen Hochgebirge einmal Gelegenheit hatte, so ein rechtes Gewitter zu erleben mit Sturm und Blitz, dem ist es voll bewusst worden, wie klein die Menschlein sind, trotz ihrer Überheblichkeit gegenüber den Naturgewalten und der Kraft, die sie leitet.

In der Atmosphäre besteht auch bei schönem Wetter ein *elektrisches Feld,* das sich darin äussert, dass die in der Luft befindlichen positiven und negativen Träger der Elektrizität langsam und gleichmässig sich bewegen. Diese Kraftträger werden vor allem von der radioaktiven Ausstrahlung der Erde fortlaufend in der Luftschicht über dem Erdboden neu erzeugt, indem Moleküle in positive und negative Teilchen gespalten werden.

Die Erde selbst erweist sich gegenüber hohen Luftschichten dauernd als *negativ* geladen. Positive Träger bewegen sich deswegen in einem fort dem negativen Erdboden zu. Negative Ladungen dagegen wandern nach oben ab. Dieser Ladungstransport macht einen Strom aus, der für die ganze Erdoberfläche nach Angabe von Berger + 1200 A ausmacht. Die negative Ladung der Erde müsste nach kurzer Zeit aufgehoben sein, wenn nicht ein Ausgleich der elektrischen Ladungen stattfinden würde. Dieser geschieht durch die Blitze, die überwiegend negative Ladungen aus den Gewitterwolken zum Erdboden zurücktransportieren.

Bei Gewitterstimmung ändert sich das elektrische Feld der Luft ganz beträchtlich. Die sonst bestehenden gleichmässigen Feldstärken über dem Erdboden in der Grösse von 100—300 V/m ändern sich in Feldstärken von 10 000 V/m und darüber. Ihre Richtung ist nicht einheitlich, und ihre Stärke schwankt rasch und stark. Die elektrischen Ladungen in der Gewitteratmosphäre sind viel dichter als bei ruhigem Wetter; vor allem sind sie nicht mehr gleichmässig verteilt. Gewisse Gebiete sind vorwiegend positiv, andere negativ geladen und neigen zum Ausgleich.

In unsern Gebieten ist die Entstehung von Gewittern und Blitzen meist gebunden an die Kondensation von Wasserdampf. Dabei spielt als atmosphärische Dynamomaschine der sogenannte *Wasserfalleffekt* nach Lenard eine grosse Rolle: Im sömmerlichen Warmwetter besteht infolge der Sonnenstrahlung in der Regel ein aufsteigender Luftstrom, der uns besonders im Gebirge gut bekannt ist. Gemsjäger achten darauf, wenn sie zum Schuss gehen;

aber auch Dohlen und Segelflieger, die sich von dieser Luftströmung in die Höhe tragen lassen, kennen diesen Aufwind sehr gut : Steigt dabei bei schönem Wetter die feuchte, warme Luft in die Höhe, so kommt es durch Abkühlung zu einer Wasserkondensation. Die grösser werdenden Tropfen vermögen durch den Aufwind nicht weiter zu steigen, sie fallen vielmehr gegen die Strömung desselben. — Ihr Kern ist positiv geladen, ihre Randpartien dagegen negativ. — Durch grösser werdende Fallgeschwindigkeit werden die Wassertropfen zerblasen und platzen. Sie zerfallen in die Splittertröpfchen der Randpartien, die negativ geladen sind; weil diese leicht sind, werden sie nach oben und in die seitlichen Teile der Kumuluswolken oder « Gewitterpilze » transportiert. Die positiv geladenen Tropfenkerne dagegen tanzen weiter im Luftstrom oder fallen zu Boden. So haben wir in den mittleren Teilen des Aufwindstroms, also am Hals des Pilzes, einen stärker wirkenden positiven Ladungskern, während das Pilzdach überwiegend negativ geladen ist. Die Bedingungen für die Blitzentstehung sind somit gegeben, und die Funkenbildung kann sehr stark werden und mit starken Detonationen einhergehen. (Ich halte mich bei meinen physikalischen Ausführungen an eine Studie von Karl Berger, Zollikon, «NZZ» Nr. 1008/44.)

Der Blitz ist, wie interessante Aufnahmen mit Spezialkamera nach Boys beweisen, nicht ein einzelner Funke. Dem hellen Hauptblitz mit der vollen Stromstärke und dem betäubenden Donnerschlag geht unmittelbar voraus ein schwächerer Funken, der sogenannte *Leitblitz*. Während dieser Leitblitz mit der Geschwindigkeit von $^1/_{1000}$ der Lichtgeschwindigkeit ruckweise vorwächst und seitlich leuchtende Pfeile ausschiesst, folgt 100mal rascher — im Moment, da dieser die Erde erreicht — schlagartig der Hauptblitz. Der Leitblitz ionisiert die Luft, und durch diesen besser leitenden Blitzkanal fährt mit rasender Geschwindigkeit der Hauptblitz in die Erde. Es gibt *Teilblitze,* die ohne Donner einhergehen von Wolke zu Wolke oder von Wolken zu hohen Türmen und Bergen überspringen.

Für unsern Zweck lohnt es sich, noch zu erfahren, dass der Blitz einen *Gleichstrom* von sehr kurzer Dauer darstellt. Nach Berger wird die elektrische Spannung eines Leiters durch den Blitz in wenigen Millionstelssekunden auf annähernd eine *halbe Million Volt* gesteigert, um dann innert etwa 50 Millionstelssekun-

den wieder abzuklingen. Dies konnte mittels besonders konstruierter Oszillographen gemessen werden und ist von grosser Wichtigkeit als Grundlage zur Herstellung brauchbarer Überspannungsschutzgeräte in der Elektroindustrie.

Der Blitzstrom, der im allgemeinen zwischen 1000—100 000 A. beträgt, kann im gewaltigen Tempo von 10 Milliarden A. pro Sekunde ansteigen. Aus dieser Erkenntnis lassen sich auch viele Induktionswirkungen des Blitzes ableiten, die sonst unverständlich erschienen. — Durch neuere Untersuchungen konnte man einwandfrei feststellen, dass es sehr verschiedenartige Blitze gibt, deren Merkmale allerdings noch nicht restlos geklärt sind.

Kurzdauernde Stoßströme scheinen Teilblitze zu erzeugen, die ohne Donner einhergehen und auch die sogenannten *kalten Schläge* hervorrufen. Langdauernde, relativ stromschwache Blitze verursachen den *zündenden Blitz.* — Stromstarke Blitze mit hoher Spannung führen zum gewöhnlichen Blitzschlag mit seiner oft verheerenden Wirkung. — Kugelblitze, Elmsfeuer, Pickelsummen, Elektrisieren der Haare usw. dürften zur Hauptsache Induktionserscheinungen sein.

* * *

Der Blitz interessiert uns nicht nur als physikalisches Phänomen; als Arzt beschäftige ich mich mit ihm vor allem wegen seiner Wirkung und den von ihm erzeugten Schäden an Menschen. Vieles war bisher nicht klar; die wachsende Kenntnis der physikalischen Grundelemente ermöglicht uns die oft rätselhaft erscheinenden Erscheinungen an Blitzgeschädigten zu verstehen; darum meine physikalische Einführung.

Die Blitzschäden am Menschen gehören grösstenteils zum Kapitel des Elektrounfalls; durch ihr unerwartetes, meist auch improvisiertes Zustandekommen nehmen sie medizinisch eine Sonderstellung ein, auf die wir im Laufe der Abhandlung näher eintreten werden.

Die direkten Blitzschäden sind sehr häufig derart gering, dass es schwer hält, in der Strompassage allein die Todesursache zu erblicken.

Vielfach wird angenommen, die Todesfälle durch Blitzschlag und durch Elektrizität im allgemeinen seien zur Hauptsache Herz-

todesfälle und rühren davon her, dass das Herz von der direkten Strombahn durchströmt worden war. So macht man vor allem die Topik der Strompassage für die Blitztodesfälle verantwortlich und hält sie für einen primären Herztod.

Im Gegensatz dazu konnte JELLINEK beweisen, dass bei Hunderten von elektrischen Unfällen das Herz mitten in der Strombahn stand und doch kein Schaden entstand. Dagegen sind zahlreiche Todesfälle erfolgt, bei denen die direkte Strombahn das Herz gar nicht berührte, wenn z. B. der Strom, eventuell nur Leichtstrom, beim Zeigefinger eindrang und beim Vorderarm den Körper wieder verliess. JELLINEK behauptet wohl mit Recht, dass bei jeder Elektrisierung auch das Herz vom Strom getroffen wird. Die Blutgefässe mit ihrer Ubiquität und der guten Leitungsfähigkeit des Blutes verschaffen dem Strom den sofortigen Zutritt zu allen Organen, auch wenn jemand nur mit einer Hand beide Pole berührt.

Es ist bekannt, dass ein Retter auch dann am Leben gefährdet ist, wenn er einen von Strom Getroffenen nur an einem frei herunterhängenden Glied wegzureissen versucht.

Neben den Blutgefässen kommen speziell Nerven und Muskeln als elektrische Leiter in Frage, während die Haut einen relativen Stromwiderstand darstellt, solange sie trocken ist. Aus dem Gesagten ersehen wir, dass es gar nicht ausschlaggebend ist für den elektrischen Tod, ob der Blitzstrom wirklich die Herzgegend passierte oder nicht.

In medizinischer Hinsicht von grundlegender Bedeutung zur Beurteilung der Blitzschäden am Menschen sind die umfassenden Arbeiten von JELLINEK über den Elektrounfall. Die Schädigung kommt auf sehr verschiedenem Wege zustande, und so gibt es sehr mannigfaltige Krankheitsbilder.

Ohne weiteres erklärlich ist in diesem Zusammenhang, wenn der Blitz durch Passieren von Körperteilen Zeichen von elektrischer Verbrennung zurücklässt. Wir können Strommarken finden, Blitzfiguren, versengte Haare, Verbrennungen aller Grade bis zur Nekrose und zur Verkohlung. Da die Dauer der Stromwirkung beim Blitz relativ kurz ist, erlebt man hier trotz grosser Stromstärke und Spannung nicht so ausgedehnte Verkohlung des Gewebes wie bei Starkstromschäden der Leitungen. Immerhin gibt es

tiefe Verbrennungen von der Hautoberfläche bis in die Tiefe der Muskulatur und der Nervenbahnen. Die thermische Schädigung des Körpers durch die Strompassage ist nicht die einzige :

Der Blitz macht sich auch als mechanischer Schlag bemerkbar. Er kann durch einen sogenannten kalten Schlag einen Menschen umstossen oder dermassen aus dem Gleichgewicht bringen, dass er ohne Zeichen von Verbrennung über einen Felsen hinunterstürzt. Hierher gehören auch die sogenannten Blitzohrfeigen. Ein starker Blitz kann das Gewebe des Körpers wie ein Schuss treffen, so dass der Mensch förmlich explodiert und tiefe Zertrümmerungen des Gewebes erleidet. Es wurde in der Literatur von einem Mann berichtet, dem der Blitz den Schädel zertrümmert hat, so wie man es durch einen Gewehrschuss aus der Nähe beobachtet. Der Begleiter wurde zunächst als der Mörder verdächtigt und verhaftet und konnte erst nach langen Expertisen seine Unschuld beweisen.

Durch gewaltsame Passage eines hochgespannten, starken Blitzstromes durch das Gewebe können auch im Innern des Körpers wesentliche Gewebszerreissungen mechanischer Art auftreten. So bekommt man Symptome, über die man sich nur schwer ein richtiges Bild machen kann; denn *jede Berührung des Blitzes erreicht auf dem Blutweg auch das Herz.*

Nun erhebt sich die Frage, ob wirklich, wie behauptet wird, der Blitztod in der Mehrzahl der Fälle als primärer Herztod aufzufassen sei oder ob andere Ursachen im Vordergrund stehen. Die Frage hat grosse praktische Tragweite, denn man war soweit gegangen, zu entscheiden : weil der Blitztod ein primärer Herztod ist, ist auch die künstliche Atmung sinnlos und überflüssig ! !

Um hier Klarheit zu bekommen, habe ich mich der Mühe unterzogen, von möglichst vielen Blitztodesfällen in der Schweiz die Gutachten und Sektionsprotokolle zu durchgehen. Ich danke Herrn Dr. Jenny von der Suva, Herrn Oberarzt Medici von der Militärversicherung, Herrn Prof. Schwarz vom gerichtlich-medizinischen Institut der Universität Zürich für die Überlassung der Akten, ebenso Herrn Prof. Berblinger vom Forschungsinstitut Davos für seine Berichte und Ratschläge. Es stehen mir sechs einwandfreie Blitztodesfälle der letzten Jahre zur Verfügung, die durchuntersucht worden waren. Der Blitztod ist selten, darum kommt auch dieser kleinen Zahl von Fällen eine Bedeutung zu.

Fall 1: Soldat B. (1942) stand Wache auf dem Flugplatz: er hatte den Helm auf und das Gewehr in der Hand, befand sich neben einem abgestellten Flugzeug. Ein Gewitter kam heran, es gab einen einzigen Blitz. Der Mann wurde unter dem Flügel des Flugzeuges tot aufgefunden. Das Gras war unter seinen Füssen verbrannt; am Flügel des Flugzeuges waren Erdspritzer. — Künstliche Atmung und Coramininjektionen usw. waren vergeblich.

Obduktion durch Herrn Major Uehlinger: Path. anat. Diagnose: Tod durch Blitzschlag, Versengung der Schamhaare, verstreute, punktförmige Brandspuren am Vorderarm; Dilatatio cordis; akute Stauungsorgane, flüssiges Blut in den Gefässen; Nebenbefund: Status thymolymphaticus; Tonsillitis chronica. In den Lungen histologisch: alle Kapillaren strotzend mit Blut gefüllt.

Fall 2: Soldat M. (1944) pflückte im Urlaub Kirschen von einem Baum, wurde auf der Baumleiter vom Gewitter und vom ersten Blitz desselben überrascht, fiel auf den Boden und war tot. Wiederbelebungsversuche blieben erfolglos.

Obduktionsprotokoll durch Herrn Prof. von Meyenburg: Pathol. anat. Diagnose: Versengung der Haare der Regio pubica und am rechten Oberschenkel. Geringfügige chr. Myokarditis. Aukute, hochgradige Dilatatio des Herzens, akute Stauungsorgane; Lungenödem, subkapillare Blutung der linken Niere (Sturz vom Baum ?), ebenso kleine Blutung im Milzhilus; 100 cm^3 Blut in abdomine; kleine subpleurale Blutung des linken Unterlappens; Kopf, Gehirn, Haut: o. B.

Fall 3: Wm. B. (1944) suchte Schutz vor herannahendem Gewitter unter einem Birnbaum; der erste Blitz des Gewitters schlug in den Baum, hinterliess dort Blitzspuren und drang in den Boden. Der Mann hatte Blitzspuren an Hals und Brustseite und war sofort bewusstlos. Künstliche Atmung auch im Spital, teilweise mit Pulmotor; intrakardiale Injektionen; alles vergeblich.

Obduktionsprotokoll durch ger.-med. Institut Zürich: Herzdilatation, akute Stauungsorgane, dunkelrotes, flüssiges Blut in den Gefässen. Nebenbefund: ausgesprochener Status thymolymphaticus, Aorta angusta; Strombahn durch das Herz sei Ursache der angenommenen « Herzlähmung », in Wirklichkeit eine Erstickung.

Fall 4: Sektionsbefund durch Herrn Prof. Berblinger, Davos: Tod zirka zwei Stunden nach Blitzschlag an zunehmenden Hirn-

drucksymptomen. Bei Sektion keine sichtbaren äusseren Verletzungen oder Blutspuren. An Gehirn und Corticalis punktförmige Blutungen; stärkstes Hirnödem: Histologisches Aufquellen der Nervenzellen.

Fall 5: H. M. (1937), ger.-med. Institut Zürich: Nach einem Gewitter wurde unter einer dicken Eiche der Allmend ein Paar — Körper an Körper in Bauchlage nach vorn gefallen — tot aufgefunden. An der Eiche Blutspuren. Der linke Arm des Mannes umfasste den Hals der Frau von hinten nach vorn, so dass die Hand in der Halsgegend des Mannes lag. Beide Leichen zeigten Zeichen von elektrischer Verbrennung; beim Mann speziell in der Nähe der Armbanduhr, die Schmelzspuren aufwies; bei der Frau besonders an Bauch, Rücken und in der Glutealgegend.

Obduktion durch Herrn Dr. Hardmeyer, Oberarzt:

a) Obduktion von Hrn. M.: Akute Herzdilatation; Stauungsorgane; viel flüssiges Blut in den Gefässen; stecknadelkopfgrosse Blutungen an Pleura und Epicard. Blutiger Schleim an Schleimhäuten und sogar im Mittelohr. An Schädel und Gehirn keine Veränderung. — Nebenbefund: Thymus vergrössert 11,9 : 9,1 cm; weist kleine Blutung auf. Darm im Protokoll nicht erwähnt.

b) Obduktion von Frl. M.:

Fall 6: Ausgedehnte äussere Verbrennungen durch Elektrizität. Schädelhöhle ohne Besonderheiten. Herz und Gefässe enthalten viel flüssiges Blut. Punktförmige Blutungen an Herzfell und Pleura. Stauungslungen. Thymus nicht vergrössert. Sektion unvollständig.

* * *

Aus diesen 6 Obduktionsbefunden ergibt es sich, dass bei 5, also in allen Fällen von unmittelbarem Tod nach Blitz — (exitus momentanus nach Jellinek) — die einwandfreie Todesursache nicht primärer Herzstillstand, sondern eine Atemlähmung war — mit Herzdilatation, akuten Stauungsorganen, Füllung der Gefässe mit flüssigem Blut infolge Überladung desselben mit CO_2. Wir haben pathol.-anat. in allen 5 Fällen das Bild der *Erstickung* vor uns durch zentralbedingte Atemlähmung. Herz und Gehirn zeigten keine anatomischen Veränderungen. Es ist da eine blitzartige Schockwirkung auf das Atemzentrum anzunehmen.

Diese Feststellung ist in ihrer Regelmässigkeit nicht nur interessant, sondern von grösster praktischer Bedeutung wegen der ersten Hilfe. Der Blitzgeschädigte ist als ein *Scheintoter* anzusehen, der in Gefahr ist, zu ersticken. — Eine richtig ausgeführte, sofort beginnende und konsequent und lang genug durchgeführte *künstliche Atmung* bleibt die wichtigste Hilfeleistung und hat schon manchem das Leben gerettet. Medikamente : Injektionen in die Venen, am besten direkt ins Herz, das ja noch einige Minuten weiterarbeitet, sind besonders zur Reizung des Atemzentrums und zur Anregung des Kreislaufes sicher angebracht. *Lobelin,* Koffein, Coramin stehen da im Vordergrund. Wichtig ist es, mit der künstlichen Atmung sofort zu beginnen und sie nicht zu unterbrechen.

Äusserst interessant ist es, dass bei 3 von den 5 Todesfällen an Atemlähmung nach Blitzschlag ein *Status thymolymphaticus* autoptisch festgestellt wurde. Es ist längstens bekannt, dass Leute mit dieser konstitutionellen Anomalie auf Emotionsschock viel stärker reagieren als der Normale. Es ist gut möglich, dass diesem Befund die Hauptschuld für den plötzlichen Tod zukommt und dass die Leute ohne denselben sich wieder erholt hätten. Ausser dem Status thymolymphaticus können auch andere Anomalien den Schocktod begünstigen. — Ich kenne einen Fall, bei dem ein kräftiger Mann durch die einfache Berührung einer Lichtleitung von 150 Volt tot umsank; bei der Obduktion fand sich ein beginnendes Hypernephrom. Beim vierten unserer Beobachtungsfälle war ein chronischer Myokardschaden gefunden worden; der fünfte ist nicht vollständig obduziert worden.

