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: 131 (1951)

Rubrik: Eröffnungsrede des Jahrespräsidenten und Hauptvorträge

Nutzungsbedingungen

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

Conditions d'utilisation

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

Terms of use

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

Download PDF: 06.01.2026

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

A.

Wissenschaftlicher Teil

Eröffnungsrede des Jahrespräsidenten
und Hauptvorträge

Vorträge, gehalten in den Sektionssitzungen

Partie scientifique

Discours d'introduction du Président annuel
et Conférences principales

Communications faites aux séances de sections

Partita scientifica

Discorso inaugurale del Presidente annuale
e Conferenze principali

Comunicazioni fatte alle sedute delle sezioni

Leere Seite
Blank page
Page vide

Eröffnungsansprache des Jahrespräsidenten der S. N. G.

bei Anlaß der 131. Jahresversammlung in Luzern
29. September bis 1. Oktober 1951

Von

HERMANN GAMMA (Luzern)

Zur Uferflora der zentralschweizerischen Seen und zum Problem des Uferschutzes

Hochgeachtete Naturforscher!
Meine Damen und Herren!

Im Namen des Jahresvorstandes heiße ich Sie in der Stadt am Vierwaldstättersee recht herzlich willkommen. Trotzdem Luzern im Turnus der in Betracht fallenden Tagungsorte der S.N.G. seit etlichen Jahren fällig war, hätten wir gerne noch vier Jahre zugewartet. Denn 1955 begeht unsere Gesellschaft ihr Zentenarium, und solche Feiern eignen sich erfahrungsgemäß ganz besonders zur Einladung von lieben Freunden. Doch können Sie versichert sein, daß Ihre Anwesenheit uns heute nicht weniger lieb ist.

Zum sechsten Male beehren Sie uns mit Ihrem Besuche. Dreimal (1834, 1862, 1884) tagten Sie im letzten und heute nun das drittemal (1905, 1924) in diesem Jahrhundert in Luzern. Wenn ich die anwesenden Mitglieder und Gäste überblicke, stelle ich mit großer Freude fest, daß recht viele von Ihnen schon vor 27 Jahren an der denkwürdigen Oktobertagung von 1924 teilgenommen haben. Wie damals, so leben wir auch heute noch in einer ernsten Zeit großer weltpolitischer Gegensätze, die uns zur Selbstbesinnung mahnen.

Wir wollen daher nicht zusammenkommen, um ein Fest zu feiern, sondern um in gemeinsamer wissenschaftlicher Arbeit zu tagen und neue Anregungen für unsere Forschertätigkeit und Berufsarbeit zu holen. Ich darf aber auch bestimmt annehmen, daß die gegenwärtige Jahresversammlung neue freundschaftliche Beziehungen anbahne und die alten festige.

Alter Tradition gemäß kommt dem Jahrespräsidenten die ehrenvolle Aufgabe zu, beim Eröffnungsworte über ein naturgeschichtliches Thema seiner engern Heimat zu sprechen. Ich folge hier meinem hochverehrten Vorgänger, Prof. Dr. HANS BACHMANN, der 1924 über das Phytoplankton

der Schweizer Seen sprach, und führe Sie an die Gestade der zentralschweizerischen Seen, um hier auf die letzten Reste unberührter Natur, die makrophytische Uferflora und auf den immer dringender werdenden Ruf nach Schutz der Uferzone hinzuweisen. Sie werden es mir erlauben, den Vierwaldstättersee besonders zu berücksichtigen.

Die Ufer unserer Seen besitzen eine wohl charakterisierte Flora. Die Pflanzen leben hier in einem Medium, in welchem sich die physiologischen Prozesse zum Teil anders vollziehen als bei den Landpflanzen. Die Anforderungen an Bau, Blütengestaltung, Bestäubungsweise und Samenbildung gehen eigene Wege, besonders dann, wenn es sich um submerse Gewächse handelt.