Einer der Blitztodesfälle gehört zum Typ des Exitus dilatus, *verspätetes Absterben* nach Jellinek. Hier war eine direkte organische Schädigung des Gehirns und seiner Häute festgestellt worden. Der Patient starb nach zwei Stunden an zunehmendem Hirndruck zufolge Hirnödem, punktförmige Blutungen in der Hirnrinde, Aufquellen der Ganglienzellen usw., also an ähnlichen Erscheinungen wie bei Sonnenstich. Der Patient braucht sofort nach dem Blitzschlag gar nicht bewusstlos zu werden, sondern wird erst allmählich soporös und bietet allmählich das Bild des zunehmenden Hirndruckes.

Die anatomische Schädigung des Gehirn- und Nervengewebes braucht gar nicht so stark zu sein, dass der Fall tödlich verläuft. Es kann zur Heilung dieser Stromschäden kommen, eventuell mit

Narbenbildung — dort, wo die Gehirnzellen geschädigt werden, da bekommen wir Zustände, die chronischer multiplen Sklerose stark ähnlich sind, allerdings ohne den progressiven Charakter zu zeigen. MICHAUD beschreibt einen solchen Fall in Zanggers Festschrift 1934. Leider fehlt mir hier die Zeit, um näher darauf einzutreten. — Muskelatrophien, die nach Blitzschlag auftreten, können auf ähnlichen direkten Schädigungen des zentralen oder peripheren Nervensystems beruhen.

Es ist nicht ausgeschlossen, dass auch Fälle von Epilepsie, die unmittelbar nach Blitzschlag erstmalig auftreten, zu dieser Gruppe gehören. MICHAUD neigt zur Ansicht, dass Blitzschlag bei einem solchen Patienten auch nur als auslösendes Moment bei einer vorhergehenden Epilepsiedisposition aufgefasst werden könne.

Gross ist die Zahl der rein funktionellen Störungen bei Blitzschlag. Das Bild variiert stark nach der Art des Blitzfalles und nach der Individualität des Befallenen.

Trotzdem bei den sechs uns zugänglichen Blitztodesfällen der letzten Jahre in einwandfreier Art nachgewiesen wurde, dass fünf zufolge Atemlähmung und einer durch organische Schädigung des zentralen Nervensystems gestorben sind, ist es nicht ausgeschlossen, dass auch primär das Herz versagen könnte. Jedenfalls fand ich unter dem Material der Suva (Dr. JENNY) einen Blitzschaden, bei dem der Blitz eine Herzmuskelinsuffizienz erzeugt hatte, die durch Ekg. belegt werden konnte. Es ist hier einzig die Frage möglich, ob dieser Herzschaden nicht schon vor dem Unfall bestanden hatte. Beschwerden wären allerdings vorgängig nicht angegeben worden.

Auch Dr. HOLZMANN beschreibt einen Blitzschaden mit nachheriger Veränderung des Ekg.

Der Herztodesfall beim Blitzgeschädigten dürfte aber, wie auch JELLINEK für den Elektrounfall feststellt, im Verhältnis zur Atemlähmung eine Seltenheit sein.

* * *

Wir wollen hier noch kurz den Begriff der *Strombereitschaft* beim elektrischen Schlag erwähnen. Wer auf die Stromeinwirkung bereit ist, reagiert anders und zweckmässiger als derjenige, der unerwartet getroffen wird. JELLINEK behauptet, es hänge davon

sogar ab, ob einer erliegt oder nicht. So ist es vielleicht nicht Zufall, dass die meisten Todesfälle an Blitz sich bei Einzelblitzen oder beim ersten Blitz eines Gewitters ereignen, besonders dann, wenn die Leute sich unter einem Baum oder sonst einem Schutz sicher wähnen. — Wenn die Blitze sich rasch folgen und die Menschen durchnässt sind, passiert selten etwas — der Mensch ist vorbereitet und in voller Erwartung und so besser geschützt. Eine Rolle spielt da meiner Ansicht nach auch, dass der Blitz bei Durchnässung via nasse Kleider und nasse Haut rasch Erdschluss findet und so den Körper weniger intensiv durchströmt.

Ob eine *Blitzbereitschaft* tatsächlich in der Lage ist, Blitzschutz zu gewähren, ist eine Frage, die schwer zu beantworten ist. Der Fall von Jellinek, bei dem ein Tourist auf dem Matterhorn mehrmals Blitzschläge erlitt, aber weil er auf alles gefasst war, keinen Schaden nahm, ist nicht absolut beweisend. Es können einfache, kalte Schläge oder Blitzohrfeigen gewesen sein, die man etwa in den Berggewittern empfindet; es können auch einfache Induktionserscheinungen eine Rolle gespielt haben. Der Blitz tritt eben nicht immer in der erwarteten Form in Erscheinung wie der Strom einer Leitung, und so ist das Überraschungsmoment mit der Schockmöglichkeit kaum auszuschalten. Trotzdem lohnt es sich, an die Blitzbereitschaft zu denken.

In der Regel werden Leute, in deren Nähe der Blitz einschlägt, betäubt, elektrisiert und in die Luft geschleudert; sie bleiben da für einige Minuten bewusstlos liegen und kommen in der Regel allmählich wieder zu sich. Dieser Sprung in die Luft ist wohl bedingt durch eine elektrisch verursachte Muskelzuckung. Diese klonische Zuckung kann in einen Muskelkrampf übergehen, der schmerzhaft ist und für einige Tage das Gefühl von Schwere und Schwäche der Glieder zurücklässt.

An dieser Stelle möchte ich betonen, dass im Gegensatz zur weitverbreiteten Volksmeinung nur ein kleiner Teil der Blitzschäden am Menschen zum Tode führt. In unsern Gebieten sind solche Unfälle gar nicht so selten, wie der Städter denkt. Wenn die Zeit reichen würde, könnte ich wohl noch über zirka 50 Fälle berichten, die ich selbst erlebte, selbst behandelte oder von Bekannten erfuhr. Ich werde an anderer Stelle darauf zurückkommen. Die meisten Fälle laufen ab mit einer kleinen Verbrennung, die trocken antiseptisch zu behandeln ist; und mit vorübergehenden

Muskelkrämpfen oder Muskelschwäche, eventueller Neurose u. dgl. — Mit zunehmender Erkenntnis sind wir auch je länger desto mehr in der Lage, dem Blitz auszuweichen. Ich rede hier nicht von der segensreichen Erfindung des Blitzableiters, die vielen Schäden vorzubeugen vermag, auch nicht von den sinnreichen Erfindungen der Elektrotechniker zum Schutz der Häuser und der elektrischen Installationen. Ich will nur einige Hinweise geben, wie sich der Mensch selbst vor Blitzgefahr schützen kann.

Die Hauptsache ist, stets zu denken, dass der Blitz einen vorstehenden, gut leitenden Gegenstand sucht, der guten Erdschluss gewährt. Es hiess durch die Jahrhunderte, der Blitz fahre mit Vorliebe in Kirchtürme, in Berge oder in einen hohen, einzelstehenden Baum. Dies ist, wie Camille Dauzère einwandfrei feststellen konnte, nur bedingt richtig. Die Bergspitze, der Turm, der Baum werden nur dann den Blitz besonders anziehen, wenn sie guten Erdschluss gewähren; das ist nur der Fall, wenn diese vorstehenden Gegenstände mit feuchtem Untergrund, mit Flussläufen, Grundwasser oder Quellen in Berührung stehen. Trockenes Geröll leitet sehr schlecht, ebenso lose Steine.

Diese Tatsache muss auch bei Anlagen von Blitzableitern überdacht werden. Der Blitzableiter muss bis in den feuchten Grund geleitet werden, am besten bis zum Wasser; sonst bedeutet er für das Haus eine grosse Gefahr. Der Blitz, der sonst irgendanderswohin fallen würde, kommt ins Haus, er findet keinen guten Erdschluss und stiftet da allerlei Schaden an Menschen und Besitz. — Feuchter Schnee auf Fels leitet gut, während körniger, trokkener Firn und Eis am Gletscher schlechten Erdschluss gewähren. Es lohnt sich somit, bei Blitzgefahr sich auf Firn und Eis zu begeben; dies rät der erfahrene Praktiker Walter Risch. — Von praktischer Wichtigkeit ist auch, dass Touristen im Gewitter das nasse Gletscherseil womöglich einziehen sollen, sonst wird bei eventuellem Blitzschlag nicht nur ein Mann, sondern gleich die ganze Partie getroffen.

Dass Eispickel, Gewehre und andere eisenhaltige Gegenstände den Blitz anziehen — besonders wenn sie geerdet sind — ist gut verständlich. Entweder lege man sie beiseite oder isoliere sie so, dass sie mit der Erde keinen Kontakt haben. Ich kenne einen Fall, bei dem der Blitz sogar in das Gradabzeichen einer nassen Offiziersmütze hineinfuhr und den Man am Leben gefährdete.

Die Frage, ob man bei Blitzgefahr stillstehen oder sich bewegen soll, ist so zu beantworten, dass es besser ist, sich zu bewegen. Elektrische Ladungen über einem Leiter ionisieren dort die Luft; sie schaffen allmählich eine Art Blitzkanal, durch den der Blitz schlägt.

Nach Angaben des Himalaja-Forschers André Koch gibt es auf Höhen von 5000 m ü. M. keine Blitzschläge mehr; das dürfte mit der von grosser Kälte herrührenden Trockenheit der Luft in Zusammenhang stehen.

Der Alpinist findet auf seinen Wanderungen im Gebirge nicht selten ausser Blitzspuren an Bäumen auch solche an Felsen in Form von Schmelzfiguren an Quarz und Urgestein und in Form von Schmelzstellen. Kalk und Dolomit werden in gebrannten Kalk verwandelt, der durch den Regen dann gelöscht wird und abbröckelt.

Es sind nicht alle geologischen Schichten gleich gut leitend. Der Blitz schlägt besonders gern in eisenhaltiges Urgestein, in kristallinen Schiefer und radioaktive Lehmschichten, viel weniger in kompakte Kalkformationen, Geröll und trockene, körnige Erde. Die Feuchtigkeit spielt dabei eine grosse Rolle. Der Blitz sucht besonders durch eine Grenzschicht zwischen zwei geologischen Schichten tiefen Erdschluss zu bekommen; dort sind verwitterte Stellen mit Feuchtigkeit und Eisengehalt. Daraus resultiert, dass der Blitz nicht immer in die höchsten Spitzen und Türme einschlägt, sondern gerade in Einschnitte und Sattelbildungen, wo meist die verwitterte Grenzschicht zweier geologischer Schichten sich befindet. — Wer sich vor dem Blitz flüchten will, meide Höhlenbildungen und tiefe, feuchte Risse im Fels. — Beim Bau von Hütten, Munitionsdepots, Felsunterkünften u. dgl. denke man an die Blitzgefahr und sorge rechtzeitig für wirksame Blitzableitung.

Die Erfahrung zeigt, dass von den Nadelbäumen besonders die *Lärchen* mit ihren tiefgreifenden Wurzeln den Blitz anziehen, häufiger als *Tannen* und Föhren. Unter den Laubbäumen stehen dabei *Eichen,* Pappeln und Obstbäume im Vordergrund. Die Blitzspuren verlaufen meistens der feuchten Bastschicht entlang in den feuchten Boden — nicht durch das trockene, verholzte Kernholz.

Dauzère macht mit Recht darauf aufmerksam, dass heute immer mehr Gefahr dadurch entsteht, dass man den Blitz durch elektrische Leitungen aller Art in die Häuser führt, die sonst blitz-

sicher wären. Die Blitzableiterfrage darf nicht flüchtig genommen werden, denn die Frage des Überspannungsschutzes durch Sicherung und Erdschluss ist heute klar genug und technisch weitgehend gelöst.

Dass man während eines drohenden Gewitters nicht an den elektrischen Einrichtungen des Hauses herumarbeitet, ist bekannt. Ebenso sollte man die Regel kennen, dass man bei Blitzgefahr nicht telephoniert.

* * *

Damit komme ich zum Schlusse : Der Blitz ist und bleibt für jeden Naturbeobachter ein imposantes Phänomen. Wir studieren ihn aus naturwissenschaftlichen, aber auch aus praktischen Erwägungen. Ob es mit der Zeit gelingen wird, die enormen, ihm inneliegenden Energien auszunutzen, ist eine Frage der Techniker. Mich als Arzt interessierte es mehr, die Entstehung und Auswirkung des Blitzes zu untersuchen, um zu erfahren, ob er für den Menschen wirklich der unentrinnbare Straffunke ist, oder ob und wie man sich vor ihm schützen kann. Ich glaube, Ihnen dargetan zu haben, dass die Zunahme der Kenntnisse der genauen Beobachtungen und Erfahrungen dem Menschen gegenüber der überwältigenden Naturerscheinung des Blitzes eine weitgehende Sicherheit zu gewährleisten vermögen.

Die Gebirgsbildung im Rahmen der Erdgeschichte

Von

RUDOLF STAUB, Zürich

Die Gebirgsbildung, wie die Gebirge selber ein uraltes, von tausend Geheimnissen umwobenes Rätsel dem menschlichen Geiste, blieb unverständlich bis in die jüngste Zeit hinein. Sie ist aber mehr und mehr zu einem zentralen Grundproblem der gesamten Erdgeschichte geworden; zu einem fundamentalen Hauptphänomen in der Entwicklung unseres Planeten, das, faszinierend und aufregend zugleich, seinesgleichen an Bedeutung nicht mehr hat. Das wegweisend geblieben ist für den äusseren Grundplan unserer Erde, von dessen Erlöschen als selbstleuchtender Stern bis zum heutigen Tag. So wie die Gebirge heute das Rückgrat der Festländer bilden und die Wasser der Kontinente, deren Wohnräume und damit deren Völker und ihre Schicksale scheiden, über die ganze Erde hinweg, so steht auch die Bildung der Gebirge in allerengster Verbindung mit der Geschichte des Planeten schlechthin.

Die Frage nach der Entstehung der Gebirge hat den denkenden Menschen naturgemäss schon seit langem in ihren Bann gezogen; aber erst die moderne Naturforschung der letzten 150 Jahre ist einer Lösung des Gebirgsbildungsproblems etwas näher gekommen. Die Hauptetappen der Erkenntnis des vergangenen Jahrhunderts sind bekannt : Einer ersten Epoche, befangen in der Vorstellung von vulkanischen Hebungen in den Gebirgen, von einer höchst aktiven Rolle des feurigflüssigen Erdinnern, des Magmas, verbunden mit Verstellung der Gesteinskomplexe an Brüchen und Spalten, folgte, mit SAUSSURE und ELIE DE BEAUMONT, mit ALBERT HEIM und EDUARD SÜESS an der Spitze, eine zweite; mit scharfer Negierung jeder aktiven Rolle des Magmas, mit der Erkenntnis vom Primat der horizontalen Zusammenschübe in der Erdrinde,

mit der Deutung der Gebirgszonen als *Faltungsstreifen* der festen Kruste, entstanden durch eine allgemeine Schrumpfung der an sich steif erscheinenden Gesteinsschale der Erde über einem noch flüssig gedachten und damit schwindbaren, infolge fortdauernder Abkühlung weiter sich kontrahierenden Erdkern. Die Kontraktionstheorie folgt der Ansicht des aktiven Aufblähens der Kruste durch vulkanische Vorgänge. Die Faltung als Schrumpfungsergebnis der Erdkruste wurde zum Hauptphänomen in der Architektonik und zur Hauptursache bei der Bildung der Gebirge. Der Anschauung der vulkanischen Erhebungstheorie, in unserem Lande hervorragend vertreten vor allem durch Bernhard Studer, folgte die Grundthese der *Kontraktionstheorie,* die als feststehendes Dogma der Geologie gelten sollte bis in unsere Tage hinein.

Aber die Erforschung der Alpen brachte ungeahnte Weiterungen in dieses bis um die Jahrhundertwende fast unerschütterte Bild von der Schrumpfung der Kruste als Ursache aller Gebirgsbildung. Weit überliegende Falten, wie vor allem die Glarner Doppelfalte, wo die alten Gesteine der Gewölbekerne über grosse Strecken die jungen Gesteine der vorliegenden Muldenzonen überdecken, sogenannte Deckfalten, Plis couchés, wurden vor allem in unserem Lande bekannt. Deckenförmige Überlagerung jüngerer Gesteine durch weit ältere, im übrigen schon erkannt durch Bernhard Studer in den Gebirgen um Parpan und in der Grevasalvaskette, erschien immer mehr als ein Hauptzug des alpinen Baues. Aus den zunächst — mühselig genug — erkannten Deckfalten entwickelten sich mit dem Fortgang der Forschung die eigentlichen Gesteinsdecken, deren Material durch weitreichende Überfaltung oder Überschiebung vom Ort seiner Bildung über grosse Distanzen hinweg in seine jetzige Lage im Gebirge gebracht worden war. Der Auffassung der Gebirge vom Typus der Alpen als eines relativ einfachen Faltenstranges folgte die grundlegende Erkenntnis vom *Deckenbau* der Gebirge. Zunächst erschien solcher Decken-, solcher Überschiebungsbau, als eine seltene Ausnahme, beschränkt auf einige dafür besonders geeignete Teilgebiete der Alpen; aber bald erlangte diese neue Auffassung, als sogenannte *Deckentheorie,* unter dem Gewicht der Tatsachen allgemeine Anerkennung. Marcel Bertrand, Hans Schardt, Maurice Lugeon, Pierre Termier, Gustav Steinmann, Victor Uhlig, Emile Argand sind ihre klassischen Vorkämpfer gewesen. Das erste Viertel dieses Jahrhunderts brachte

deren endgültige Festigung; zunächst innerhalb der Alpen selber, dann aber auch weitherum in anderen alpinen und sogar voralpinen Gebirgen der Erde. So sind heute als Deckengebirge neben den Alpen anerkannt: der Apennin mit Korsika, die betische Kordillere, das Rif, die Karpathen, die dinarischen und hellenischen Gebirge des Balkans, grosse Teile der herzynischen Ketten Mitteleuropas, die alten kaledonischen Gebirge Schottlands und Skandinaviens, in Asien neben Taurus und dem Hochland von Pamir vor allem das Himalajasystem, die Ketten Sumatras, Borneos, Timors und viele andere.

Die Erkenntnis der grossen alpinen Decken aber brachte als wichtiges allgemeines Ergebnis die Lösung von der starren Verbindung der Kruste mit dem tieferen Untergrund, denn die gewaltigen horizontalen Verschiebungen in den Deckengebirgen der Erde, jeden Raumes und jeder Zeit, verlangten eine ungeheure freie *Eigenbeweglichkeit* der Kruste.

Eines der Hauptergebnisse unserer Alpengeologie aus den letzten dreissig Jahren ist die Erkenntnis eines stark gehäuften Deckenbaues unserer europäischen Zentralgebirge, und zwar nicht nur in den Alpen selber, sondern weithin durch die Ketten des Mittelmeeres, vom Eisernen Tor bis an die Strasse von Gibraltar. Diese Häufung relativ dünner Schubdecken aber konnte nur verständlich gemacht werden durch weitgehende Mitbewegung der den Gebirgsstrang beidseits umgebenden Krustenteile, d. h. der bisher als fest im Raum verankert erschienenen sogenannten Vor- und Rückländer der grossen Kontinente. Dieselben konnten angesichts dieses Gebirgsbaues unmöglich einfach ruhig an Ort und Stelle unverrückt gestanden haben, sie mussten im Gegenteil notwendigerweise, als zwar in sich weitgehend starre Schollen, in beträchtlichem Masse gegeneinander vorgerückt sein, um den zwischenliegenden alpinen Raum als einen Streifen relativer mechanischer Schwäche zu dem grossartigen Überschiebungsbau zusammenzustossen, der effektiv heute in den alpinen Gebirgen erkennbar ist.

Damit aber gelangen wir von der eigentlichen Dislokation der Kruste im Gebirge selber zur Dislokation, d. h. zur Bewegung der die Gebirge umrahmenden Kontinentalteile, d. h. zur Bewegung der Kontinente selber. *Ohne kontinentale Verschiebungen keine wesentliche Gebirgsbildung,* das wurde immer mehr die grund-

legende These im Anschluss an die Erkenntnisse der Deckenlehre. Gegenüber und zwischen den aktiv stossenden starren Schollen der Kontinente erschienen damit *die Gebirge als zusammengestossene Schwächezonen* der Erdrinde. *Die Gebirgsbildung wurde im wesentlichen immer mehr als eine Folge mächtiger Wanderungen der kontinentalen Blöcke erkannt,* und damit erst wurde jede Gebirgsbildung zu einem erdgeschichtlichen Vorgang allerersten Ranges.

Alfred Wegener hatte erstmals die amerikanischen Anden als riesige Stauungswülste der westlichen Kontinentalränder der Neuen Welt an einer starren pazifischen Masse gedeutet, hervorgerufen durch eine mächtige Westbewegung der beiden Amerika und ein damit verbundenes Abdriften derselben vom Block der Alten Welt. Aus einer weitgehenden Konformität des heutigen Küstenverlaufes beidseits des Atlantischen Ozeans hatte Wegener dieses Abtreiben der amerikanischen Festlandsblöcke gegen Westen hin abgeleitet. Diese konkrete Auffassung als solche ist heute nicht mehr haltbar, aber die Mobilität der Kontinente, die Wegener damit bereits 1911 in voller Schärfe postuliert und nachzuweisen geglaubt hatte, besteht effektiv in vollem Umfang zu Recht. Sie ist vor allem gerade durch die Alpengeologie und ihre weiteren Ergebnisse in anderen Gebirgen heute sichergestellt. Argand und ich haben sie zu gleicher Zeit, vor 20 Jahren, in aller Schärfe postuliert.

Mit dieser neuen Auffassung der Gebirgsbildung als einer einfachen und logischen Folge kontinentaler Massenverschiebungen wachsen aber die Grundprobleme um die Gebirgsbildung nur um so mehr. Was sind die Ursachen dieser gewaltigen Krustenbewegungen, was sind die Gründe für das Vorhandensein einer labilen Schwächezone zwischen den aktiv eine solche zum Gebirge zusammenstossenden starren Rindenschollen ? Auf blosse « Kontraktion » der Erde im Sinne der alten Erklärung der Faltengebirge, d. h. auf blosse Schrumpfung der Erdrinde, konnten diese Bewegungen nicht mehr zurückgeführt werden. Man musste sie vielmehr auffassen als mächtige Eigenbewegungen der kontinentalen Blöcke, hervorgerufen im wesentlichen durch andere Kräfte als die der Kontraktion. Die zentrifugalen Impulse der rotierenden Erde, mit einer Flucht der Massen von den Polen gegen den Äquator, verbunden mit mächtigen Strömungen im magmatischen

Untergrund der Kruste, wurden zur Erklärung herangezogen; eine fortdauernde Kontraktion dabei zwar nicht völlig in Abrede gestellt, aber doch stark in den Hintergrund gedrängt. Waren bis zu diesem Zeitpunkt die eigentlichen Gebirgstürmungen das grösste tektonische Phänomen der Erde gewesen, so wurden es nun die Wanderungen der Kontinentalblöcke. Sie regierten das Schicksal der Erde, sie deformierten die Gründe der Meere und liessen neue Festländer aus denselben aufsteigen, mit Gebirgen von weltumspannendem Ausmass. Sie liessen aber auch weite Strecken alten Festlandes stets wieder neu vom Meere überfluten und damit den uralt bekannten und immer neu wieder einsetzenden Wechsel von Land und Meer in der Erdgeschichte beherrschen. Sie regierten damit im höchsten Masse aber auch das Schicksal des irdischen Lebens, wirkten zu gewissen Zeiten als regelrechte Katastrophen in der Entwicklung der organischen Welt. Sie vertrieben oder vernichteten, durch die Deformation und das Emporsteigen weiter Meeresgründe zu festem Lande, die marine Lebewelt einer langen Evolutionsepoche, sie vertrieben oder vernichteten umgekehrt, durch Anregung der Überflutung alten Landes, auch das Leben der Kontinente. Sie änderten das Klima ungeheurer Landstriche durch die Bewegung des kontinentalen Untergrundes, und sie waren es, die weiter, durch tektonische Krustenschwächung in gewissen Gebieten, den Schmelzfluss der Tiefen aktiv werden liessen, den Vulkanismus neu belebten, neue Strömungen im magmatischen Untergrund auslösten, und damit abermals, als natürliche Konsequenz, neuerliche Bewegungen der festen Schollen. *So wird die Verschiebung der starren Blöcke der Kontinente heute zum Grundphänomen der Erdgeschichte überhaupt.*

* * *

Die Frage, wie im einzelnen solche gewaltige Krustenbewegungen, und damit auch die Gebirgsbildung als blosse Folgeerscheinung derselben, möglich werden, soll uns heute näher beschäftigen.

Sicher ist die absolut aktive Rolle der starren Schollen, sicher auch die durchaus passive der labilen Zonen der späteren Gebirge. Die labile Zone ist, von einem gewissen Entwicklungsstadium an, die sogenannte « Geosynklinale », d. h. jene grosse Mulde, in der die Sedimente des späteren Gebirges zur Ablagerung kamen. Noch

Argand hat sich, bis 1924, die Geosynklinale als aktiv sich kontrahierend vorgestellt und die Bewegung der starren Schollen auf diese Geosynklinale hin mit der Schrumpfung der Kruste in der Geosynklinale selber in Zusammenhang gebracht. Emile Haug u. a. hatten die Deformation dieser Geosynklinale als Anfangsstadium der Gebirgsfaltung sogar mit einer Expansion der Kruste, hervorgerufen durch Versenkung derselben in grössere Tiefen und damit Dilatation in Bereichen höherer Temperatur, in Zusammenhang gebracht, und auf diese Eigenfaltung der Geosynklinale ist sogar der Deckenbau alpinen Typs zurückgeführt worden.

Heute ist die Faltung als primärer Vorgang bei der Gebirgsbildung aber weitgehend in den Hintergrund getreten. Das Primäre bei der Deformation der Geosynklinale sind, nach ganz kurzer, fast ephemerer Grossverbiegung derselben, die unter dem Seitendruck der die Geosynklinale beidseits begrenzenden starren Schollen einsetzenden reinen *Überschiebungsphänomene*, Überschiebungsphänomene, die sich dann stetig steigern bis zum Zusammenschub des fertigen Gebirges; und was an Faltung, zwar genug noch, in den grossen Gebirgen der Erde erscheint, bedeutet lediglich Stauung in den Überschiebungsmassen selber, an deren Front oder in deren Untergrund. An Stelle der Faltung tritt so heute als tektonisches Hauptphänomen, und zwar bis hinab in den mikroskopischen Bereich der Gesteinsumformung, die Gleitung, d. h. die freie Bewegung der Massen in der Horizontalen. *Gleitung und Überschiebung,* ausgelöst vor allem an Grenzflächen im heterogenen Untergrund der Geosynklinalen und der benachbarten starren Schollen, und zwar, wie wiederum gerade der Bau der alpinen Gebirge zeigt, Übereinandergleiten von im Vergleich zu den kontinentalen Massen nur sehr dünnen Gesteinskomplexen. Dies aber in einer Intensität, die oft jeder Beschreibung spottet — man betrachte dazu nur die neue geologische Karte der Berninagruppe — und die abermals erst in neuester Zeit in ihrer wahren Grösse erkannt worden ist : In den grandiosen Schürfzonen an der Basis der grossen Überschiebungen einerseits, in der weitgehenden Zerlegung grosser Hauptschubmassen in viele Einzelschollen, bar jeden Faltenursprungs, anderseits.

Dass derartige Zusammenschübe nur bei sehr weitgehender Schwäche, d. h. relativ *ganz geringer Dicke des geosynklinalen Rindenstreifens* möglich sind, ist abermals klar. Eine Deformation

mächtigerer Rindenschollen, d. h. etwa der kontinentalen Massen, nach dem Typus des alpinen Deckenbaues, ist mechanisch wohl absolut ausgeschlossen. *Es muss also die Geosynklinale als Geburtsstätte der späteren Gebirge effektiv ein Streifen weit geringerer Krustendicke zwischen den mächtigen Gesteinsblöcken der kontinentalen Massen sein,* ein Postulat, das mit einer ganzen Reihe typisch geosynklinaler Eigenschaften in Einklang steht, von der leichten Verbiegbarkeit und den Erscheinungen der geosynklinalen Metamorphose bis zur Förderung der geosynklinalen Magmen bei der Intrusion der Ophiolithe.

Aber die « Rolle der Faltung » bei der Ausbildung der gewaltigen alpinen Plis couchés, der Deckfalten, und die « verkehrten Serien » an der Basis derselben, die alten « Mittelschenkel » ? Da kann gesagt werden : Es gibt heute nur noch sehr wenige derselben, und was noch vor 10 und 20 Jahren unbedenklich als riesige Übertreibung reiner Faltung gedeutet wurde, die penninischen Decken etwa, vor allem die Dent Blanche oder die Zonen des Grossen St. Bernhard und des Monte Rosa, zeigt heute klar scharfen Überschiebungsbau, Fehlen jeglicher verkehrten Serie, Überschiebung auf glatter Bruchfläche, mit Lösung jeglichen Zusammenhanges und Aufsplitterung in viele Einzelschollen. Und dies von den klassischen Decken der Glarner Alpen bis in die obersten ostalpinen Stockwerke des alpinen Deckengebäudes hinauf. Alle Faltung in diesen Gebieten bedeutet effektiv nur sekundäre Stauchung der Überschiebungsmassen in sich selbst und an deren Umgebung. *Die Überschiebungen sind heute das Hauptphänomen, gegenüber dem alle Faltung in den Hintergrund tritt.* Ein neuer Mechanismus der Gebirgsbildung wird damit offenbar, irgendwie leichter, verständlicher, natürlicher als der alte, blosse Verbiegungsmechanismus.

Auf einen weiteren Punkt haben wir hinzuweisen. Nicht nur die Schwächezonen der Geosynklinalen, sondern auch die aktiv treibenden Kontinentalschollen selber werden bei diesen und durch diese Bewegungen deformiert. Die grossen Krustenblöcke der Kontinente zersplittern zwar bei diesen Wanderungen in erster Linie, mächtige Bruchsysteme — vom Typus des Roten Meeres etwa — entstehen bei diesen gewaltigen Ferntransporten in der Erdkruste, und in deren Gefolge grossartige Vulkanreihen. Die kontinentalen Blöcke werden auf ihrer säkularen Reise durch den

Raum aber auch schwach verbogen zu Grossfalten, sie stauen sich irgendwo an ihrer Front oder am Untergrund. Sie können so, wie etwa der asiatische Koloss, selbst weitgehende Drehungen erfahren, an Hindernissen, die sie auf ihrem Wege treffen. Im Zusammenprall zweier Schollen entstehen, an Stelle der alten Schwächezonen der Geosynklinalen, die Hauptgebirge einer Epoche; aber auch im Innern der Kontinentalschollen fehlt es keineswegs an sekundären Schwächezonen, die ihrerseits gleichfalls zusammengestossen werden. Diese *intrakontinentale Gebirgsbildung* zeigt aber einen ganz anderen Typ der Krustendeformation, einen Stil, der unendlich viel steifer, in seinen Bewegungen ungleich gehemmter ist und der damit nur Gebirge mit viel schwächerem Zusammenschub der Kruste erzeugt. Im Raume der alpinen Ketten des Mittelmeeres entstehen so neben den komplizierten Geosynklinalgebirgen des mediterranen Zentralstranges vom Typus der Alpen die weit einfacheren Gebirge vom Typ der Pyrenäen, des Jura oder des Atlas-Systems.

Es sind somit *zwei Grundtypen von Gebirgen* scharf voneinander zu unterscheiden, die aber beide zurückgehen auf die gleiche Grundursache, nämlich auf die Bewegung der kontinentalen Schollen. Im einen Falle wird die Schwächezone einer Geosynklinale zusammengestossen und entsteht ein kompliziertes Geosynklinalgebirge. Im andern Fall reagiert der kontinentale Sockel selber an irgendeiner sekundären Schwächezone im kontinentalen Raum mit nur sekundärem Zusammenschub, es kommt dort zur Deformation auch der starren Zonen selber, d. h. der weiten Vor- und Rückländer der alten geosynklinalen Zone. Geosynklinalgebirge, Vor- und Rücklandgebirge gehen damit alle auf die gleichen Schollenbewegungen zurück, die den Gang der kontinentalen Verschiebungen beherrschen, und *die Deformation der Vorländer und der Rückländer ist damit nicht zu trennen von jener der Geosynklinale.* Mit « Plis de fonds » und « Vorlandfaltung », mit « Chaînes neuves » und « Geosynklinalgebirgen » haben ARGAND und ich vor 20 Jahren auf diese Zusammenhänge übereinstimmend hingewiesen. *Alles Relief auf der Erde geht somit letzten Endes auf gebirgsbildende, d. h. im weiteren schollenverschiebende Kräfte zurück.*

Damit ist die Stellung der Gebirgsbildung im Rahmen der Erdgeschichte in räumlicher Beziehung umrissen. *Die sogenannten*

gebirgsbildenden Bewegungen umfassen nicht nur den relativ engbegrenzten Raum der schmalen Kettengürtel der Erde, sondern die ganze Kruste, mit allen Festlandsblöcken, mit allen Meeresgründen. Die Gebirgsbildung selber, d. h. die eigentliche *Türmung der Kettengebirge,* ist nur ein besonders auffälliger *Teileffekt* von Bewegungen, die den ganzen Erdball, zum mindesten aber den ganzen Steinmantel des Planeten, unsere Lithosphäre umfassen. Diese Bewegungen der Lithosphäre aber sind auf das engste verkuppelt mit solchen des tieferen, d. h. des magmatischen Untergrundes.

* * *

Betrachten wir dazu nun auch die *zeitlichen Ausmasse einer Gebirgsbildung,* ihre zeitliche Stellung in der Erdgeschichte. Auch da sind wiederum die Ergebnisse der modernen Alpengeologie für die Erkenntnis leitend geworden, und auch hier ist wiederum Emile Argand in erster Linie es gewesen, der den Weg uns vorgezeichnet hat, wenn auch manches von seinen Thesen, die er vor bald 30 Jahren über Bau und Entstehung der Westalpen aufstellte, heute unter dem Gewicht neuer Tatsachen modifiziert werden muss. Hatte man früher die Gebirgsbildung als ein zeitlich eng umgrenztes Geschehen von nur ganz kurzer Dauer, als eine kleine Episode nur im Rahmen der Erdgeschichte aufgefasst, so brachte die Erforschung des Wallis durch Emile Argand, zum mindesten für jenes penninische Segment der Alpen, grundlegende Änderungen. Argand hat 1915 an der Versammlung unserer Naturforschenden Gesellschaft in Genf erstmals darauf hingewiesen, dass die Verteilung der Fazies im penninischen Sedimentationsraum eine derartige sei, dass daraus unbedingt auf eine *lange tektonische Entwicklung* dieses Alpensektors geschlossen werden müsse, dass embryonale Phasen der Alpenfaltung sich schon durch das ganze Mesozoikum geltend gemacht hätten, dass die gebirgsbildenden Bewegungen, die schliesslich zur Türmung der alpinen Ketten führten, schon seit dem Ende der vorletzten Bewegungsphase der Erdgeschichte, d. h. seit der herzynischen Faltung, tätig gewesen seien. Der Vorgang der Gebirgsbildung wurde damit zum erstenmal statt einer relativ kurzfristigen, bis zu einem gewissen Sinne fast katastrophal wirkenden Episode als ein Phänomen hingestellt, das sich *über ganze erdgeschichtliche Epochen verteilt,* das lang-

sam, fast zögernd nur, beginnt, sich stetig entwickelt und schliesslich mit der eigentlichen Gebirgstürmung endet. Den Nachweis aber geleistet zu haben, dass es sich dabei nicht bloss um geniale Deutungen relativ lokaler Walliser Phänomene handelt, sondern dass effektiv für die ganzen Alpen, im besondern auch für die östlichen, die Auffassung Argands von einer langen Vorbereitung der Gebirgsbildung im Prinzip wirklich zutrifft, das ist in erster Linie ein Verdienst der bündnerischen Alpengeologie geworden, deren naturgegebene Aufgabe es ja seit alter Zeit war und auch heute noch ist, die Fäden der Verbindung zu knüpfen zwischen den bis in unsere Tage so verschiedenen Deutungen unterworfenen Gebirgen der West- und der Ostalpen. Die Geologie des Engadins aber hat an der Herstellung dieser wichtigen Verbindung ihren ganz besonderen Anteil. Dass in der Folge solche Vorbereitungsphasen der Gebirgsbildung an Hand vertiefter tektonischer und stratigraphischer Analyse auch in andern Deckengebirgen Europas, im Apennin, auf Korsika, in der betischen Kordillere Spaniens, nachgewiesen werden konnten, sei in diesem Zusammenhang weiter bemerkt.

So steht nunmehr seit gegen 30 Jahren zur Genüge fest, dass die Vorgänge der alpinen Gebirgsbildung beginnen mit ausgedehnten Embryonalphasen während des früheren Mesozoikums, dass sie in stetiger Entwicklung sich steigern bis zu einem wahren Paroxysmus der Bewegung im älteren Tertiär, dass sie dann in einem letzten Akt, mit gewaltigen Erosionszyklen, die erst das eigentliche Gebirgsland als solches entstehen lassen, langsam ausklingen zur Zeit der Molasse und im Quartär. Dabei ist wohl im Prinzip das Argandsche Bild von der Entstehung der Westalpen geblieben, im einzelnen aber zeigen sich wesentlich neue Züge, die auf weiterer Vertiefung der Beobachtungen während der letzten 20 Jahre fussen.

* * *

Die alpinen Bewegungen beginnen nicht, wie Argand und auch ich seinerzeit angenommen hatten, schon im oberen Paläozoikum oder dann vor allem in der Trias, sondern erst zu Beginn der Jurazeit. *Sie setzen somit nicht einfach und kontinuierlich die Arbeit des herzynischen Bewegungszyklus fort,* sondern *sind von demselben durch eine lange Zeit wenigstens äusserer Ruhe, wäh-*

rend der ganzen Perm- und Triasepoche, getrennt. Was geschieht aber in dieser Zeit äusserer Ruhe im heutigen alpinen Raum ?