Das Wasser ist im allgemeinen ein günstiges Medium für Hydrophyten. Daher treffen wir an den Ufern mit entsprechender Bodengestaltung eine lebhafte Vegetation, große submerse Wiesen, schwimmende Laubmassen und dichtes Röhricht. Die Mehrzahl unserer Wassergewächse zeigt eine sehr weite geographische Verbreitung, so daß wir in den zentralschweizerischen Seen immer wieder die gleichen Bestandestypen finden. Und doch stellt jeder See einen Organismus für sich dar, der nicht nur in der Zusammensetzung des Planktons eine Differenzierung aufweist, sondern auch in bezug auf die makrophytische Uferflora, die wir im folgenden miteinander betrachten wollen.

Die Ufervegetation verleiht dem See einen ausgeprägten Rahmen. Nichts ist reizvoller, als die Natur hier in ihrem eigenen Walten zu beobachten. Auf vielen Kahnfahrten und Uferwanderungen konnte ich das Werden und Vergehen, das Kämpfen, Siegen und Unterliegen der Hydrophyten verfolgen. Es würde zu weit führen, die gesamte Uferflora der Betrachtung zu unterstellen. Ich berücksichtige daher nur jene Gewächse, die wenigstens mit ihren Wurzeln dauernd vom Wasser überflutet sind. Diese ständig bespülten Pflanzen der Uferflora lassen sich zunächst in mehrere gut differenzierte Vegetationszonen einteilen, deren Vertreter wieder bestimmten Gesellschaften angehören, die in den zu besprechenden Seen in ähnlicher Reihenfolge und Artzusammensetzung wiederkehren. Unter einer *Vegetationszone* eines Sees verstehen wir (nach Baumann, 1911) denjenigen Pflanzengürtel, auf welchem die ihm eigentümlichen Pflanzengesellschaften vorzugsweise vorkommen und bis zu welchem sie noch vordringen können, ohne aber ausschließlich auf diese Zone beschränkt zu sein.

Wir beginnen landwärts mit der häufig und reichlich entwickelten *Schilf- und Binsenzone* oder dem *Röhricht*, das besonders den Mittellandseen ein charakteristisches Gepräge verleiht, wobei die Seebinse (Schoenoplectus lacustris[1]) im Vergleich zum Schilf (Phragmites communis) spärlicher vertreten ist und meistens nur seewärts angetroffen wird.

Die folgende Zone, die der *Seerosen* oder der *Schwimmblatt-Hydrophyten*, entwickelt sich am üppigsten zwischen 2 bis 4 m Tiefe. Ihre

---

[1] Nomenklatur nach A. Binz, Schul- und Exkursionsflora der Schweiz (6. Auflage, 1949).

Vertreter bevorzugen schilfumsäumte Buchten mit schlammigem Grund. Auch innerhalb dieser Zierde unserer Seen tritt recht häufig eine weitere Zonation auf, indem die weiße Seerose (Nymphaea alba) im Schutze der gelben Teichrose (Nuphar luteum) wächst.

Seewärts schließt sich der Gürtel jener Pflanzen an, die Stengel und Blätter dauernd unter Wasser halten, aber meist auftauchende Blüten besitzen. Es ist die *Potamogeton-* oder *Laichkrautzone*, die sich zwischen 2 und 6 m Tiefe ausbreitet.

In noch größeren Tiefen (im Vierwaldstättersee bis 20 m) treffen wir nur völlig submerse Formen, ausschließlich aus Kryptogamen bestehend. Nach der häufig teppichartig sich ausbreitenden Armleuchteralge wird sie die *Charazone* genannt.

Die *Assoziation* oder die Planzengesellschaft ist durch bestimmte floristische oder soziologische Merkmale gekennzeichnet, und das Vorhandensein von Charakterarten verrät eine gewisse Selbständigkeit. Sie durchbricht oft die entsprechende Zone, und wir können auch für die zentralschweizerischen Seen einheitliche Typen aufstellen.