Der alpine Gesamtraum, heute über weite Strecken gegliedert in helvetische, penninische, ost- und südalpine Zone, zeigt einen ausserordentlich *heterogenen älteren Untergrund.* Neben der letzten voralpinen Gebirgsbildung, d. h. der herzynischen, haben weit *ältere Bewegungsphasen im alpinen Grundgebirge* ihre Spuren hinterlassen und in demselben ein überaus bunt zusammengesetztes Mosaik erzeugt. Über einer tieferen, kräftig metamorphen Kristallinserie vom Typus der alten Gneisse und ihrer Schieferhülle, der sogenannten Zentralgneisse der penninischen Zone z. B. oder des Silvrettakristallins oder den älteren Gneissen der Zentralmassive, erkennen wir fast überall, gleichviel ob konkordant oder diskordant dazu, eine höhere, weit jüngere Gesellschaft kristalliner Schiefer, mit weit geringerer Metamorphose als die tiefere Grundserie, das ist die Gruppe der sogenannten Casannaschiefer oder der Quarzphyllite. Dieselben bilden in den nördlichen Ostalpen und in der karnischen Kette die direkte Basis des Alt-Paläozoikums, d. h. des tieferen Silurs. Die Casannaschiefergruppe der Alpen hat somit sehr wahrscheinlich, wenigstens in ihren tieferen Gliedern, vorpaläozoisches Alter; sie dürfte, verglichen mit dem übrigen europäischen Grundgebirge, am ehesten dem obersten Algonkium, d. h. im besonderen der sogenannten « Jotnischen Stufe » Nordeuropas entsprechen. Zwischen diese beiden Hauptserien des alpinen Grundgebirges aber schaltet sich, nicht überall, aber über weite Strecken und immer wieder in dieser Position erscheinend, und abermals teils diskordant, teils konkordant, eine merkwürdige Mittelgruppe ein, die besonders charakterisiert erscheint durch das im übrigen Grundgebirge nur seltene Vorkommen zahlreicher, zum Teil recht mächtiger Einschaltungen von Marmoren und eine sehr weitgehende Metamorphose derselben. Das sind die Serien der Valpelline- und der Fedozgesteine des Wallis und des Oberengadins, der Tonaleschiefer und der Laasermarmore der Ostalpen, nebst anderem mehr. Diese Mittelserie dürfte, zufolge ihrer Lage zwischen Casannaschiefergruppe und basalen Gneisskomplexen, am ehesten ein früh- bis mittelalgonkisches Alter haben und damit etwa den sogenannten « jatulischen » Serien Finnlands oder den moldanubischen Zonen Böhmens entsprechen. Die zonenweise Verteilung dieser Valpellinegesteine aber, und ihr ebenso zonen-

weises Fehlen, weist auf uralte Verbiegungen der Kruste vor der Bildung der vermutlich jotnischen Casannaschiefergruppe hin. Dieses ganze, schon vorpaläozoisch so komplexe Grundgebirge der alpinen Zone wurde aber in seiner stratigraphischen Gesamtheit noch zum mindesten von einer weiteren grossen, jüngeren Bewegungsphase der voralpinen Zeiten, d. h. der herzynischen, ergriffen und dabei so differenziert, dass im heutigen alpinen Unterbau nunmehr herzynisch stark gefaltete und herzynisch kaum bewegte Zonen miteinander abwechseln. Dazu kommen noch die mannigfachen Intrusionen jüngerer Eruptivgesteine, im besondern der herzynischen Phase der Erdgeschichte, aber auch frühere, die das Mosaik des alpinen Grundgebirges abermals komplizieren. Auf jeden Fall sind, und zwar im Gegensatz zu bis vor kurzem im Kurs stehenden Ansichten, herzynische Bewegungen und damit auch herzynische Eruptivgesteine heute nachgewiesen im ganzen helveschen, im ost- und südalpinen Bezirk, während in der dazwischenliegenden penninischen Zone diese Bewegungen sich auf einzelne schmale Sonderstreifen beschränkten, besonders auf den zentralen Zug des Briançonnais, wo sich bezeichnenderweise auch die herzynischen Eruptivmassen in den berühmten Besimauditen und Roffnagesteinen wiederfinden.

Tatsache bleibt auf jeden Fall, dass *nach dem Abschluss des Paläozoikums der alpine Raum in seinem kristallinen Unterbau eine ungeheure Heterogenität aufwies,* eine Heterogenität, die nun *grundlegend werden musste für den weiteren Ablauf des alpinen Geschehens* und damit auch für das, was man gemeinhin die Alpenfaltung nennt. Der zuletzt durch die herzynischen Bewegungen zusammengeschobene, damit verdickte und daher weitgehend mechanisch versteifte Grundgebirgsblock des späteren alpinen Raumes konnte aber unmöglich als solcher, d. h. in seinem damaligen Zustande, zu dem grossen Überschiebungsbau deformiert werden, den die Alpen effektiv aufweisen; erkennen wir doch gerade am Beispiel der autochthonen Zentralmassive vom Typus des Mont Blanc oder des Pelvoux oder des Aarmassivs, wie wenig der alpine Schub diesen Grundgebirgsblöcken noch anzuhaben vermochte. Der eigentliche Überschiebungsbau der Alpen aber, der in der alpinen Zentralzone mesozoische Sedimente und altes Grundgebirge mit herzynischen und älteren Bruchstücken im gleichen ungeheuerlichen Masse erfasst hat, ist nur vorstellbar, wenn wir

nach der herzynischen Bewegungsphase eine *weitgehende Reduktion der Krustendicke* im alpinen Raum annehmen, d. h. eine *sehr weitgehende Verdünnung der Lithosphäre.* Eine solche Krustenreduktion ihrerseits aber wird nur verständlich durch das Mittel grossartiger und weitreichender *Aufschmelzung der Kruste durch die magmatischen Massen der Tiefe.* Eine solche haben wir heute anzunehmen für die Zeit zwischen dem Abschluss des herzynischen und dem Beginn des alpinen Zusammenschubes.

* * *

Eine solche *Krustenaufschmelzung* erklärt sehr vieles: zunächst den Bereitschaftsgrad für die enormen Zusammenschübe des alpinen Raumes in alpiner Zeit und die Intensität des alpinen Überschiebungsbaues schlechthin. Dann aber auch verschiedene Grundfaktoren der alpinen Geosynklinale, vor allem die Förderung der schwach differenzierten ophiolithischen Magmen ausschliesslich in derselben, die Durchtränkung der Geosynklinale mit den der magmatischen Tiefe entströmenden Mineralisatoren, verbunden mit der Eigenmetamorphose der geosynklinalen Sedimente. Die Reduktion der Kruste durch das Mittel subkrustaler Aufschmelzung beherrscht aber auch die eigentliche *Entstehung des geosynklinalen Troges* an und für sich, vor allem das *Einsinken eines relativ schmalen Krustenstreifens* zu einer wirklichen Gross*mulde.* Denn durch die geforderte Krustenaufschmelzung gelangt schwereres basisches Material der irdischen Tiefen in relativ höheres Niveau hinauf; der Querschnitt der schweren Massen der Tiefe ist somit im Gebiet solcher Krustenaufschmelzungen ganz naturgemäss wesentlich grösser als nebenan, infolgedessen wird sich in solchen Aufschmelzgebieten automatisch eine gewisse Überschwere einstellen, in deren Gefolge der darüberliegende Raum gegenüber den Nachbargebieten einsinkt und damit erst zu jenem weiten *Troge* wird, der vom Meere erfüllt werden kann und erst damit eine wirkliche *Geosynklinale* entstehen lässt. *Aufschmelzung bedingt Krustenreduktion, sukzessive Aufschmelzung ein stetes, infolge der Trägheit der Massen wohl ruckartig vor sich gehendes Nachsinken der Kruste nach isostatischen Gesetzen, und damit endlich umfassende Transgressionen der Meere nach langen Festlandzeiten.* Durch diese sukzessive Aufschmelzung aber wird schliesslich auch die Kruste selbst derart *geschwächt,* dass sie

erneut mit einer gewissen Leichtigkeit auf *Zusammenschub* zwischen starreren, mächtigeren Schollen, d. h. gewissermassen stehengebliebenen, von der Krustenaufschmelzung verschonten mächtigeren Rindenteilen reagieren kann. Das aber heisst weiter: *Die Geosynklinale wird ganz automatisch nach einer gewissen Zeit,* aber *erst nach einer bedeutenden Phase sukzessiver Senkung und damit verbundener Sediment-Akkumulation, sich in Wellen werfen,* wie ein dünnes Blech zwischen dicken, gegeneinder bewegten Stahlplatten, *und die Geosynklinale kann nun, aber erst jetzt, von den Seiten her zusammengestossen werden zu Gewölben, den Geantiklinalen, und zu Mulden, den Teilträgen.* Mit diesem Zusammenschub des geosynklinalen Raumes zu dem bekannten System von Grossfalten beginnt so bereits eine zweite Phase in der Geschichte einer Geosynklinale, aber *hier* erst stehen wir am Beginn des eigentlichen orogenetischen Zyklus, d. h. am Anfang der Gebirgsbildung einer bestimmten Epoche.

* * *

Die *erste Phase* der eigentlichen Geosynklinal*bildung* und deren *erste Entwicklung zum grossen Trog* geht zurück auf sukzessive *Schwächung der Kruste durch das Mittel subkrustaler Aufschmelzung.* Im alpinen Zyklus umfasst diese erste Phase das Perm und die Trias. Die mächtige Sedimentanhäufung derselben vermag die Schwächung der Kruste keineswegs aufzuheben, sonst würde nicht am Schluss der Triaszeit diese Kruste schon soweit deformabel sein, dass nunmehr die Differenzierung des geosynklinalen Primärtroges durch sukzessiven Zusammenschub desselben erfolgen kann. Dass ein solcher Zusammenschub nicht vorher erfolgte, wenigstens nicht in grösserem Ausmass, das zeigt klar die Sedimentationsgeschichte der ostalpinen und der benachbarten penninischen Bereiche. Senkung im Gefolge subkrustaler Aufschmelzvorgänge, immer wieder verbunden mit kräftigem Vulkanismus, vom Perm bis in die Raiblerzeit hinauf, mit ausgedehnter seismischer Tätigkeit im Gefolge der Senkungsvorgänge, illustriert durch ein auffallendes Hervortreten der sogenannten Primärbreccien in der Trias, aber keine wesentlichen Differenzierungen des Gesamttroges in deutliche Einzelschwellen und Einzelrinnen.

Es folgt, wohl meist schon im Rhät beginnend, die *zweite Phase* der Geosynklinalgeschichte, d. h. der *Zusammenstau* der-

selben zwischen neu sich nähernden starren Schollen, und damit erst jene starke *Verbiegung des geosynklinalen Gesamttroges,* der zu einer *Differenzierung* desselben in enger umgrenzte *Sonderschwellen,* die sogenannten Geantiklinalen, und die *Sonderrinnen* der Teiltröge führt. Aber diese Geantiklinalen entstehen nun nicht irgendwo beliebig im geosynklinalen Gesamtraum, sie entstehen auch nicht in gesetzmässigen, rein mechanisch resp. statisch bedingten Distanzen von den Rändern der schiebenden Blöcke, sondern sie entstehen *als flache Grossgewölbe dort,* wo in der geschwächten, durch subkrustale Aufschmelzung genügend verdünnten Lithosphäre schon vorher *Diskontinuitätsflächen* vorhanden sind, d. h. Gesteinsgrenzen, alte Schubflächen, Bruchsysteme, oder auch einfach dort, wo Gebiete verschiedener Steifheit mit verschiedenartigem Gesteinsinhalt aneinandergrenzen. Dort entstehen, infolge der durch den Horizontalschub in der Kruste erweckten Spannungen, neue Gleitflächen oder ganze Scharen von solchen, und längs solchen *Gleitflächen,* die nur zu oft einfach *auf bestehenden alten Grenzflächen sich nur mehr weiter ausbilden,* dort steigt das gegen das stossende Rückland der Geosynklinale hin gelegene Rindenstück langsam in die Höhe, d. h. gegen den geringen Widerstand der Atmosphäre und der Hydrosphäre hin, dabei nur den jungen Sedimentmantel, vor allem die eben abgelagerte Trias, samt dem Perm, über sich aufwölbend zu einem jungen, grossradigen Gewölbe. Dieses Gewölbe, die eigentliche Ge-« Antiklinale », ist wohl in den Sedimenten der betreffenden Region vorhanden. *In der Tiefe aber, d. h. im kristallinen Unterbau, rückt der Kern der geantiklinalen Schwelle, als meist sehr heterogene Basis derselben, an Bruch- und Gleitflächen vor, in Form einer glatten Überschiebung, aber auf uralt vorgezeichneter Überschiebungsbahn.* Im weiteren Verlauf der Vorbewegung des geantiklinalen Unterbaues bricht dann schon bald auch dessen Sedimentumhüllung, die eigentliche Grossantiklinale; sie wird vielleicht noch etwas unter die nunmehrige Front der sich langsam in Marsch setzenden Überschiebungsdecke eingerollt, aber schliesslich *überschiebt* eben doch der alte Kern *ohne jede Verkehrtserie* die vor ihm gelegenen jüngeren Sedimente der nächsten Trogtiefe. *So entstehen, aus längs alten Grenzflächen als neuen Gleitbahnen vorbewegten geantiklinalen Schwellen und deren Rücktiefen die eigentlichen Überschiebungsdecken vom alpinen*

Typ. Alte Grenzflächen im kristallinen Unterbau der Geosynklinale wachsen sich so aus zu den mächtigen Überschiebungsflächen der alpinen Decken. Gerade das Studium bündnerischer Profile hat abermals in erster Linie diesen Einblick in den eigentlichen Kernmechanismus der Geantiklinalen und der Deckenüberschiebungen enthüllt.

Die gleiche Rolle junger Bewegungsbahnen spielen diese alten Grenzflächen des kristallinen Unterbaues naturgemäss auch innerhalb der mächtigen Vor- und Rücklandblöcke. Aber hier ist es im Gegensatz zu den Geosynklinalgebieten eben *nicht* zu jener grossartigen Krustenreduktion durch das Mittel magmatischer Aufschmelzung gekommen, dass diese Kruste nun, wie in der Geosynklinale, als eine relativ dünne Haut mit grosser Leichtigkeit in sich zusammengestossen werden könnte, sondern hier ist diese Aufschmelzung unterblieben oder in ihren Anfängen wieder gestoppt worden; hier kam es somit zu keinem weitgehenden « Bergversatz » leichter Krustenteile durch schweres, subkrustales Material, und damit von Anfang an naturgemäss auch zu keinem wesentlichen, isostatisch bedingten Nachsinken der Kruste. Keine geosynklinalen Sedimentserien gelangten daher hier zum Absatz. So kam es zwar beim Zusammenschub der kontinentalen Platten wohl auch hier ohne weiteres zu einem Wiederaufleben alter Bewegungsbahnen an mehr oder weniger steil stehenden, weit älteren Grenzflächen, an denen Partien der Kruste gegeneinander verschoben werden konnten, aber, infolge zu grosser Krustendicke, nur in sehr bescheidener Art; so dass nur Gebirge mit ganz einfachem Bau als Folge dieser intrakontinentalen Bewegungen entstehen konnten. Dem Typus der Alpen steht so der weit einfachere Typus der Pyrenäen oder des Kaukasus gegenüber.

Im Prinzip gibt es hier wohl eine *kontinuierliche tektonische Reihe,* vom extremen Überschiebungsbau vom Typus der Alpen bis zu den einfachsten Vorlandgebirgen und schliesslich den grossradigen Verbiegungen der kontinentalen Platten. Denn *der Deformationsgrad eines Gebirgsstreifens erscheint uns heute in erster Linie abhängig von der Intensität der erlittenen Krustenreduktion.* Starke Aufschmelzung in der Geosynklinale, schwache oder nur zeitweise wirksame Aufschmelzung in den kontinentalen Schwächezonen, vom Typ des Pyrenäentroges etwa, keine Aufschmelzung unter den kontinentalen Platten. *Der Gebirgstyp, der entsteht, ist*

eine Funktion der Intensität der vorangegangenen Krustenreduktion durch magmatische Aufschmelzung, welche die Dicke der Kruste differenzierte und regulierte, die ihrerseits für den entstehenden Gebirgstyp leitend geworden ist.

Dass innerhalb der sich deformierenden Geosynklinalen schwach differenziertes Magma der Tiefen in Form der *Ophiolithe* ziemlich rasch längs den Gleitbahnen an der Basis der Geantiklinalkörper emporsteigt und sich in die vorliegenden Tiefentröge entleert, ist seit einiger Zeit schon bekannt. Gerade Bünden und Wallis lieferten auch dafür schon vor vielen Jahren erkannte klassische Beispiele. Aber dieses empordringende Magma der Ophiolithe erleichtert dank seiner hohen Beweglichkeit auch weithin die Eigenbewegung der Geantiklinalen selber, d. h. deren Auswachsen zu den grossen Überschiebungsdecken. Denn dass sich zwischen der Hauptintrusion der Ophiolithe und der Überschiebung grosser Deckenkomplexe auch auffallende zeitliche Übereinstimmungen ergeben, ist abermals bemerkenswert. Kontaktmetamorphose an oberjurassischen Radiolaritgesteinen einerseits, mächtige, etwa unterkretazische Schubphasen penninischer und ostalpiner Decken anderseits. Auf solche Art dürfen wir wohl annehmen, dass *ein guter Teil der grossen zentralalpinen Deckenüberschiebungen sich auf einer magmatisch geschmierten Gleitbahn, parallel der Intrusion ophiolithischer Magmen,* zusammen mit derselben, *vollzogen hat.* Und wenn diese Bewegungen später auch noch weiter andauerten, so dürfen wir doch wohl annehmen, dass, in der Tiefe der Gleitbahn zum mindesten, semimagmatische Zustände noch herrschten zu einer Zeit, wo in den vorliegenden Trögen die Spitzen dieser Magmaförderung schon längst erstarrt gewesen sind.

Der hier vorgetragene Mechanismus der Bildung der grossen Decken aber, der offenbar geworden ist beim Studium der näheren Beziehungen zwischen geantiklinalen Schwellen und dem alten Strukturwerk des kristallinen Unterbaues, ist nichts als eine natürliche Bestätigung der durch tektonische Analyse immer mehr in die Erscheinung tretenden Tatsache, *dass die grossen Decken nicht aus Falten, sondern aus Überschiebungen hervorgegangen sind,* dass es nur ganz wenige echte Deckfalten, in der Hauptsache aber *nur Überschiebungsdecken* im Sinne der *Nappes cassantes* Pierre Termiers und Hans Schardts gibt. Und wir wundern uns heute keineswegs, wenn dieser gewaltige Überschiebungsmechanismus

sich weiterhin auch kräftig äusserte an rein sekundären Diskontinuitätsflächen innerhalb der Deckenkörper selber und sogar innerhalb der vorgestossenen Schichtstösse, d. h. dass dieselben durch diese Vorgänge ganz naturgemäss noch weiter zerlegt wurden in mächtige Abscherungssysteme, in jene *Abscherungsdecken* als Decken zweiten Grades, auf die in neuerer Zeit Robert Helbling am Beispiel der Glarner Alpen in erster Linie aufmerksam gemacht hat.

Die *Rolle der magmatischen Tiefen* aber, die diese bei der Gebirgsbildung und damit den Krustenbewegungen überhaupt spielen, erscheint in neuem Lichte. Wohl gibt es heute keine aktive Hebung von Gebirgen durch empordrängendes Magma mehr, wohl werden, bis auf die jüngsten, sogenannten nachtektonischen Intrusivmassen vom Typus des Bergeller Massivs oder des Adamello, sämtliche Eruptivgesteine von der Gebirgsbildung passiv ergriffen und deformiert, als wären es Sedimente oder ältere Kristallinserien. Auch die Ophiolithe erleiden dies und bezeugen es durch ihre weitgehende Metamorphose und Tektonisierung, es sei nur an die grossartigen Faltenstrukturen etwa im Malencoserpentin erinnert. Aber daneben hebt sich heute eine *Mitbeteiligung der magmatischen Schmelzen an den grossen Krustenbewegungen* ab, die von weittragender Bedeutung ist. Die Rolle der magmatischen Vorgänge bei der *Bildung einer Geosynklinale,* die überhaupt erst durch magmatische Aufschmelzung der festen Kruste möglich und verständlich wird, die *Präparierung der Kruste für die eigentliche Krustendeformation,* des weiteren die *Schmierung der Bewegungsvorgänge* durch die in den Gleitbahnen der grossen Deckenkörper vordringenden *ophiolithischen Magmen,* die die Beweglichkeit der Überschiebungsmassen weitgehend gefördert und sicher auch in ihrem Tempo *beschleunigt* hat, stehen heute ausser Zweifel. Daneben aber spielt die magmatische Zone der Erde bestimmt auch bei der *Auslösung* der grossen, alles andere treibenden *Verschiebungen der kontinentalen Massen* eine ausschlaggebende Rolle. Eine Rolle, die noch vor wenigen Jahren kaum in ihren vagen Umrissen erkennbar war; denn es ergeben sich heute Zusammenhänge zwischen dem Geschehen in der Lithosphäre und jenem in den magmatischen Tiefen, die zu den grossartigsten Erkenntnissen der Geologie zu zählen sind. Phänomene allerdings, die wir in ihren Grundlagen nur begreifen können, wenn wir das Gesichts-

feld weiten und tief in die Vergangenheit der Erde zurückforschen. Da offenbaren sich uns erst die wirklichen Grundkräfte, die alle Krustenbewegungen auf der Erde und damit auch jede Gebirgsbildung beherrschen und bedingen.

* * *

Sicher ist, dass eine äusserst heterogene Erdkruste von durchaus verschiedener Dicke *heute* existiert. Das beweisen unter anderem die Differenzen der Schwere, die wir über die ganze Erdoberfläche hinweg messbar feststellen können: Schwere-Überschuss, Schwere-Defizit, Normal-Schwere, und zwar nicht nur in absoluten Massen, sondern auch bezogen auf ein und dieselbe Niveaufläche der Erde, d. h. das Meeresniveau. Grössere Schwere bedeutet automatisch einen relativ grossen Radius der schweren, subkrustalen, magmatischen Massen und somit geringe Rindendicke, kleinere Schwere umgekehrt grössere Krustenmächtigkeit. Bei geringerer Rindendicke nun kühlt das Magma sich relativ rascher ab als unter den dicken, die Abkühlung verhindernden oder doch weitgehend verzögernden Krustenteilen. Es entsteht daselbst, zusammen mit den Anfängen einer magmatischen Differenziation, *ein Strom gekühlten Magmas gegen die heisse Tiefe,* ein Abstrom unter den dünnen Krusten der Geosynklinalen zum Beispiel, der aber sofort Magmenteile aus der Nachbarschaft in Bewegung gegen diesen Abstrom zur Tiefe setzt. Mächtige *Konvektionsströmungen* entstehen so, *Magma wird in grossen Massen gegen die Kühlzone unter den Geosynklinalen hingesaugt,* und es entsteht ein regelrechter Magmenstrom an der Basis der kontinentalen Blöcke, ein Strom, der die darüberliegende feste Kontinentalscholle weitgehend *mit sich fortträgt,* gegen die Zone der Geosynklinale hin. *Dieser sogenannte Geosynklinalstrom drängt somit die dicken Schollen unwiderstehlich gegen die dünnen Rindenstreifen der Geosynklinalen hin* und *schiebt dadurch dieselben, durch das Mittel der zur Bewegung getriebenen starren kontinentalen Schollen, in sich zusammen, zum Gebirgssystem.*

Damit aber tritt an die Stelle der dünnen Krustenteile der alten Geosynklinale ein mächtig gestauter Rindenwulst im nunmehrigen Gebirgssystem, und das Magma, das vorher relativ weit in die Höhe reichte, wird nun durch diesen, an die Stelle der alten Geosynklinalhaut getretenen, dicken Gesteinswulst *verdrängt.* Es

muss somit automatisch in andere Zonen abfliessen, abströmen, vor allem in die Zonen neben dem entstandenen Kettengürtel. Nach vorn, nach rückwärts, nach beiden Seiten hin. *Es entsteht so ganz naturgemäss nach jeder Gebirgsstauung ein Abstrom magmatischer Massen vom Gebirgsgürtel weg.* Damit ist nun aber eine gewisse *Zerrung* in der Rinde selber verbunden, die noch verstärkt wird durch die auch heute noch fortschreitende Kontraktion des Erdkörpers im Gefolge seiner weiteren Abkühlung. Denn diese *Kontraktion* ergreift, gemäss stärkerer Abkühlung, selbstverständlich gerade die *äussersten* Rindenteile der Erde viel mehr als die unter dem dicken Gesteinsmantel geschützten Zonen der magmatischen Tiefe, d. h. die Kontraktion führt zum geraden Gegenteil dessen, für was sie früher die Vertreter der Kontraktionslehre verantwortlich gemacht hatten. Die Kontraktion führt nicht zu einer relativen Volumvergrösserung der Kruste gegenüber einem weiter schwindenden Erdkern, verbunden mit einem Nachsinken der festen Rinde und Schrumpfen derselben zu den Gebirgen der Erde, sondern diese Kontraktion der *Kruste* gegenüber einem weit stabiler bleibenden, weil vor direkter Abkühlung seit langem stark isolierten Erdkern führt gerade umgekehrt zu einem Zukleinwerden der Kruste gegenüber dem Erdkern und damit zu *Dehnungen* in der Kruste oder gar zum *Zerreissen* derselben. Was abermals, in beiden Fällen, das Gleichgewicht der magmatischen Massen stört und zu *neuen Strömungen* derselben gegen die eben entstehende Schwächezone hin führt. Magmatische Massen strömen so diesen Stellen grosser Druckentlastung zu, werden liquid und damit aktiv, Gasphasen spalten sich hier ab, dringen in die feinsten Diskontinuitäten der sich dehnenden Rinde und *leiten so die Massenintrusion, d. h. die Krustenaufschmelzung im grössten Massstab ein.* Eine neue Geosynklinale entsteht und damit die Möglichkeit eines neuen, gebirgsbildenden Zyklus.

So sehen wir, wie einerseits die *Gegensätze* zwischen dicken und daher starren Rindenschollen und relativ dünnen Schwächezonen der Erdrinde *magmatische Strömungen in deren Untergrund auslösen* und zu mächtigen *Bewegungen der Krustenteile* gegeneinander und damit zur *Gebirgsbildung* führen, anderseits aber, wie durch die *Reaktion des magmatischen Untergrundes auf das bei der Gebirgsbildung gestörte Krustengleichgewicht und durch die fortschreitende Kontraktion der Erde neue Schwächezonen*

ganz automatisch immer wieder neu geschaffen werden müssen. Dass im Hintergrunde aber die der Erdrotation entspringenden *zentrifugalen* Kräfte der sogenannten *Polflucht* in der Erdkruste eine fundamentale Rolle spielen, und zwar sowohl eine höchst aktive, die Bewegungen direkt *antreibende* als auch eine grossartige *Richtung gebende,* indem sie die Marschrichtung der Schollen weitgehend bestimmen, ist ebenfalls klar.

* * *

Die Gliederung der Erdkruste in dicke Schollen und dünne Areale ist uralt. Sie war schon vorhanden bei der ersten Erstarrung des damaligen Erdensterns, bedingt durch den *Mechanismus dieser Erstarrung* selbst, der *von allem Anfang an keine gleichmässige Kruste entstehen liess.* Das Spiel der Kräfte, sowohl der zentrifugalen als auch das der magmatischen Strömungen, war damit von Anbeginn an gegeben. Denn *das Gleichgewicht zwischen Kruste und Magma war von allem Anfang an gestört.* Damit aber war auch *von allem Anfang an der Impuls für die Krustenbewegungen der Erdgeschichte gegeben.* Streben nach Gleichgewicht, immer wieder gestört durch die Trägheit der Massen und die fortschreitende Abkühlung und damit Kontraktion, bedingt die sukzessiven Bewegungszyklen der Erdgeschichte und damit jede Gebirgsbildung, vom Anfang der geologischen Zeit bis zum heutigen Tag. Aber während in einem der ersten Erstarrung der Kruste direkt nachfolgenden Entwicklungsstadium des Planeten die einzelnen Krustenteile sich noch relativ leicht verschieben liessen, Polflucht und magmatische Strömungen noch relativ unbehindert ihr reiches Spiel und Gegenspiel vollführen konnten, hat sich dies mit dem Dickerwerden der Kruste und der damit verbundenen vermehrten Kompression der magmatischen Zone recht wesentlich geändert. Der natürlichen Polflucht der Massen setzte die zunehmende Erstarrung der Kruste einen stets wachsenden *Widerstand* entgegen, und die Strömungen im magmatischen Untergrund sind seit dem Abschluss der astrischen Zeit der Erde immer mehr *behindert* worden durch eine zunehmende Viskosität der magmatischen Massen. Es hält so seit dem Fortschreiten der Erderstarrung schwer, sich bei dem hochviskosen Zustand der magmatischen Schmelzen unter den stark verdickten grossen Kontinentalmassen die Entstehung geologisch derart aktiver Strömungen vorzustellen,

wie sie nötig erscheinen, um den Mechanismus der irdischen Bewegungen in Gang zu halten. Aber dafür, dass immer wieder im Ablauf auch der späteren Erdgeschichte grosse Bewegungszyklen in der Kruste einsetzten, die ganze Kontinente verschoben, weltumspannende Gebirgsgürtel schufen, das Klima der einzelnen Stationen auf der Erde weitgehend veränderten, gibt die Analyse der Erdkruste mit ihren einander stets wieder in regelmässigen Abständen folgenden Gebirgstürmungen, und zwar bis in unsere Zeit hinein, sicheres Zeugnis.

Wir müssen also annehmen, dass die Strömungen im magmatischen Unterbau der Kruste auf irgendeine Weise stets wieder erleichtert und in erhöhtem Masse angeregt werden können. Das scheint möglich, einerseits durch regionale Entlastung und damit verbundene Liquifizierung der magmatischen Zone im Gefolge immer weiterschreitender « kontraktiver » Dehnungen der Kruste im Dach dieser Magmazone, anderseits aber wohl auch, vielleicht sogar im Zusammenhang mit der Kontraktion der Erde und den Krustendehnungen stehend, durch zeitweise *erhöhte Wärmeproduktion,* Schaffung einer gewissen, die Druckeffekte überwindenden « Überwärme » in den obersten Teilen der Magmazone, *im Gefolge des Zerfalls radioaktiver Stoffe* in derselben, wodurch abermals grössere Magmaschichten, besonders aber das eigentliche Dachstockwerk der magmatischen Zone im direkten Untergrund der Lithosphäre, wenigstens vorübergehend liquifiziert und damit zu Strömungen befähigt würde.

Die Idee dieser « *radioaktiven Katalysatoren* », deren Grundzüge von dem irischen Forscher Joly stammen und die u. a. auch von Holmes weiterausgebaut wurden, könnte neben andern Faktoren sehr wohl ein *zyklisches Immerwiedereinsetzen* der tektonischen Bewegungen nach langen Perioden relativen Stillstandes erklären. Aber die Bestimmung des absoluten Alters und der wirklichen Dauer der geologischen Formationen und Zeitabschnitte gibt uns leider, obschon vielversprechende Ansätze zu einer solchen bereits vorhanden sind, noch zu wenig wirklich konkrete Anhaltspunkte für eine sichere Beurteilung der erwähnten Zusammenhänge. Und doch, nehmen wir etwa die Mittelwerte der von Barrell nach der Bleimethode eruierten Zeitdauer des Tertiärs, des Mesozoikums und des Paläozoikums, und berücksichtigen wir, dass der alpine Bewegungszyklus Mesozoikum und Tertiär

umfasst, das Paläozoikum aber zwei gebirgsbildende Zyklen aufweist, so gelangen wir trotz aller Unsicherheit doch zu irgendwie auffallenden Ergebnissen. Es ergäbe sich nämlich, dass der alpine Bewegungszyklus mit Mesozoikum und Tertiär rund 220 Millionen Jahre umfasst hat, die beiden paläozoischen Zyklen zusammen aber rund 450 Millionen Jahre, d. h. fast genau, wenigstens der Grössenordnung nach, das Doppelte. Auf jeden Fall tun wir gut, diese Dinge weiter im Auge zu behalten; denn es scheint doch schon jetzt, dass die Gebirgsbildungen, und damit die Krustenbewegungen überhaupt, sich irgendwie sehr regelmässig wiederholen. Rund 200 Millionen Jahre wäre die Dauer eines Bewegungszyklus. In Abständen von rund 200 Millionen Jahren würde sich immer wieder der Mechanismus der Krustenbewegungen wiederholen.

* * *

Hochverehrte Versammlung! Ich habe versucht, Ihnen in einer kurzen Stunde einen bescheidenen Begriff von der Grösse der Phänomene zu vermitteln, die die Gebirgsbildung im Rahmen der Erdgeschichte bedingen. Vieles ist noch zu tun, bevor wir weiter und völlig klar sehen. Aber gegenüber dem Stand der Erkenntnisse noch vor wenig mehr als 20 Jahren sind wir doch wieder einen guten Schritt weitergekommen. Beanspruchten damals die gewaltigen, neu erkannten Rindenbewegungen das berechtigte Hauptinteresse, indem der Schauplatz der Gebirgsbildung von den engen Strängen der irdischen Gebirgszüge weg sich mächtig weitete und in der Bewegung ganzer Kontinente die Ursache der irdischen Gebirgsbildung gesehen werden musste, so neigt unser Hauptinteresse heute sich erneut den irdischen *Tiefen* zu, die, neben den Äusserungen der Kontraktion und neben den Effekten der Erdrotation, mit durchaus *eigenem Kräftespiel,* mit *Krustenaufschmelzung und magmatischen Strömungen,* den grossen Mechanismus der irdischen Krustenbewegungen stets aufs neue in Gang bringen helfen.

Nicht Kontraktion allein, wie die klassische Geologie vermeinte, nicht Polflucht und Westdrift in erster Linie, wie Wegener vermutete, nicht Strömungen im Untergrund allein, wie vor vierzig Jahren Otto Ampferer in einer revolutionierenden Schrift gegen die Kontraktionslehre sich vorstellte, bedingen den komplizierten

Mechanismus der Krustenbewegungen und damit die Gebirgsbildung der Erde. Diese Faktoren arbeiten vielmehr zusammen in einer grossartigen Arbeitsgemeinschaft, sie unterstützen einander, sie lösen einander ab und lösen einander aus im Wechsel der Zeiten. *Eine Kontraktion der Erde besteht,* auch heute noch. *Eine Flucht der Massen von den Polen gegen den Äquator dirigiert die wandernden Schollen* wie auf andern Gestirnen; *die Strömungen im magmatischen Untergrund unterstützen diese Wanderungen* im Streben nach Isostasie; der *Zerfall radioaktiver Stoffe sorgt,* neben isostatischen Vorgängen und weiterer Kontraktion des Planeten, für ein stetes *Wiederaufleben* der sonst langsam erlahmenden Strömungen, und so erkennen wir heute :

Es ist nicht die Kontraktionstheorie als solche, es sind auch nicht die bloss auf Polflucht zurückgehenden Verschiebungen der Kontinente oder die Strömungen im magmatischen Untergrund, die für sich allein den Mechanismus der Krustenbewegungen erklären könnten, sondern es gibt nur *ein grosses Zusammenspiel* aller dieser verschiedenen Faktoren, die vereint das tektonische Leben der Erde und damit auch unser Dasein mit allen seinen Schicksalen bedingen und erhalten.

Empfänglichkeit und Widerstandsfähigkeit gegenüber Infektion[1]

Von

WALTER FREI

Direktor des Veterinär-pathologischen Institutes der Universität Zürich

Das Zusammenleben eines Makroorganismus mit Mikroorganismen braucht noch keine Krankheit zu bedeuten. Es gibt hier Übergänge von hochpathogenen und in ihrer Vermehrungsfähigkeit ausschliesslich auf einen lebendigen Organismus angewiesenen Mikroorganismen (obligaten Parasiten), über harmlose neutrale Kommensalen bis zu den nützlichen, ja geradezu notwendigen Symbionten, wie wir sie in verschiedenen zelluloseverdauenden Bakterien des Magens und des Dickdarmes besonders der Herbivoren vor uns haben. Kein tierisches Lebewesen, von den Amöben angefangen bis zu den Wirbeltieren, wird ohne Auseinandersetzung mit Mikroorganismen existieren, noch mehr: keines wird wahrscheinlich ohne Infektionskrankheit sein Leben durchlaufen können. Was für die Tiere Makro- und Mikroparasiten und Virusarten, das sind für die Bakterien die den Viren entsprechenden Bakteriophagen. Die Auseinandersetzung mit pathogenen Parasiten ist eine phylogenetisch alte, primitive Notwendigkeit, welche, biochemisch dem Stoffwechsel an die Seite gestellt, in letzter Linie geradezu als ein Teil desselben aufgefasst werden kann.

Wenn man die grosse Zahl der pathogenen Mikroorganismen- und Virusarten mit der Zahl der als infizierbar bekannten Tierarten vergleicht, so ergibt sich, dass bei weitem nicht alle Tierarten durch jede Mikroorganismenart erfolgreich, d. h. zum Zustande-

[1] Gekürzt.

kommen einer Krankheit angesteckt werden kann. Gewisse Tierarten oder Tiergruppen weisen eine Anzahl nur bei ihnen vorkommender Infektionskrankheiten auf, so Masern, Scharlach, Cholera, Typhus u. a. nur beim Menschen, Schweinepest nur beim Schwein, Druse und Brustseuche nur bei den Equiden. Rauschbrand finden wir bei Rind und Schaf. Demgegenüber sind alle oder beinahe alle bis jetzt untersuchten Haustier- und sogar einige Wildtierarten empfänglich für Milzbrand, Starrkrampf, Tuberkulose, malignes Ödem u. a. Eine Gruppierung der für eine bestimmte Mikroorganismenart empfänglichen Tierarten kann mit der zoologischen Klassifikation zusammenfallen. Die Grenzen können aber auch ganz anders liegen. Die südafrikanische Pferdesterbe ist ausschliesslich auf die Equiden beschränkt, ebenso Brustseuche und Druse. Für Rotz hingegen sind ausser den Equiden auch die Fleischfresser Hund und Katze sowie der Mensch, nicht aber die Pflanzenfresser empfänglich. Diese zoologisch so verschiedenen Tierarten haben etwas, wahrscheinlich eine besondere chemische Eigentümlichkeit, miteinander gemeinsam, welche dem Rotzbazillus die Ansiedelung und Vermehrung in gewissen Organen gestattet. Die Voraussetzung der Pathogenität des Erregers bzw. der Empfänglichkeit einer Tierart ist einerseits das Fehlen von Abwehreinrichtungen, anderseits die Geeignetheit eines oder einiger ihrer Gewebe, dem Mikroorganismus passende chemische und physikalisch-chemische Lebensbedingungen zu bieten. Die bakteriologische Chemie der letzten Jahre hat ergeben, dass pathogene und nichtpathogene Mikroorganismen mit Bezug auf Nährstoffe und Wuchsstoffe ganz präzise chemische Anforderungen an das Substrat stellen, wie hinsichtlich Temperatur (Warmblüter, Kaltblüter), pH und Oxydoreduktionspotential.

Innerhalb einer grundsätzlich empfänglichen Tierart ist die Widerstandsfähigkeit (Resistenz) bzw. Empfänglichkeit nach Sippen und Einzelwesen und bei einem gegebenen Individuum zu verschiedenen Zeiten ungleich und von mancherlei äußeren und inneren Faktoren abhängig. Jeder Organismus ist, auch hinsichtlich der Infektionsabwehr, das Produkt von erblichen Anlagen und Milieu. Nachdem man in den ersten Anfängen der Bakteriologie die Mikroorganismen für die einzigen Ursachen der Infektionskrankheiten hielt, hat man in den letzten Jahrzehnten der Milieuforschung mehr Aufmerksamkeit zugewendet.

Äussere Faktoren der Widerstandsfähigkeit bezw. Empfänglichkeit

1. Die geographische Medizin oder Geopathologie erforscht die Ursachen der ungleichen *Verteilung der Infektionskrankheiten auf der Erde.* Diese ist bedingt (abgesehen von lokalen Eigentümlichkeiten der Erreger, der Ortsgebundenheit der Krankheitsüberträger — Mücken, Fliegen, Zecken — sowie der krankwerdenden Tierarten selbst) durch die geographischen Faktoren der Bodenbeschaffenheit, der Bepflanzung und des Klimas sowie die Lebensgewohnheiten des Menschen (Nomadisieren, Tierverkehr) und die verschiedenen Beanspruchungen und Haltungsmethoden der Haustiere.