Der Bestandestypus *Scirpeto-Phragmitetum* oder die *Röhrichtgesellschaft* bildet bei normalem Flachufer den Übergang zur eigentlichen Uferflora. Bei der meist starken Bestockung von Schilf und Binse treten nur wenige Begleitpflanzen in dieser Assoziation auf. Wo das Röhricht aber locker wächst, trifft man vermehrt Wasser- und Sumpfpflanzen an, die bei der Besprechung der einzelnen Seen Erwähnung finden. Die Begrenzung des Röhrichts ist verschieden gestaltet. Am flachen Strande bildet Schilf die Verbindung zur Sumpfvegetation. Beim Alluvionsufer können wir zwei Fälle unterscheiden: Entweder rückt Schilf geschlossen vom Lande her gegen den See vor und verliert sich allmählich, oder das Land ist schilffrei, und erst in einiger Entfernung bilden sich kompaktere Röhrichtbestände, die gegen die Tiefe plötzlich wie eine Wand abschließen. Am Erosionsufer nagen die Wellen vom Uferstreifen weg, so daß der See gewinnt; an Alluvionsufern dagegen dringt die Vegetation auf dem angeschwemmten Boden gegen den See vor, und der See verlandet. Die Seebinse zeigt ökologisch wie biologisch eine weitgehende Anpassung an das Wasserleben durch Ausbildung von grasartigen, submersen Blättern. Nicht selten beobachtet man auch inselartige Bestände, die als «Binsenböschen» bezeichnet werden.

Das Nupharetum oder die Seerosengesellschaft ist an den zentralschweizerischen Seen recht häufig vertreten und findet sich im Schutze der Binsen- und Schilfbestände in Tiefen von 1 bis 3 m. Als Nebentypen treten auf: das schwimmende Laichkraut (Potamogeton natans) und der ortswechselnde Knöterich (Polygonum amphibium).

Das *Potametum*, die *Laichkrautassoziation*, ist in einigen zentralschweizerischen Seen neben dem Phragmitetum die vorherrschende Pflanzengesellschaft der Uferflora und wird nach dem Häufigkeitsgrad durch folgende Arten charakterisiert: Potamogeton perfoliatus, lucens, pectinatus, crispus, mucronatus und pusillus. Gelegentlich treten hinzu:

Myriophyllum spicatum, besonders in stark eutrophierten Seen wie im Baldegger- und Zugersee. Das Potametum ist fast über das ganze Gebiet der litoralen Flora verbreitet, am häufigsten vom überschwemmten Hange von 1 m bis zur Halde in 6 m Tiefe. Überdies lassen sich in der Zentralschweiz auch zwei Subtypen unterscheiden, wie sie schon BAUMANN (1911) für den Untersee aufgestellt hat. Die obengenannten größeren Vertreter gehören zum *Magnopotametum* und die aus niedrigen Formen gebildete Pflanzengesellschaft zum *Parvopotametum*. Im Klein-Laichkrautrasen treffen wir: Potamogeton pusillus, P. pectinatus, P. perfoliatus f. densifolius und Zannichellia palustris var. tenuis. Die Kleinheit und Verborgenheit dieser Laichkrautgesellschaft bringt es mit sich, daß sie häufig übersehen wird.

Am weitesten seewärts dringt das *Characetum* vor, die Assoziation der Armleuchteralgen. Diese makrophytische Bodenalge findet sich in Tiefen bis über 10 m, wobei Chara ceratophylla als Kosmopolit zu bezeichnen ist, der in jeder Bodenart vom Ufer bis zur Tiefengrenze, im Schlamm-, Sand- und Kiesboden sich ansiedelt.