2. *Das Klima.* Gewisse Krankheiten der Tiere und Menschen kommen nicht deshalb im Tropengürtel der Erde vor, weil das Klima die Widerstandsfähigkeit beeinflusst, sondern weil die als Überträger funktionierenden Arthropoden nur in jenem Klima existieren. Abgesehen davon gibt es klimatische Einflüsse auf die Infektionsanfälligkeit. Das Maltafieber ist eine Krankheit des Menschen in den Mittelmeerländern mit wenig Tendenz der Ausstrahlung nach Norden, trotzdem auch hier die Übertragungsmöglichkeit durch die Ziege besteht. Ähnliches dürfte gelten für die durch den Cryptococcus farciminosus verursachte, in den Mittelmeerländern, in Afrika und andern warmen Gegenden vorkommende epizootische Lymphangitis des Pferdes. Von besonderer Bedeutung für die Entstehung von Infektionskrankheiten ist das Mikroklima der engern Umgebung, die Behausung (Domestikation i. e. S.). Eine systematische Durchforschung von Belichtung, Luftzusammensetzung und Temperatur in den Ställen durch H. Zwicky und seine Mitarbeiter hat gezeigt, dass gewisse, zahlenmässig feststellbare, unhygienische Umstände des Stalles auf die Entstehung typischer Stallseuchen, besonders der Tuberkulose und der Euterentzündungen des Rindes einen ganz deutlichen Einfluss haben. Stallkrankheiten sind meistens auch die verschiedenen Jungtierinfektionen und die Brustseuche des Pferdes. Die typischen Stallseuchen finden sich aber grundsätzlich, wenn auch sehr viel seltener, bei den im Freien lebenden Tieren. Auch die nicht durch besondere belebte Überträger verbreiteten Tropenkrankheiten der Tiere sind zum grössten Teil Weidekrankheiten (Milzbrand, Rauschbrand, Lungenseuche, Rinderpest, Rotz u. a.). Sie demonstrieren die Gefahren der

freien Lebensweise auf der Weide und widerlegen die Ansicht, dass die Domestikation alle Schuld für die Entstehung von Infektionskrankheiten trage.

3. Manche Infektionskrankheiten erscheinen besonders häufig in gewissen *Jahreszeiten* (abgesehen von den durch belebte Überträger verbreiteten, deren Wirksamkeit auch jahreszeitlich gebunden ist). Dass der Rauschbrand als Weidekrankheit in der Schweiz fast nur im Sommer, d. h. zur Weidezeit vorkommt, ist leichtverständlich, ebenso dass gewisse infektiöse Krankheiten des Respirationsapparates beim Menschen und beim Schwein beim Übergang der warmen in die kalte Jahreszeit eine grössere Frequenz zeigen. Rätselhafter ist aber der auffällige Häufigkeitsgipfel des Schweinerotlaufes im dritten Quartal oder der Kinderlähmung im Spätsommer oder Frühherbst. Wenn wir auch grundsätzlich eine gewisse Einwirkung der Jahreszeit auf die pathogenen Mikroorganismen nicht bestreiten können, so liegen doch diesen letztgenannten Verschiedenheiten des Auftretens im Jahresablauf Resistenzschwankungen des Makroorganismus zugrunde.

4. Ein Komplex von Problemen ist der Einfluss der *Ernährung* auf die Widerstandsfähigkeit. Die Umgrenzung einer qualitativ und quantitativ physiologischen, dem Optimum der Resistenz zuträglichsten Ernährungsweise bietet grosse Schwierigkeiten. Mit den Begriffen Herbivoren, Karnivoren und Omnivoren kommen wir hier nicht aus. Eine ausreichende Versorgung mit Mineralien, auch mit Spurenelementen, ist nicht nur wichtig hinsichtlich der Infektionsresistenz der Tiere, sondern auch mit Bezug auf die Lebensbedingungen derjenigen Bestandteile der Darmflora der Herbivoren, welche die für die Infektionsabwehr des Tieres höchst wichtigen Vitamine des B-Komplexes herstellen. Wenn man auch den Vitaminen A und C eine besondere Bedeutung für die Erhaltung der Widerstandsfähigkeit gegen Infektion zuschreiben darf, so ist doch ohne Zweifel eine ausreichende Versorgung des Tierkörpers mit allen Vitaminen sehr wichtig. Ihre Bedeutung liegt in ihrer Beteiligung am Stoffwechsel und damit an der Produktion von Antikörpern und der normalen Funktionstüchtigkeit der Phagozyten. Praktisch wichtig ist die Tatsache, dass die durch Hypovitaminose bedingte Steigerung der Anfälligkeit schon bedeutend früher eintritt als die Symptome der Mangelkrankheit. Eine genügende Versorgung des Organismus mit Eiweisskörpern ist,

abgesehen von allem andern, schon deshalb erwünscht, weil insbesondere im Zustand der Krankheit zufolge Zunahme des Eiweißabbaues und ungenügender Nahrungsaufnahme eine negative Eiweissbilanz zustande kommt, die Bildung von Antikörpern aber gesteigerte Ansprüche an den Eiweissbestand bzw. die Eiweissreserven des Organismus stellt. Unterernährung überhaupt setzt die Widerstandsfähigkeit gegenüber Infektion herab. Sporadische und seuchenhafte Infektionskrankheiten nehmen infolgedessen an Häufigkeit in Hungerzeiten und Hungergegenden zu, ohne dass man sagen könnte, welche Insuffizienz (an Mineralien, Vitaminen, Eiweiss, Kalorien) zur Hauptsache für die Hungerdisposition verantwortlich zu machen wäre.

5. Ein bekannter disponierender Faktor ist die *Erkältung*. Die Erkältungsinfektionskrankheit erscheint nach einer gewissen Inkubationszeit von mehreren Stunden entweder am Ort der Abkühlung oder entfernt davon. Die Ursache der Erkältungsdisposition ist die Herabsetzung der Antikörpermenge im Blut, die Verminderung der Antikörperproduktionsfähigkeit sowohl am Abkühlungsort als auch (reflektorisch) davon entfernt sowie der Tüchtigkeit der beweglichen und unbeweglichen Phagozyten.

6. Man ist geneigt, einigen *Vergiftungen*, insbesondere chronischen, einen deprimierenden Einfluss auf die Infektionsresistenz zuzuschreiben (chronische gewerbliche Vergiftungen, Alkoholismus). Eine systematische Kenntnis auf diesem Gebiet steht noch aus. Verschiedene Versuche an Tieren haben zum Teil widersprechende Ergebnisse gezeitigt.

7. Sicherer ist die Wirkung der *Ermüdung* bezw. *Überanstrengung*. Individuen, welche durch Anstrengung, besonders wenn diese noch mit mangelhafter Ernährung kombiniert ist, heruntergekommen sind, neigen zu Infektionskrankheiten. Die inneren physiologisch-chemischen Zusammenhänge sind nicht ganz klar. Vielleicht handelt es sich, zum Teil wenigstens, um Mangel an verfügbarem Eiweiss zur Antikörperproduktion, zum Teil auch wohl um Störungen des intermediären Stoffwechsels etwa in Form von mangelhafter Oxydation, zum Teil auch vielleicht um Überbeanspruchung gewisser Endokrindrüsen, z. B. der Nebenniere, welche bei Muskelarbeit, beim Kohlehydrat- und Elektrolytstoffwechsel beteiligt und ausserdem ein Reservoir des C-Vitamins ist.

In diesem Zusammenhang sind die durch geeignete Zuchtwahl und raffinierte Fütterung zustande gekommenen Spitzenleistungen einiger Haustiere zu nennen, z. B. die hochgradige Eiproduktion der Hennen, die grosse Fruchtbarkeit des Schweines und die Entwicklung des Rindes zur Milchmaschine. Sicher vermehren derartige, das ursprüngliche Naturmass weit überschreitende Produktionen die Anfälligkeit für Infektionen. Hingegen können diese Gefahren durch sorgfältige hygienische Haltung und Verabreichung eines wohl angepaßten Leistungsfutters wesentlich vermindert und, wie die Erfahrung gezeigt hat, vollständig vermieden werden.

Von den *inneren Bedingungen der Widerstandsfähigkeit* bzw. Anfälligkeit interessieren uns die folgenden :

1. An der *Existenz einer familiären Disposition* gegenüber bestimmten (nicht allen) Infektionskrankheiten kann ebensowenig gezweifelt werden wie an einer familiär vererbbaren überdurchschnittlichen Widerstandsfähigkeit. Hinsichtlich der Vererbung der Anlage zu Tuberkulose muss vorsichtig unterschieden werden zwischen ererbter Disposition und gesteigerter Exposition, indem die Deszendenz tuberkulöser Eltern durch jahrelanges Verbleiben innerhalb der Familie viel mehr gefährdet ist als die Kinder nichttuberkulöser Aszendenz. Erst die Beobachtungen an (eineiigen und zweieiigen) Zwillingen haben wenigstens die Möglichkeit der Vererbung von Tuberkulosedisposition überhaupt, in einigen Fällen sogar einer identischen Lokalisation der tuberkulösen Erkrankung bei vollständig getrennt und unter verschiedenen Bedingungen aufgewachsenen Zwillingen ergeben. Die Notwendigkeit der Vererbung der Tuberkulosedisposition ist aber noch nicht bewiesen. In der Veterinärmedizin haben sich Anhaltspunkte für eine Vererbung der Tuberkulosedisposition ebenfalls gezeigt (Zwicky, Aleksa).

2. Die passive *Übertragung von Immunität von der Mutter auf das Junge.* Bei denjenigen Tierarten, bei welchen die Blutkapillaren der fötalen und mütterlichen Plazenta durch mehrere Zellschichten voneinander getrennt sind (z. B. Placenta syndesmo-chorialis, Rind, Schwein, Pferd) gehen Antikörper aus dem mütterlichen Blut nicht durch die Plazenta hindurch. Die Jungen bekommen Antikörper in den ersten Tagen nach der Geburt durch das Kolostrum. Auf der andern Seite ist ein diaplazentarer Übergang von Antikörpern ins-

besondere reichlich bei den Tieren mit Placenta haemochorialis (Mensch, Menschenaffen, Kaninchen und andere Nager), wo Kapillaren der Placenta fetalis direkt mit dem Blut der Placenta materna in Berührung kommen. Das Kolostrum dieser Tierarten ist arm an Antikörpern.

3. Kinderkrankheiten und Jungtierkrankheiten einerseits, Krankheiten des mittleren oder des höheren Alters anderseits erweisen die *Verschiedenheiten der Krankheitsresistenz nach Lebensaltern.* Kälber sind anfälliger für Infektionen mit Colibazillen, gewissen Paratyphaceen, Diplokokken als erwachsene Rinder. Der Rauschbrand des Rindes ist bedeutend häufiger bei Jungtieren bis zum Alter von 2½ oder 3 Jahren. Junge Hunde haben eine besondere Staupedisposition. Kälber sind gegenüber Texasfieber resistenter als erwachsene Rinder. Bei Kindern kennt man Masern, Scharlach, Windpocken u. a., kaum aber crupöse Pneumonie und rheumatische Polyarthritis.

4. Bei den grundsätzlich empfänglichen Tierarten zeigen sich grosse Verschiedenheiten der *Organempfindlichkeit.* Die Haut besitzt einen natürlichen Schutz in ihrer verhornten Epidermis und der sauren Reaktion ihrer Oberfläche. Die Schleimhäute des Verdauungs-, Atmungs- und Geschlechtsapparates sind geschützt durch das Epithel, durch Antikörper, zum Teil durch Flimmerzellen und Schleim, Magen und Vagina (diese nur beim Menschen) durch Säure. Der Grund der Resistenz bzw. Empfänglichkeitsunterschiede der inneren Organe ist die besondere chemische Zusammensetzung, zum Teil auch der Durchblutungsgrad. Von besonderer Bedeutung ist das örtliche Oxydoreduktionspotential für die Ansiedelung der obligat aeroben bzw. anaeroben Bakterien. Im allgemeinen werden sich die ersteren in Geweben oder Gewebspartien mit guter Sauerstoffversorgung halten und vermehren können (sofern die übrigen Bedingungen günstig sind), also z. B. in Blut, Lunge, Muskulatur. Da aber obligate Aerobier im Glas sich auch vermehren können, wenn an Stelle von Sauerstoff andere H_2-Acceptoren anwesend sind, so ist vielleicht im Gewebe Sauerstoff nicht unerlässlich. Anderseits finden die obligaten Anaerobier in sauerstoffarmen oder sauerstofflosen Gebieten (Nekroseherden, Infarkten, Quetschungen, Blutgerinnseln) günstige Existenzbedingungen. Der hierher gehörige Rauschbrandbazillus verursacht aber mit Vorliebe Muskelerkrankung. In den bei kleinen Quetschungen

oder Zerreissungen entstehenden Blutungen wird er sich vermehren können, aber auch in intensiv arbeitender Muskulatur, wo der Sauerstoff durch die Muskelzellen vorweg verbraucht wird.

5. *Hormone.* Im allgemeinen ist die Infektionsresistenz bei Subfunktion der Hormondrüsen herabgesetzt. Ob durch einen Überschuss von Hormonen die Widerstandsfähigkeit über die Norm hinaus gesteigert werden kann, ist noch nicht ganz sichergestellt.

6. Da *das vegetative Nervensystem* (VNS) alle vegetativen Funktionen (Stoffwechsel, Atmung, Kreislauf u. a.) beherrscht und untereinander und mit dem animalen Nervensystem in Korrelation bringt, wäre es merkwürdig, wenn es sich mit der phylogenetisch uralten Funktion der Bekämpfung von Infektionserregern nicht befassen würde. Das betrifft insbesondere diejenigen Teile, welche sich mit Blutbildung, Kreislauf und mit dem Stoffwechsel, insbesondere mit dem Eiweissstoffwechsel abgeben. Diese Apparate beherbergen bzw. liefern die Phagozyten und die Antikörper. Zahlreiche Experimente, insbesondere mit neurovegetativen Medikamenten, haben die Beeinflussbarkeit der Antikörperbildung und der Infektionsresistenz via VNS dargetan. Dabei scheint (wenigstens vorläufig) die Regel zu gelten, dass eine Reizung des Sympathicus (Adrenalin, Ephetonin) bei infizierten Tieren die Widerstandsfähigkeit herabsetzt, Reizung des Parasympathicus aber (Acetylcholin) sie erhöht. Zur Klärung dieser Verhältnisse sind aber weitere Untersuchungen notwendig.

Die *Abwehreinrichtungen* des Organismus im allgemeinen sind die Phagozyten und die Antikörper. Die beweglichen Phagozyten sind die weissen Blutzellen, welche nicht nur frei im Blut schwimmen, sondern, chemotaktischen Reizen folgend, durch die Kapillarwände hindurch gehen und sich auf gewisse Fremdkörper, z. B. Mikroorganismen hinzubewegen. Für die Aussendung von Pseudopodien und die damit verbundene Lokomotion kann man einseitige Erniedrigung der Oberflächenspannung durch Substanzen mikrobieller Abkunft verantwortlich machen.

Auch die Phagozytose selbst, das Umfliessen von Partikeln durch das Leukozytenprotoplasma, geht mit Erniedrigung der Oberflächenspannung einher. Nur gewisse Mikroorganismenarten kommen für die Phagozytose durch granulierte weisse Blutzellen in Frage, kaum aber die zahlreichen Virusarten. Diese scheinen

hauptsächlich auf Lymphozyten und ähnliche Zellen chemotaktisch einzuwirken. Die festsitzenden Phagozyten werden mit dem Namen reticuloendotheliales System (RES) zusammengefasst. Es sind die Uferzellen des Blut- und Lymphstromes sowie bestimmte Zellen, Reticulumzellen, der Lymphknoten und des Knochenmarks. Ihre Aufgabe besteht also in Festhalten und Phagozytieren der im Blut und in der Lymphe schwimmenden Mikroparasiten. Aber auch ihnen fallen nicht alle zum Opfer. Da die Funktion der Gefässwände unter der Herrschaft des VNS steht, hat dieses die Möglichkeit, auch auf diese Gruppe der Abwehreinrichtungen einzuwirken, und da es seine Wirkungen auf die Erfolgsorgane durch Abgabe gewisser Substanzen (Acetylcholin, Sympatin) bewerkstelligt, ist eine neurovegetative Beeinflussung auch der beweglichen Phagozyten anzunehmen.

Die Antikörper sind Globuline der Blutflüssigkeit. Ihre Bildung bzw. Vermehrung erfolgt durch den Reiz gewisser Moleküle der Mikroorganismen in den blutbildenden Organen bzw. im RES. Die Reizsubstanzen, Antigene, sind Eiweisskörper oder Kombinationen von solchen mit Lipoiden oder Polysacchariden. Ein Teil bzw. eine Gruppe des Antigenmoleküls (haptophore Gruppe) ist verantwortlich für die Bindung des Antigens an die Zellen, während eine andere Gruppe zur Bildung spezifischer Antikörper reizt. Die Menge der entstehenden Antikörper ist von der Tierart und vom Zustand des Tieres (gut genährt, heruntergekommen, krank) abhängig. Wenn man mit demselben Antigen bei zwei verschiedenen Tierarten Antikörper erzeugt, so verbinden sich beide spezifisch mit ihrem Antigen. Dabei können sie verschiedenes Molekulargewicht haben. Beispielsweise hat der gegen Pneumokokken Typ I und III bei Rind, Pferd und Schwein erzeugte Antikörper ein Molekulargewicht von 930 000, der bei Mensch, Affe und Kaninchen entstandene aber ein solches von 157 000. Massgebend für Bindung und Wirkung des Antikörpers ist also nicht das Molekulargewicht, sondern sind bestimmte Gruppen an dem Molekül. Die Wirkung des Antikörpers besteht in der Neutralisierung allenfalls Ausfällung von Giften, in der Präzipitation von gelösten Antigenen, in der Veränderung der Oberflächenhülle der Mikroorganismen (wenn die Antigene noch in die Zellen der Mikroparasiten eingebaut sind), wonach diese agglutiniert oder aufgelöst werden.

Die Antikörper werden insbesondere während der Krankheit zum Teil in grösseren oder kleineren Mengen ins Blut abgestossen, zum Teil bleiben sie an den Bildungsstellen haften und sind da die Ursache der Zellimmunität. In Entzündungsgebieten können sie die Kapillaren permeieren und im Gewebe auf die Mikroorganismen treffen.

Während der Krankheit ändert sich die Widerstandsfähigkeit gegenüber dem Infektionserreger im positiven oder negativen Sinne: sie nimmt zu, d. h. die Krankheit heilt aus, die Mikroorganismen werden m. o. w. rasch vernichtet, oder sie nimmt ab, und der Organismus stirbt, oder es kann eine Überempfindlichkeit entstehen. Allerdings zeigt dieses vereinfachte Bild meistens allerlei Komplikationen. Das Überstehen einer Infektionskrankheit verleiht meistens eine kürzer oder länger dauernde, kräftige oder schwache Immunität.

Bei andern bleibt gegenüber demselben Erreger eine grössere Anfälligkeit. Der tuberkulöse Organismus zeigt gegenüber Neuinfektion eine gewisse Immunität, welche nach Ausheilung der Erstinfektion verschwindet. Anderseits besteht bei Tuberkulose eine Überempfindlichkeit gegen gewisse Substanzen und Produkte des Tuberkelbazillus (Tuberkuline). Bei den meisten akuten Infektionskrankheiten zeigt das vegetative Nervensystem ein gewisses gesetzmässiges Verhalten. Auf eine erste Phase, gekennzeichnet durch Sympathicushypertonie (Fieber-, Herz- und Atmungsbeschleunigung, Darniederliegen der Verdauung, Steigerung des Stoffwechsels, Änderungen der Bluteiweisskörper, Acidose, Vermehrung der neutrophylen Blutleukozyten), folgt eine Phase der parasympathischen Hypertonie (Senkung der Temperatur, Verlangsamung von Herz- und Atmungsfunktionen, Wiederbeginn der Magendarmtätigkeit, Senkung des Stoffwechsels, Alkalose, Verminderung der neutrophilen Blutleukozyten, Vermehrung der Eosinophilen und Lymphozyten). Die Konzentration der antitoxischen bzw. antibakteriellen Antikörper im Blut nimmt zu. Bei gewissen Erregern kann sich im Entzündungsgebiet eine lokale Ansammlung von weissen Blutkörperchen ausbilden, welche lebhaft phagozytieren. Nicht immer geht die Heilung der Krankheit mit dem Untergang der Erreger einher, Immunitas non sterilisans. Nach Typhus, Cholera können sich noch lange die entsprechenden Bakterien im Darm vorfinden (Dauerausscheider). Rinder, welche das Texasfieber

überstanden, enthalten die Erregerprotozoen noch im Blut. Manche Infektionskrankheiten heilen scheinbar aus, werden symptomlos oder haben unbemerkt begonnen (stumme Infektion). Durch ein disponierendes Moment (Erkältung, Unterernährung, Überanstrengung, Neuinfektion mit einem andern Erreger) werden diese Herde (Fokalinfektion) aktiviert, die Krankheit wird intensiver, und es kann eine Ausstreuung von Bakterien stattfinden. Die Erscheinungen der Überempfindlichkeit können auch bei der Anwesenheit von Antikörpern auftreten, ja geradezu durch sie veranlasst sein, indem nämlich durch die Vereinigung des Antikörpers mit dem Antigen an gewissen Zellen, u. a. auch im VNS, ein Gift (Anaphylatoxin) entsteht, welches gewisse Symptome der Überempfindlichkeit auslöst. Manches spricht dafür, dass die Überempfindlichkeit des tuberkulösen Organismus gegen Tuberkulin, des rotzkranken Pferdes gegen Mallein (Rotzbazillenextrakt) prinzipiell auf analoge Weise zustande kommt. Ähnlich scheint der Mechanismus zu sein bei der Überempfindlichkeit gegen Medikamente und andere Substanzen (Salizylsäure, Sublimat und andere), indem das Medikamentmolekül sich mit einem Körpereiweissmolekül verbindet, damit zum Antigen wird, welches zur Antikörperbildung führt.