Von der kurzen Darstellung der Vegetationszonen und der Bestandestypen wenden wir uns der *Charakterisierung* der *einzelnen Seen der Zentralschweiz* zu. Die Individualität eines Gewässers läßt sich nach den Pflanzenbeständen nicht so treffend schildern, wie das für das Phytoplankton der Fall ist, das auf geringe chemische und physikalische Unterschiede reagiert. Die Standortsansprüche der makrophytischen Uferflora sind nur schwach fixiert, und die vegetative Vermehrung ermöglicht und begünstigt die Ansiedelung an den verschiedenartigsten Standorten. Gleichwohl möchte ich vorerst den vielarmigen Vierwaldstättersee und hernach die übrigen zentralschweizerischen Seen, wo die Standortsbedingungen in allen Übergängen und Modifikationen vorhanden sind, einer kurzen Charakterisierung unterziehen. Es kann sich in diesem gedrängten Rahmen nur darum handeln, die dominierenden Bestandteile der Pflanzengesellschaften zu erwähnen.

Der *Vierwaldstättersee* ist in bezug auf die höhere Wasservegetation ein Potamogetonsee mit mindestens 15 Arten dieser Gattung. Die Untersuchung der Makrophyten von BACHMANN, 1911 bis 1913, ROSHARDT und dem Sprechenden, 1932 bis 1934, sowie die Nachkontrolle 1951 erlauben interessante Einblicke in die Veränderung der Uferflora in einem Zeitraume von 40 Jahren. Die Sukzessionsentwicklung an der Verlandungszone unterliegt einer natürlichen und gesetzmäßigen Veränderung, die aber an den Ufern der zentralschweizerischen Seen für den Beobachter so langsam verläuft, daß innerhalb von einem halben Jahrhundert keine wesentlichen Unterschiede eintreten. Und doch sind einige Bestandestypen gerade im Vierwaldstättersee einem starken Wechsel unterworfen. In einem so belebten Gewässer, wie unser See eines ist, beobachtet man recht oft, wie große und kleine Bestände häufiger und auch seltener Arten auftreten und wieder verschwinden. Hierbei spielen die vegetative Vermehrung und die rasche Anpassung an die Stand-

ortsveränderungen eine bedeutende Rolle. Der Vergleich mit früheren Pflanzenbeständen weist zwar quantitativ keine wesentliche Zunahme in der gesamten Vegetationsmasse auf, wohl aber eine Verschiebung im Anteil an der Zonation.

Die reichlich vertretenen Arten zeigen seit 1911 in der Uferflora des Vierwaldstättersees folgende bemerkenswerte Veränderungen:

Potamogeton perfoliatus (das durchwachsene Laichkraut, im Volksmunde «Eglichrut» genannt) hat sich zum «Unkraut» vermehrt und muß vielenorts bei Bade- und Bootsanlagen als lästig «ausgekrautet» werden. Die auffallende Zunahme in den letzten Jahrzehnten hängt offenbar mit der vermehrten Verunreinigung des Wassers zusammen. Das beweisen deutlich die regelmäßig vorkommenden dichten Bestände vor den ausmündenden Kanalisationen. Potamogeton lucens (das leuchtende Laichkraut oder «Hechtechrut») tritt wie vor 40 Jahren in konstanten Beständen auf. Potamogeton pectinatus (das gekämmte Laichkraut) zeigt in der ersten Hälfte der Beobachtungszeit eine schwache Zunahme, in den letzten Jahrzehnten aber eine rapide Überwucherung selbst von Potamogeton perfoliatus-Beständen. Elodea canadensis (die Wasserpest) dürfte erst um die Jahrhundertwende im Vierwaldstättersee eingewandert sein. Sie zeigt recht interessante Schwankungen. Jahrelang kann sie direkt am Ufer, in dichten Böschen wachsend, beobachtet werden, verschwindet plötzlich an diesen Stellen und rückt in tiefere Zonen vor, wo sie mit Vorliebe von den Tauchenten und Bleßhühnern heraufgeholt wird. Elodea kann auch einige Jahre beinahe vollständig verschwinden und unvermutet wieder pestartig auftreten. Phragmites communis (Schilf) und Schoenoplectus lacustris (Seebinse) verschwinden überall dort, wo der Mensch eingreift. Aus ähnlichen Gründen sind die einst großen und zusammenhängenden üppigen Kolonien von Nuphar und Nymphaea (Seerosen) stark vermindert und in kleine Bestände aufgeteilt. Myriophyllum spicatum (das ährenblütige Tausendblatt) ist in allen Teilen des Vierwaldstättersees von den Laichkräutern zurückgedrängt.

Zu bemerkenswerten Arten, die nur in bestimmten Seeteilen vorkommen und zur Charakterisierung der einzelnen Seearme beitragen, gehören die Seerosen. Sie sind ausschließlich im äußeren See vertreten und gedeihen östlich der Linie Greppen-Stansstad nicht mehr. *Der Alpnachersee* ist gekennzeichnet durch das Auftreten von Potamogeton nodosus, P. decipiens[1] und P. coloratus. Der Küßnachtersee beherbergt Litorella uniflora und Ceratophyllum demersum und in diesem Jahre massenhaft Potamogeton mucronatus. Das Reußdelta und die angrenzenden Buchten von Flüelen und Seedorf beanspruchen für sich Potamogeton gramineus, P. nitens, blühende Elodea und die größte Charawiese des Vierwaldstättersees. Potamogeton helveticus dürfte im *Urner-*

---

[1] Die Bestimmung der kritischen Arten besorgte in verdankenswerter Weise Herr Prof. Dr. Walo Koch, Zürich.

see vertreten sein, da Spuren dieser nordischen Art 1913 von BACHMANN in Flüelen und 1933 vom Sprechenden bei Brunnen festgestellt wurden.

Bei der Uferflora der übrigen zentralschweizerischen Seen habe ich versucht, die Abundanz (Häufigkeitszahl) und die Dominanz (Deckungsgrad) gemeinsam zu schätzen und das Resultat nach folgender Skala hinter dem betreffenden Artnamen anzugeben (=«Menge» im weiteren Sinne).

(+) Individuenzahl gering und Deckungsgrad sehr schwach.
(1) An verschiedenen Stellen des Sees angetroffen, Deckungsgrad aber immer noch gering.
(2) Individuen zahlreich, bis ¼ der Fläche deckend.
(3) Individuen sehr zahlreich, die Fläche zur Hälfte deckend.
(4) Massenhaft vorkommend, die Fläche zu ¾ deckend.

Der Rotsee bei Luzern war in seiner Mikroflora und Mikrofauna bis 1911 in einem Zustande, in dem sich heute der Mauensee befindet. Seit 1911 weist er jedoch eine total andere Planktonzusammensetzung auf. Die Uferflora hingegen hat sich nicht so überraschend geändert und zeigt eine recht interessante Pflanzengesellschaft an den beiden Enden des Sees, das Phragmitetum mit Phragmites (4), Schoenoplectus (1), Cladium mariscus (+), Peucedanum palustre (1), Cicuta virosa (2), Acorus Calamus (1), Sagittaria sagittifolia (+), Epilobium hirsutum (1) und E. parviflorum (+). Das Nupharetum ist ebenfalls auf die beiden See-Enden beschränkt, und von dem Potametum sind nur wenige Arten zu finden: Potamogeton perfoliatus (1), P. lucens (+) und P. crispus (+). Vollständig submers lebt Najas marina (1), das Nixenkraut. In 2 m Tiefe ist der Boden in bezug auf die höheren Hydrophyten vollständig vegetationslos.