Die Krankheit setzt sich zusammen aus Veränderungen, Schädigungen, welche schicksalhaft als chemische und physikalische Unglücksfälle sich im Gewebe abspielen, sowie aus den reaktiven Unternehmungen des Organismus mit der Tendenz der Beseitigung der Störungen. Bei diesen Ausregulierungen ist das VNS wesentlich beteiligt. Ökologisch ist ein kranker Organismus mit seiner herabgesetzten Leistungsfähigkeit im Kampf ums Dasein benachteiligt. In der freien Natur fällt er unter Umständen den Feinden zum Opfer, oder er ist nicht imstande, sich Nahrung zu beschaffen.

Die zurückbleibende Immunität ist ein Vorteil im Kampf ums Dasein gegenüber Mikroorganismen, aber nur gegen diejenige Art, welche die Krankheit verursachte. Man kann sich fragen, ob nicht, wenn man den Infektionskrankheiten den Lauf liesse, ein widerstandsfähigerer Stamm von Tieren herausgezüchtet würde. Das ist grundsätzlich richtig. In Gegenden, wo gewisse Tierseuchen heimisch sind, haben die einheimischen Tierrassen eine höhere Widerstandsfähigkeit gegenüber diesen Seuchen, denen frisch importierte Tiere in grosser Zahl zum Opfer fallen. Das angedeutete

heroische Experiment kann aber doch nicht durchgeführt werden. Denn wir müssten alle Seuchen ungehindert sich ausbreiten lassen, damit die übrigbleibenden Tiere gegen jede immun wären. Die hierbei auflaufenden Verluste wären wirtschaftlich nicht tragbar.

Es macht auch nachdenklich, dass z. B. in Afrika die Rinderpest erst abnahm und in manchen Gegenden schliesslich verschwand, als die wissenschaftliche Intelligenz des weissen Mannes (ohne Zuchtwahl) sich mit ihr befasste. Wir müssen auch die Möglichkeit der Mutation bei Erregern und Makroorganismen ins Auge fassen, welche die ersteren an die letzteren anpassungsfähiger, d. h. krankmachender, und die letzteren gegenüber den ersteren empfänglicher gestalten kann. Die Hygiene ist imstande, die Nachteile der Domestikation wie des Lebens in der freien Natur zu vermeiden und damit die Haustiere günstiger zu stellen als ihre in Freiheit lebenden Artgenossen oder Verwandten.

Constantes universelles

Par

André Mercier, Berne

Introduction

Mesdames,
Messieurs,

Les constantes universelles se rangent parmi les notions les plus singulières qui ressortent de la contemplation de la Nature. Les unes, sujettes à la découverte physique, sont caractéristiques de l'instance avec laquelle s'imposent les lois naturelles. Les autres, qui résument en quelques symboles l'ensemble des théories physiques, sont autant de jalons, de mesures absolues tout d'abord cachées à notre entendement, caractéristiques de la structure du monde, de l'aspect fondamental et philosophique de la science physique, et cela avec une précision et une certitude auxquelles n'atteint aucune autre science de la Nature.

Dans d'autres disciplines, il existe aussi de ces jalons, servant de guides à la recherche; le géologue reconnaît ses fossiles, ses couches stratigraphiques, ses moraines d'anciens glaciers; l'anthropologiste trouve des silex taillés, des poteries, des outils de bronze ou de fer. Les physiciens ont à leur disposition *la vitesse de la lumière, la charge de l'électron, le quantum d'action, l'élément d'entropie;* avec ces grandeurs fondamentales, ces *universaux*, ils prétendent atteindre à l'ultime composition de l'univers.

La physique connaît actuellement un très grand nombre de *constantes*. Mais seules un petit nombre d'entre elles ressortissent à une universalité véritable, et parmi celles-ci, il y en a quelques-unes qui sont indépendantes les unes des autres, formant comme un conseil supérieur, absolu, duquel dépend la conduite de toute opération de la nature physique des choses.

Ce conseil se scinde en deux organes; juridiquement, on dirait peut-être que ces organes ont des compétences distinctes. Nous dirons ici que ces deux organes sont philosophiquement irréductibles. En termes juridiques, on dirait peut-être que l'un de ces organes est responsable de la législation, alors que l'autre assure le respect d'une constitution fondamentale. Nous dirons que ce dernier assure la conduite, dirige l'activité du physicien vis-à-vis de l'état de choses réalisé dans l'univers, tandis que le premier, lui, montre comment cet état de choses se manifeste dans la réaction mutuelle des corps matériels répartis dans l'univers.

Disons-le tout de suite, rien de ce qui touche *à la vie* ne retiendra ici notre attention. Pour autant que je suis correctement renseigné, l'étude du phénomène de la vie n'a pas amené à la découverte de constantes universelles, que ce soient des constantes caractéristiques de l'action mutuelle des corps animés par la vie, ou que ce soient des constantes que nos théories sur le comportement, sur l'évolution de ces corps doivent insérer dans leur structure d'une manière ou d'une autre. La science du corps vivant — en tous cas à l'heure actuelle — se distinguerait donc de celle de la matière inanimée entre autres par l'absence de tels organes censés former un conseil supérieur qui, en physique au sens le plus large, c'est-à-dire dans toute la science de la matière inanimée, s'impose au savant, dans sa recherche, tout comme le musicien subit soit l'impulsion dirigée des règles fondamentales d'un contrepoint dont la perfection (surnaturelle) lui paraît évidente, soit l'empire de l'harmonie musicale dont il découvre les lois (naturelles).

Le musicien (ou le poète) et le physicien se trouvent ainsi dans des situations analogues. Tous deux, ils se proposent de déceler, de comprendre, de connaître l'harmonie des lois universelles de la Nature où nous vivons et procèdent à cet effet de manière semblable :

La contemplation, l'intuition, la foi en leurs capacités qu'ils savent modestes, l'exercice, les aident à fabriquer des moyens d'investigation, à construire le schéma de leur connaissance qui s'appliquera à la réalité pour l'expliquer; pour le premier ce sont les règles d'un contrepoint, pour le second les postulats d'une théorie. Ils les emploient alors dans la recherche des lois naturelles.

Dans cette voie, le physicien a le privilège unique, extraordinaire de pouvoir sans cesse puiser à une source de nourriture spirituelle dont l'effet jusqu'ici a toujours été infaillible, la mathématique. Aussi ne manque-t-il pas d'en faire emploi. Cela l'a amené précisément dans la situation exceptionnelle de pouvoir introduire, dans la construction de son contrepoint, ou de devoir mettre en évidence, dans la découverte de l'harmonie qu'il recherche, des « constantes » parfaitement, univoquement définies à partir de quelques notions élémentaires, fondamentales et intuitives; ces constantes possèdent une mesure et des caractères, cette mesure est un nombre[1] et ces caractères sont ses dimensions physiques ainsi que sa structure mathématique.

Exclusion de la géométrie

Si la géométrie était une branche de la physique, je serais tenté de dire que le nombre $\pi = 3{,}14\ldots$ est une constante universelle. C'est la mesure d'un angle, ce n'est donc pas un nombre pur, mais une grandeur qui a un caractère, une structure mathématique et qui aurait des dimensions, si la géométrie faisait partie de la physique. Mais je préfère dire que la géométrie n'est pas une branche de la physique telle qu'on la cultive actuellement. Si elle en était une, ne faudrait-il pas à plus forte raison encore considérer le calcul des probabilités comme branche d'une physique élargie ? Je procéderai dans le sens contraire, excluant de la physique dont je parle non seulement le calcul des probabilités et la géométrie, mais encore la cinématique-même, qui n'est que l'étude du mouvement en soi, donc une branche d'une géométrie élargie. La physique ne commence véritablement que là où règne *une* harmonie déterminée, *une* loi, douée de toute la réalité que postule l'étude de la Nature, une loi douée de toute la réalité que ressent journellement l'expérimentateur, que touche celui qui courbe des barres élastiques, celui qui dissout un sel dans un liquide ou qui allume une lampe électrique pour voir clair dans sa chambre. Les constantes universelles qui nous intéressent sont *dans* cette barre, *dans* ce liquide, *dans* le filament de cette lampe. La physique commence là où il faut chercher une loi d'interaction des corps répartis

[1] Nombre relatif, bien entendu, à une « unité » conventionnelle.

dans le monde et elle se sent sûre d'elle-même chaque fois qu'elle en a trouvé une et qu'elle sait l'employer.

Ni la géométrie, ni la cinématique se révèlent les lois particulières de l'interaction qui règne dans ce monde d'objets matériels. Elles nous disent quelles sont toutes les harmonies possibles, quelles sont toutes les lois pensables. Mais alors l'algèbre ou l'analyse et la logique en font tout autant.

Constantes physiques

En physique, on a introduit ou découvert un assez grand nombre de constantes. Toutes n'ont pas la même importance. Chaque fois que l'une d'elles a droit de cité en toute circonstance, quelle que soit l'époque, quel que soit le lieu, quelles que soient les conditions qui fixent l'état détaillé et global d'un objet soumis à l'expérience ou à la considération théorique, qu'elle a droit de cité dans l'explication de l'ensemble du monde physique, c'est une constante universelle.

Et chaque fois qu'un savant en introduit ou en découvre une qui soit véritablement universelle, il faudrait lui tresser une couronne.

Exemples

L'histoire de la science, à ce propos, ne montre pas seulement de l'ingratitude. Ainsi il est une certaine constante généralement désignée par k, qui est universelle et à qui on a donné le nom de celui qui l'a introduite; c'est la constante de Boltzmann. Il en est de même d'une constante dont on parle beaucoup aujourd'hui, la constante h de Planck. Mais qu'en est-il par exemple d'une autre constante tout aussi importante et tout aussi universelle, de la vitesse c de la lumière ? On pourrait lui donner le nom de Gauss, ou de préférence peut-être celui de Maxwell, à moins qu'on ne tienne à honorer Römer, le premier qui l'a mesurée, ou encore — ce serait peut-être là le plus correct — à lui donner le nom d'Einstein, puisque c'est de ses travaux que ressort son universalité véritable. Et la charge de l'électron, que je tiens aussi pour une constante universelle, doi-je en honorer le théoricien Lorentz, ou l'expérimentateur Millikan ?

Quant à la constante de la gravitation, elle remonte à NEWTON, et tout le monde en sait assez sur le génie de cet homme pour que soit honorée sa mémoire.

On entend parler d'autres constantes. La constante R des gaz, par exemple, n'est pas universelle. Le nombre d'AVOGADRO ne résulte que d'une convention. La perméabilité magnétique dite du vide, dont s'occupent actuellement des électrotechniciens fort avisés, est-elle une constante universelle ? C'est là une question à laquelle ces savants n'ont peut-être pas songé; et s'il y faut une réponse, donnons-nous le temps d'y réfléchir.

Nous ne saurions nous contenter d'affirmations arbitraires. Une affirmation sur l'universalité d'une constante suppose en effet deux choses. Premièrement : dites-nous avec toute la précision nécessaire ce que veut dire le mot universel. Deuxièmement: prouvez-nous que telle ou telle constante est bien universelle. Alors nous serons logiquement satisfaits, et nous comprendrons mieux le rôle exceptionnel qu'elle joue dans la physique.

Il faudrait pour cela exposer la physique en raccourci.

Exemple d'une grandeur conventionnelle

Considérons tout d'abord un exemple. Qu'est-ce que c'est que la constante R des gaz ? Eh bien, il y a des gaz ténus, dont l'état d'équilibre est bien décrit par l'équation dite des gaz parfaits. Si l'on en prend une quantité que les chimistes appellent une mole, ou moléculegramme, la pression p du gaz, sa température absolue T et le volume V qu'occupe cette mole sont reliés par la simple relation

$$pV = RT$$

où R est une constante. Mais ce n'est une constante, indépendante de la nature du gaz, que pour une mole de gaz. Alors qu'est-ce que c'est qu'une mole ? C'est une quantité de matière définie par une pure convention. Donc pour diverses conventions on aurait diverses constantes des gaz; la constante R changerait par conséquent de valeur non seulement si l'on changeait les unités de mesure, mais aussi si l'on modifiait les termes de la convention. Et puis, ce qui est plus grave, si un habitant de la planète Mars (à supposer qu'il existât) s'avisait d'écrire l'équation des gaz parfaits pour la même pression et la même température de nouveau avec le

volume d'une mole de notre gaz, il devrait employer une autre constante R, comme la théorie de la relativité nous l'enseigne. Mais alors, si la constante R dépend d'une convention, ou de la planète d'où l'on observe les gaz, ou de toute circonstance pareille qu'on peut appeler circonstance humaine, c'est qu'elle n'est pas universelle.

Citons un exemple analogue, le nombre d'Avogadro, qu'on appelle aussi nombre de Loschmidt. C'est le nombre de molécules contenues dans une mole. Mais alors c'est un nombre conventionnel, puisque la mole est une quantité conventionnelle. Parfaitement. C'est un cas analogue à la constante des gaz. L'analogie va même plus loin; tout comme pour R, le nombre d'Avogadro n'est pas le même pour un habitant de la Terre et pour un habitant de la planète Mars, à cause du mouvement relatif de ces deux corps célestes.

Le nombre d'Avogadro n'est donc pas universel.

Premier exemple d'une constante universelle : k

Les raisons qui font que ni R ni le nombre N d'Avogadro ne sont universels sont au fond les mêmes. A tel point, que si l'on forme leur rapport

$$\frac{R}{N} = k,$$

l'influence de la convention ou du mouvement relatif des planètes s'évanouit : En toutes circonstances, ce rapport est le même.

Alors ce rapport, que nous appelons k, mérite la désignation d'universel.

En effet, k est une constante universelle, c'est la constante de Boltzmann ou élément d'entropie.

C'est l'exemple d'une constante constructive

Pour parvenir à décrire l'évolution de la matière, on a dû distinguer entre deux cas qui s'excluent. Il y a des phénomènes périodiques, tels que les oscillations élastiques ou électriques, le mouvement des pendules et des planètes; et puis il y a leurs combinaisons, leur généralisation, telles que les précessions, les nutations, la chute des corps, le mouvement des charges électriques qui s'influencent mutuellement, la propagation des ondes (sonores ou

électromagnétiques). Tous ces phénomènes admettent une mesure commune du temps, à cause de cette périodicité fondamentale. Et parce que périodicité veut dire retour à un état déjà occupé, ces phénomènes sont dits *réversibles.*

L'étude des phénomènes réversibles est essentiellement rationnelle, on peut la faire en principe grâce à l'emploi d'équations qui expriment l'égalité entre une grandeur connue et une grandeur inconnue. La mécanique rationnelle, la théorie des corps déformables, celle de l'électricité, l'optique, en sont des exemples typiques. Une partie de la thermodynamique également étudie des phénomènes réversibles, mais une partie seulement.

Car le véritable avantage de la thermodynamique est qu'elle permet l'étude de phénomènes irréversibles. Il s'agit de phénomènes qu'on ne peut obliger à se dérouler à l'envers sans une perte irréparable d'énergie utile. Par le fait de cette perte, les phénomènes irréversibles ne sont pas soumis simplement à des équations ou égalités, mais à des inégalités. Ils se déroulent d'une manière telle que les corps matériels qui y prennent part quittent leur état pour se rendre dans un *état plus probable.*

Il doit être possible de décrire cette tendance par une grandeur qui évoluera dans un sens déterminé. On est parvenu à définir une grandeur pareille ou grandeur d'état; c'est CLAUSIUS qui l'a fait à la suite des travaux de CARNOT, et cette grandeur s'appelle l'*entropie.* L'entropie et la probabilité devraient ainsi faire cause commune; c'est ce que BOLTZMANN a compris, il les a reliées comme suit :

$$\text{Entropie} = k \cdot \text{Log Probabilité},$$

introduisant une constante k qui, depuis, porte son nom.

Or cette tendance, qui se manifeste dans les phénomènes irréversibles, cette évolution dirigée vers les états de plus grande probabilité, en un mot cette irréversibilité, ce n'est pas le résultat d'une action particulière de certains corps les uns sur les autres, ce n'est pas l'effet d'une loi comparable à la gravitation, à l'attraction ou à la répulsion des charges électriques ou à la cohésion des noyaux d'atomes. La constante de BOLTZMANN n'est donc pas une constante d'interaction.

Relier une grandeur ou variable thermodynamique comme l'entropie à la probabilité qu'ont les corps de se répartir d'une certaine manière dans les états qui sont à leur disposition, c'est

fonder une théorie, c'est construire un outil de recherches, c'est organiser sa pensée. En d'autres termes, la constante de BOLTZMANN n'est donc pas une constante d'interaction.

Relier une grandeur ou variable thermodynamique comme l'entropie à la probabilité qu'ont les corps de se répartir d'une certaine manière dans les états qui sont à leur disposition, c'est fonder une théorie, c'est construire un outil de recherches, c'est organiser sa pensée. En d'autres termes, la constante de BOLTZMANN est un outil, un rouage, l'ancre ou le pendule d'un mouvement d'horlogerie : sa valeur nous révèle avec quelle instance se fait sentir cette tendance caractéristique des phénomènes irréversibles.

La constante de BOLTZMANN est une *constante constructive,* c'est « l'élément d'entropie » caractéristique de la différence entre la réversibilité et l'irréversibilité.

On démontre dans la théorie des gaz que le rapport de la constante R des gaz au nombre d'AVOGADRO N est égal à la constante de BOLTZMANN. Mais ce rapport ne saurait servir de définition, la véritable définition de k est celle de BOLTZMANN[1].

Il serait désirable qu'une constante constructive pareille soit la même en toute circonstance, de manière à mériter le titre d'universel.

Or c'est le cas. On démontre que la probabilité ainsi que l'entropie sont les mêmes pour tous les observateurs, ou, comme on dit, qu'elles sont des *invariants* dans la théorie de la relativité restreinte, invariants en toute circonstance prévisible dans cette théorie. Leur rapport est naturellement aussi un invariant.

La constante de BOLTZMANN ou élément d'entropie est donc une constante constructive universelle; c'est ce que nous appelons *un universel.*

Deuxième exemple d'une constante universelle : c

Le célèbre GAUSS a cru bien faire lorsqu'il a proposé l'emploi de deux systèmes d'unités pour exprimer l'intensité des grandeurs électromagnétiques. L'un, le système des unités électrostatiques, devait servir surtout lorsqu'il s'agit de mesurer des grandeurs plus « électriques » que « magnétiques » telles que la charge, la tension,

---

[1] Ou une définition équivalente réalisée par exemple par l'introduction de l'ensemble canonique de Gibbs.

le courant électrique (en certaines circonstances), la capacité, etc.; l'autre, le système des unités électromagnétiques, devait servir surtout lorsqu'il s'agit de mesurer des grandeurs plus « magnétiques qu'électriques », telles que le courant électrique (en certaines circonstances différentes des précédentes), le champ et l'induction magnétiques, etc. Bien entendu, on peut repérer toute grandeur de nature électrique ou magnétique au moyen de l'un ou au moyen de l'autre système d'unités. Il existe un schéma qui permet de passer d'un système d'unités à l'autre.