Der *Baldeggersee* zeigte schon vor 1880 eine starke Eutrophierung und das Auftreten der Burgunderblutalge (Oscillatoria rubescens). Der hierdurch schädigende Einfluß auf die Uferflora ist nicht ohne weiteres ersichtlich. Wer aber mit dem Boote in der Nähe des Ufers fährt, wird feststellen, daß die Zone des Potametums höchstens in 3 m Tiefe reicht. Darunter fehlen die zu erwartenden submersen Wiesen von Najas und Chara. Potamogeton perfoliatus (2), P. crispus (1), Myriophyllum spicatum (3), Ranunculus divaricatus (+) und Najas marina (1–2) sind die wenigen Vertreter der Potamogeton-Assoziation. Das Nupharetum hingegen gedeiht in allen Buchten reichlich mit Nymphaea alba (2) am West- und Nordufer und Nuphar luteum (3) auf der Ost- und Südseite. Seit zehn Jahren ist aber ein merklicher Rückgang dieser schönen Bestände zu konstatieren. In stark veralgten Buchten gelangen die Schwimmblätter und Blüten überhaupt nicht mehr zur Entwicklung. Die gelben Teichrosen vegetieren hier nur noch mit den salatähnlichen, submersen Blättern. Im Baldeggersee ist die Zone der Schwimmblattpflanzen noch bereichert durch Polygonum amphibium (1), Potamogeton natans (+), P. perfoliatus (1), Myriophyllum spicatum (1–2) und Najas marina (1).

Am besten ist das Phragmitetum und das Scirpetum ausgebildet mit Phragmites communis (4) und Schoenoplectus lacustris (1–2), beide meistens sehr dicht, so daß die Begleitpflanzen nur einen geringen Raum beanspruchen können. Wir finden hauptsächlich in diesem Bestandestypus Phalaris arundinacea (+), Sparganium erectum (1), Typha latifolia (1), T. angustifolia (+), Acorus Calamus (1–2), Ranunculus Lingua (1), Eleocharis acicularis (1), Equisetum palustre (1), Menyanthes trifoliata (+), Iris Pseudacorus (1), Polygonum amphibium (1), Senecio paludosus (1), Mentha aquatica (1) und Carex stricta (1).

Es ist zu bedauern, daß gerade im Baldeggersee, der dem Schweizerischen Bund für Naturschutz gehört, von der üppig zu erwartenden Uferflora das Potametum am Absterben ist und das Nupharetum merklich unter der Eutrophierung leidet. Der erste und dringende Schritt zur Sanierung sollte darin bestehen, daß Fabrikbetriebe und Mostereien von der Aufgabe um die Aufarbeitung ihrer Abwässer, die in den See oder seine Zuflüsse laufen, nicht enthoben werden.

Der Sempachersee, in ähnlicher geographischer und klimatischer Lage wie der Baldeggersee, zeigt eine wesentlich bessere Ufervegetation. Außer dem Scirpeto-Phragmitetum ist an einigen Stellen bei Mariazell ein ausgeprägtes Cariceto-Phragmitetum mit folgenden Bestandestypen vertreten: Phragmites (4), Schoenoplectus (1), Carices (2), Cladium Mariscus (1), Mentha aquatica (1), Lysimachia thyrsiflora! (1), Acorus Calamus (1) und Dryopteris Thelypteris (1). Die Schilfbestände sind am Sempachersee dichter und kräftiger als am Baldeggersee. Das Nupharetum besitzt neben Nuphar luteum (3) und Nymphaea alba (1–2) am Ostufer noch die bemerkenswerte Art Nuphar pumilum (+). Im Potametum trifft man vermehrt große unterseeische Wiesen von Najas marina (4). Prof. Heuscher berichtet, daß 1895 im Sempachersee noch keine Potamogetonarten festgestellt wurden. In den letzten 20 Jahren haben dieselben merklich zugenommen. Das Magnopotametum ist mit folgenden Arten besetzt: Potamogeton perfoliatus (2–3), P. crispus (1), P. lucens (1), P. pectinatus (1), P. pusillus (–1), Myriophyllum spicatum (2), M. verticillatum (+) und Najas marina (3). Das Parvopotametum, besonders am Nordende des Sees ausgebildet, besitzt feine Rasen von Zannichellia palustris var. tenuis (3), Potamogeton pectinatus (2), P. perfoliatus f. densifolius (2), Myriophyllum spicatum (1) und Eleocharis acicularis (1). Ceratophyllum demersum fand ich in den letzten 20 Jahren ausschließlich in einer Nordwestbucht vergesellschaftet mit Potamogeton perfoliatus und Myriophyllum spicatum. Das Characetum dringt bis in 10 m Tiefe vor.

Der Sempachersee ist in bezug auf die Uferflora in der besten Entwicklung. Er ist der See des Schilfes und der großen submersen Najaswiesen.

Der Mauensee ist geradezu ein Musterbeispiel der gut ausgebildeten Zonation. Auf den dichten Schilfgürtel (4) folgt die dunkelgrüne Seebinse (2), an vielen Stellen durch Cladium Mariscus (2) ersetzt. Lückenlos

schließen sich vorerst die weißen Seerosen und seewärts die gelben Teichrosen an. Im Phragmiteto-Caricetum sind erwähnenswerte Pflanzenarten: Acorus Calamus (1–2), Lysimachia thyrsiflora! (1), Menyanthes trifoliata (2) und Ranunculus Lingua (1). Das Nupharetum mit den Hauptvertretern Nymphaea (3) und Nuphar (4) besitzt als Begleitpflanzen Menyanthes trifoliata (1), Potamogeton natans (1) und Polygonum amphibium (+). Das Potametum hingegen ist sehr schwach ausgebildet mit Potamogeton perfoliatus (1–2), P. crispus (+), Myriophyllum verticillatum (+) und M. spicatum (1–2). Der See hat das Gepräge eines sauberen Gewässers. Die bräunliche Farbe ist mehr auf das massenhafte Auftreten von Diatomeen Asterionella, Synedra und Cyclotella) zurückzuführen (Bachmann, 1924).

Im *Egolzwilersee* ist an Stelle des zu erwartenden Phragmitetums ein Cariceto-Scirpetum ausgebildet mit Schoenoplectus lacustris (2), Typha latifolia (1), T. angustifolia (2), Iris Pseudacorus (2), Cicuta virosa (1–2) und weiteren Vertretern wie am Rotsee. Nymphaea kommt auch außerhalb von Nuphar vor, weil offenbar hier der Wellenschlag bei einem so kleinen See keine Rolle spielt. Die Uferlänge beträgt nur 820 m. Anstelle eines Potametums hat sich ein ausgesprochenes Ceratophylletum mit Ceratophyllum demersum (4) ausgebildet, das oft die Seerosenbestände auf weite Strecken überflutet.

Der *Soppensee* zeigt eine große Ähnlichkeit in der Uferflora mit dem Mauensee. Das Phragmitetum ist aber wesentlich lockerer und ermöglicht eine artenreiche Assoziation mit Phragmites (4), Schoenoplectus (2), Typha latifolia (1), T. angustifolia (+), Carices (2), Equisetum palustre (1), Cladium Mariscus (2–3), Menyanthes trifoliata (2), Ranunculus Lingua (1–2), Mentha aquatica (1–2), Cicuta virosa (1), Dryopteris Thelypteris (1), Iris Pseudacorus (1), Sparganium erectum (1), Acorus Calamus (1), Lemna minor (+) und Chara spec. (1). Anstelle des Potametums besitzt der Soppensee ein Myriophylletum, vertreten durch Myriophyllum spicatum (3–4), M. verticillatum (+), Potamogeton perfoliatus (1) und P. lucens (1).

Der raschen Verlandung ausgesetzt ist der nur 780 m Umfang messende *Tutensee*. Seine Tiefe beträgt noch 5 m. Die Zuflüsse und die Verlandung durch die Uferflora schaffen hier sehr emsig am Verschwinden dieses Sees. Phragmites mit Phalaris und Schoenoplectus bilden das breite Röhricht, Nuphar und Polygonum amphibium die Zone der Schwimmblattpflanzen. Myriophyllum spicatum und Utricularia vertreten die Submersen.