Bien que ce dédoublement des unités ait une racine assez profonde dans la nature des phénomènes électromagnétiques et qu'il présente des avantages dans certaines circonstances, il présente des défauts que l'on ne connaît que trop bien aujourd'hui. Mais quoi qu'il en soit, il doit être caractérisé par une donnée, un rapport fixe d'un système d'unités à l'autre, par une constante, qu'on peut prendre par exemple égale au rapport du nombre i_s qui mesure un courant électrique dans le système des unités électrostatiques au nombre i_m qui mesure le même courant électrique dans le système des unités électromagnétiques. On la désigne alors généralement par c :

$$\frac{i_s}{i_m} = c$$

Il se trouve que ce rapport a les dimensions d'une vitesse et vaut, en cm./sec.,

$$c = 3.10^{10} \text{ cm./sec.}$$

Parmi les grandeurs physiques liées à l'existence et au mouvement de l'électricité, il y en a deux qui sont importantes et que l'on nomme le champ électrique et le champ magnétique. Maxwell s'en est beaucoup occupé. Il en fait la théorie générale et a démontré qu'ils doivent se propager dans l'espace vide sous la forme d'ondes à une vitesse précisément égale au rapport c que nous venons de définir. Cette constante gagne par là beaucoup en importance, puisqu'elle caractérise la propagation des grandeurs électromagnétiques dans l'espace.

Les ondes découvertes par Maxwell ont des propriétés intéressantes: elles peuvent avoir diverses longueurs d'ondes, on peut les réfléchir, les réfracter, les faire interférer, les disperser, les polariser... bref, elles ont toutes les propriétés que possède la lumière. C'est Maxwell qui le premier a pensé que ces ondes ne

sont autres que la lumière elle-même, idée audacieuse mais géniale, d'autant que la vitesse c avec laquelle elles se propagent coïncide, dans la limite des erreurs d'expérience, avec celle de la lumière.

C'est l'exemple d'une constante constructive

Les charges électriques agissent les unes sur les autres, d'une part par une action électrique directe transmise par le champ électrique, action connue sous le nom de loi de COULOMB, et d'autre part lorsqu'elles sont en mouvement sous forme de courant électrique et par l'intermédiaire du champ magnétique, action connue sous le nom de loi de BIOT et SAVART. Comme le phénomène de la lumière est une propagation de champs électrique et magnétique, on peut dire que c'est la lumière qui transmet l'action électrique. La théorie moderne des quanta le voit bien ainsi. Mais l'intensité de cette action n'est pas fixée par la vitesse de sa propagation, aussi la vitesse de la lumière n'est-elle pas la caractéristique de la loi ou des lois de l'action électrique, ce n'est pas une constante d'interaction.

Bien que la tendance se soit tôt fait sentir d'incorporer l'électromagnétisme à la mécanique rationnelle, celui-là s'est toujours montré réticent. Le champ électrique et le champ magnétique sont des notions physiques assez étrangères à la mécanique telle que NEWTON l'a fondée, la notion de champ, créée par FARADAY et précisée d'une manière tout particulièrement raffinée par MAXWELL, était destinée à occuper une place centrale dans une théorie spéciale, celle de l'électricité, et l'on ne pouvait espérer arriver sans faute à l'acclimater dans le domaine de la mécanique. De fait, il a fallu qu'EINSTEIN soumît la question à une étude très profonde pour qu'une entente entre ces deux disciplines fût possible. Et le compromis réalisé par EINSTEIN, l'un des produits les plus synthétiques que l'on doive à la pensée théorique, montre clairement le rôle joué par la constante c. En effet, EINSTEIN postule ou démontre sur cette constante trois choses : premièrement, la constante c est la même en toute circonstance, c'est une constante universelle, elle ne dépend en aucune manière des observateurs qui veulent en déterminer la valeur; deuxièmement cette constante, ou plutôt son carré, est le nœud qui lie deux des principes les plus profonds selon lesquels la Nature procède, l'indestructibilité de la masse

inerte et celle de l'énergie dans toute sa diversité en les fusionnant en un seul principe, d'où il ressort clairement que c n'est pas la constante d'une loi naturelle d'interaction, mais qu'elle a un caractère nettement constructif; troisièmement, c'est la vitesse limite au-dessus de laquelle rien de ce qui est matériel dans le monde ne saurait se mouvoir — de nouveau une proposition universelle qui est bien caractéristique de notre manière constructive d'étudier la Nature et non pas la conséquence de l'action particulière que certains corps exercent les uns sur les autres.

La constante c, qu'on appelle communément la *vitesse de la lumière*, est donc *un universel.*

Troisième exemple d'une constante universelle : h

Autant les efforts du XIXme siècle s'étaient portés à géométriser la physique dans le cadre de l'espace des sensations immédiates, trouvant leur épanouissement dans la théorie de la relativité, autant la physique nouvelle qui a commencé en 1900 s'est-elle abstenue de cette tendance pour s'attacher à la détermination d'un état de choses très différent, tirant son origine dans la matière-même de l'univers et non pas seulement rattaché à sa configuration ou à sa répartition dans l'espace.

Cette tendance vers l'étude de l'état de la matière dans toute sa plénitude remonte aux méthodes de la thermodynamique d'une part, et à celles de la dynamique analytique de l'autre. Elle se faisait donc déjà sentir, mais ce n'est qu'avec la théorie des quanta qu'on est arrivé à porter son intérêt principalement sur l'état véritable et total de la matière et sur son évolution. Les questions qu'un expérimentateur peut poser actuellement à un théoricien sont de la forme suivante : « Si je prépare telle ou telle expérience avec des électrons, des ions, des atomes ou tout autre assemblage matériel, dites-moi quel est l'état dans lequel j'ai des chances de les trouver par l'observation ? »

En d'autres termes, il convient d'indiquer ce qu'on va faire avec des objets matériels, quelle opération pratique, expérimentale on va leur faire subir à partir d'un état connu, et il s'agit de prédire la probabilité qu'il y a de les trouver, une fois l'opération effectuée, dans tel autre état. Cette probabilité est distincte de celle dont je parlais à propos des phénomènes irréversibles.

Ici, il s'agit de l'évolution réversible de la matière, de son évolution microscopique, d'état en état, par petits sauts ou continûment selon le cas. Ces états et cette évolution, il s'agit de les faire ressortir d'une explication théorique générale, indépendamment des actions particulières qui les créent selon les circonstances et selon les assemblages de particules mis en jeu dans le phénomène étudié.

PLANCK, le premier, a fixé des états pareils; c'était à propos de l'émission et de l'absorption de l'énergie rayonnante par la matière. Ces états trouvèrent leur expression symbolique dans une constante appelée depuis la constante de PLANCK. EINSTEIN en a par la suite expliqué l'évolution d'une manière élémentaire.

BOHR, le second, a fixé les états de la matière dans certaines circonstances; c'était à propos de la formation des spectres de tous les atomes qui composent le système périodique des éléments. De nouveau, dans la théorie de BOHR, la constante de PLANCK jouait le même rôle que dans la théorie de PLANCK.

De là à généraliser il n'y avait qu'un pas. En principe c'était simple, en pratique il a fallu les efforts de SOMMERFELD, puis ceux d'un LOUIS DE BROGLIE, d'un SCHRÖDINGER, d'un HEISENBERG, d'un DIRAC et d'autres, pour obtenir une belle théorie des états de la matière et de son évolution microscopique. C'est la théorie des quanta.

A chaque phase, à chaque pas, en toute occasion et circonstance, cette théorie caractérise ces états et cette évolution par une mesure toujours la même, une constante qui est donc universelle; c'est la constante h de PLANCK ou *quantum d'action.*

C'est une constante constructive

Que la constante de PLANCK soit une constante constructive, cela ressort sans autre de ce que nous venons d'en dire. Ce n'est pas la caractéristique d'une action particulière entre certains corps, c'est un nouvel universel qui fixe les états microcosmiques de la matière.

Pour comprendre mieux encore la différence qu'il faut faire entre les constantes de nature constructive et celles qui caractérisent des interactions, nous allons, après avoir dans ce qui précède, cité les trois constantes constructives ou universaux k, c

et h, indiquer trois constantes d'interaction; ce seront la constante de la gravitation, celle de l'interaction électromagnétique et celle de l'interaction qui est responsable de la cohésion et la radioactivité des noyaux d'atomes.

Définition de la physique

La physique étudie l'action mutuelle des corps et l'évolution temporelle qui en résulte. Pour cette étude, elle a besoin de coordonner les résultats de l'expérience par une ou plusieurs théories. Cette ou ces théories sont faites de manière à admettre des lois d'interaction.

Il y a des interactions primaires et d'autres qui sont dérivées. Ainsi le frottement, la viscosité, la tension capillaire, l'élasticité, le choc dur, le choc mou dans les corps de dimensions courantes résultent tous d'une manière ou d'une autre de l'action électrique des corpuscules chargés constituant la matière, elles en dérivent, et l'action électrique, elle, est primaire.

La constante de la gravitation

L'action électrique est la plus répandue et la plus étudiée, mais non pas la plus anciennement connue parmi les actions primaires. Bien avant qu'on l'eût découverte, NEWTON trouva que l'évolution des corps célestes et des masses en général doit être attribuée à ce qu'il appela la gravitation, et pour la décrire, aidé peut-être par les recherches de GALILÉE sur la pesanteur, il eût recours à une constante d'interaction, la constante de la gravitation universelle.

La constante de Fermi

A côté des actions de nature électrique ou gravitationnelle, il doit exister une action mutuelle des corpuscules qui composent les noyaux d'atomes, afin que la cohésion aussi bien que la radioactivité de ces noyaux s'expliquent. Dans sa théorie des mystérieux neutrinos, FERMI a cherché à caractériser l'intensité de cette interaction par une constante qui porte maintenant son nom. Depuis, on s'est beaucoup occupé des noyaux; on a modifié la théorie; la théorie à la mode, aujourd'hui, c'est celle des mésons. On est loin

de l'époque où NEWTON trouvait une loi de gravitation dont l'exactitude devait braver deux siècles ! Quoi qu'il en soit, la constante de FERMI est restée, au cours du développement des théories sur les noyaux d'atomes, la caractéristique de cette interaction encore mal connue.

Constante caractéristique de l'interaction électrique

Pour en revenir à l'électricité, on peut s'attendre à ce que l'action mutuelle des charges électriques, aussi bien au repos qu'en mouvement, doive être caractérisée par une constante, comme la gravitation ou la cohésion et la radioactivité des noyaux le sont.

Or, ce n'est pas l'habitude de parler d'une telle constante dans les leçons de physique, si bien que même des physiciens exercés se demanderont peut-être pourquoi ils ne la connaissent pas. La faute en est à GAUSS, ou peut-être à COULOMB et à BIOT et SAVART, qui n'ont pas employé ou introduit de constante d'interaction électrique. On peut, en effet, se dispenser de l'introduire explicitement; mais en procédant ainsi, on cache la véritable nature de l'électricité en en faisant une notion purement mécanique. Cela est choquant, et c'est contre cette insuffisance que s'allient actuellement les efforts des spécialistes de l'électricité et des questions de mesures physiques; en Suisse aussi, on s'efforce d'obvier à ce défaut. Espérons qu'on arrivera bientôt à implanter dans la physique la notion indépendante et universelle d'électricité. Il y a plusieurs moyens de le faire. Quel que soit celui qu'on choisisse, par exemple dans un congrès international, on sera conduit en tous cas à l'introduction de certaines constantes caractéristiques de la propriété que possède le vide de laisser passer l'action électromagnétique, d'être en quelque sorte « transparent ». C'est pourquoi on parle volontiers de la constante diélectrique du vide et de la perméabilité magnétique du vide. Ces constantes ne sont pas indépendantes l'une de l'autre. L'une d'elles, ou toute combinaison peut servir de constante caractéristique de l'interaction électromagnétique.

Il serait erroné de vouloir faire résider l'intensité de l'interaction électrique dans le fait de la charge électrique elle-même; on lit quelquefois des propositions tendant à le faire croire. On

est même allé plus loin; sachant que tout phénomène traité par la théorie quantique de la radiation est caractérisé dans son intensité par la célèbre constante de la structure fine de SOMMERFELD[1], donc proportionnelle au carré de la charge e de l'électron, on dit que c'est la charge de l'électron qui caractérise l'interaction. Cependant c'est inexact de vouloir attribuer à la charge de l'électron le rôle de constante d'interaction, car, en réalité, comme l'a montré SOMMERFELD en 1935, l'expression de la constante de la structure fine doit contenir la constante diélectrique du vide, ε_0, dont nous venons de dire qu'elle caractérise, elle, l'intensité de l'interaction[2].

C'est la constante diélectrique du vide ε_0, ou la perméabilité de vide μ_0 qui caractérise l'interaction, ou encore, par exemple, la combinaison suivante :

$$\sqrt{\frac{\mu_0}{\varepsilon_0}} = R_0$$

qui a les dimensions d'une résistance, comme celle dont il est question dans la loi d'OHM.

Et maintenant, qu'est-ce alors que la charge de l'électron que nous venons de citer ? Est-ce une constante universelle ? Certes, c'est même un universel, comme nous allons le voir dans une association d'idées à première vue toute différente de ce qui vient d'être dit.

Unités et mesures universelles

Pour exprimer les relations de toute la physique, on a besoin de *cinq unités.*

Les unités c. g. s. (le centimètre, le gramme et la seconde) sont courantes, ce sont trois unités mécaniques conventionnelles qu'on pourrait facilement remplacer par exemple par le mètre, la

---

[1] On l'écrit généralement
$$\alpha = \frac{e^2}{\frac{h}{2\pi} c}$$

[2] L'expression correcte de la constante de la structure fine est la suivante :
$$\alpha = \frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0 \frac{h}{2\pi} c}$$

tonne et l'heure ou tout autre triplet qui n'a d'ailleurs pas besoin d'être composé d'une longueur, d'une masse et d'un temps; on pourrait choisir une énergie, une puissance, une vitesse...

A côté de trois unités mécaniques, il faut introduire une unité électrique. On ne le fait pas d'habitude, mais on a tort, car c'est absurde de vouloir faire de l'électricité une propriété mécanique des corps. Comme unité, on pourra prendre une charge, un courant, une résistance, ou tout ce que l'on voudra qui ait affaire avec l'électricité; le choix de cette unité sera toujours conventionnel.

Enfin, en plus de trois unités mécaniques et d'une unité électrique, on a besoin d'une unité thermique. On prétend quelquefois que la température est mesurée par l'énergie cinétique moyenne des gaz. C'est incorrect. C'est tout aussi absurde de vouloir intégrer la température à la mécanique en en faisant une énergie moyenne, que de vouloir intégrer l'électricité à la mécanique en faisant par exemple de la charge électrique la racine carrée d'un certain nombre d'erg. cm. Mais si nous devons choisir une unité thermique, nous ne sommes pas obligés de prendre la température pour le faire, nous pouvons choisir une autre propriété, par exemple la chaleur spécifique, ou la conductibilité thermique, ou le coefficient de dilatation thermique, ou l'entropie,...

Toutes les unités sont conventionnelles, il n'y en a point d'absolues. Mais peut-être serait-il « naturel » d'en choisir cinq qui soient plus fondamentales que toutes les autres, cinq qui soient mieux faites que toute autre pour situer les événements du monde physique, qui soient les mesures naturelles et non pas les mesures humaines de l'univers, cinq unités, mesures de la structure du microcosme comme du macrocosme, cinq mesures forgées pour qu'elles s'appliquent sans autre à la Nature, partout, toujours, en toute circonstance, bref *cinq universaux*.

Or, nous en possédons quatre : ce sont la vitesse de la lumière, le quantum d'action, l'élément d'entropie, et la charge de l'électron. Cette dernière, la charge de l'électron, est en effet un universel comme les trois premières, elle est la même en toute circonstance et ne décrit pas une interaction, mais résulte de notre manière de concevoir l'électricité, manière qui consiste à en construire toute la structure à partir d'une charge unique.

Cependant nous ne possédons actuellement que quatre universaux, et il nous en faudrait cinq pour les employer comme

unités naturelles. Afin de les compléter, on pourrait emprunter l'une des constantes d'interaction; c'est ce que faisait MAX PLANCK lorsque l'idée d'unités naturelles lui était venue pour la première fois. Mais ce serait maladroit de le faire dans le cadre de nos considérations actuelles, car, tout d'abord, laquelle des constantes d'interaction devrait-on prendre pour cela ? Ensuite il se pourrait qu'on découvre d'autres interactions; ainsi on estime depuis quelques années qu'il doit exister une interaction mystérieuse qui serait responsable de l'expansion de l'univers et qui serait caractérisée par une constante dite cosmique dont la valeur est fort imprécise. Enfin les constantes d'interaction n'ont pas le caractère d'unités de mesure. *Ce sont elles qu'il s'agit de mesurer,* afin de savoir avec quelle intensité les phénomènes de la Nature ont tendance à se développer.

Il faut donc dans ce but créer des mesures universelles, et puisque nous n'en avons que quatre, la question se pose : Quelle est la cinquième ?

Cette mesure, ce cinquième universel n'est pas encore connu, mais je ne doute pas qu'on le trouve. Tout ce que je puis en dire, c'est que je présume que ce sera une constante ayant soit le caractère d'une longueur d'univers, soit celui d'une pression ou, ce qui revient au même, une densité d'énergie, car ce sont là deux grandeurs physiques dont je puis affirmer qu'elles sont invariantes, c'est-à-dire les mêmes en toute circonstance de l'observation[1].

On trouvera vraisemblablement ce cinquième universel lorsqu'on sera parvenu à créer une nouvelle théorie plus raffinée encore que la théorie des quanta, plus apte à attaquer les problèmes de la physique nucléaire. Plusieurs savants déjà font converger leurs efforts dans cette direction. Souhaitons-leur tout le succès possible.

Lorsque ce cinquième universel sera à notre disposition, le cénacle sera complet, il ne manquera personne à l'organe qui, dans notre conseil supérieur, est chargé d'assurer le respect de la constitution fondamentale.

* * *

[1] Eventuellement un élément d'espace-temps, qui est un pseudoscalaire.

Mesdames, Messieurs,

Si la physique sert à des fins utilitaires, si elle permet de réaliser la construction d'appareils, de voir clair dans la marche des machines, de suivre le déroulement des phénomènes naturels, de nous familiariser avec le comportement de tout ce qui nous entoure, de photographier ce que l'œil ne voit pas, d'enregistrer ce que l'oreille n'entend pas, elle le fait avec une précision telle, elle l'exprime par des relations si exactes et si bien enchaînées, qu'elle nous conduit au delà du phénomène lui-même, qu'elle nous mène aux confins du règne de l'inanimé, à la frontière où se joignent matière et pensée.

Le long de la voie commune où la matière et la pensée se rencontrent dans les jugements des théories, la physique a placé des pierres milliaires, ce sont les constantes universelles.

Son analyse révèle un curieux développement.

La première phase de la physique, la mécanique de Newton, ne contient aucun universel; elle a reconnu l'existence d'une constante d'interaction primaire, celle de la gravitation, mais elle ne comporte aucune constante universelle pouvant servir d'unité naturelle.

La phase suivante est celle de la mécanique relativiste. Elle contient un universel, la vitesse de la lumière.

La troisième phase est celle de la théorie de l'électricité qui se sert, elle, de deux universaux, la vitesse de la lumière et la charge de l'électron.

La quatrième phase est la physique statistique, qui fait usage de trois universaux, la vitesse de la lumière, la charge de l'électron et l'élément d'entropie ou constante de Boltzmann.

La cinquième enfin ajoute à ces trois un quatrième universel, le quantum d'action ou constante de Planck.

Peut-être aurons-nous le privilège de voir éclore la sixième phase qui, comme j'ai tenté de le suggérer, devrait nous faire connaître une constante encore, pierre d'angle de l'édifice de la physique de l'avenir.