Von Luzern wenden wir uns vorerst den Obwaldner Seen zu.

Die Ufer des *Sarnersees* besitzen ein dichtes Scirpeto-Phragmitetum mit Phragmites (4), Schoenoplectus lacustris (2) und Sch. Tabernaemontani (+). Die zahlreichen Deltas der Wildbäche, Boots- und Badeanlagen, Quaimauern und besonders der Damm für die Brünigbahn schlugen herbe Lücken in das einst wohl geschlossene Röhricht. Das Nupharetum ist daher ebenfalls in kleine Einzelbestände von Nuphar

(2–3) und Nymphaea (2) aufgeteilt. In der Laichkrautgesellschaft überwiegt Potamogeton perfoliatus (2–3) und ist begleitet von P. pectinatus (2–), P. crispus (1), P. pusillus (+), Elodea canadensis (1), Myriophyllum spicatum (1–2), M. verticillatum (+) und Najas marina (1). Das Potametum dringt bis in 6 m Tiefe vor, das Characetum dürfte im Sarnersee sogar 15 m Tiefe erreichen.

Der *Lungernsee* erscheint vom Juli bis September als natürlicher Bergsee, doch vermißt man hier die Uferflora. Obgleich dieser Stausee eine Spiegelschwankung von 30 m aufweist, ist durchaus möglich, an geeigneten Stellen eine Röhrichtzone zu schaffen. Die Bemühungen hiefür dürften schon aus ästhetischen Gründen nicht gescheut werden; erste Versuche sind befriedigend ausgefallen. Selbst die Ansiedelung eines Nupharetums und Potametums ist nicht ausgeschlossen, da während der Hauptvegetationszeit die in Betracht fallenden Uferstreifen besonders bei Lungern vom Wasser überflutet bleiben. So fand ich im August dieses Jahres beim Eibach in 4 m Tiefe völlig submers einen Bestand von Potamogeton nodosus und unweit davon eine an der Oberfläche reich blühende und fruchtende Kolonie von P. perfoliatus.

Im Kanton Uri besitzt nur der 1410 m hoch liegende *Golzernsee* im Maderanertal eine bemerkenswerte Ufervegetation. Anstelle des Phragmitetums ist ein ausgesprochenes Magnocaricetum mit Carex elata, C. gracilis, C. canescens und C. fusca ausgebildet (Carices 2–3). Vergesellschaftet sind diese Seggen mit Menyanthes trifoliata (2), Equisetum palustre et limosum (1), Eriophorum vaginatum (1) und Phragmites communis (1–2). Das anschließende Potametum wird durch große Bestände von Potamogeton alpinus gebildet (4).

Von den Schwyzer Seen berücksichtigte ich den Lauerzer- und den Sihlsee.

Der idyllische *Lauerzersee* besitzt bis an die felsigen Ufer im Süden ein zusammenhängendes Röhricht mit Phragmites (4), Schoenoplectus (2–3), letztere in dichten Beständen vor dem Schilfe oder als Binsenböschen und submerse Wiesen der f. graminifolius ausgebildet. Vergesellschaftet ist im Phragmitetum Phalaris arundinacea (1), Typha latifolia (1), T. angustifolia (1), Sparganium ramosum (1), Carex elata (1), Eleocharis acicularis (+), Equisetum palustre (1) und Menyanthes trifoliata (1). Das Nupharetum füllt regelmäßig die Buchten aus, wobei Nymphaea (2) vorzugsweise die schilfnahen Standorte beansprucht, während Nuphar luteum (3) sich gegen die Halde hinzieht. An zwei Stellen traf ich auch Nuphar pumilum (+) an. Das Potametum zieht sich meistens tief in die Seerosenzone hinein und besteht aus folgenden Bestandestypen: Potamogeton lucens (3–4), P. perfoliatus (2), P. natans (1), P. pectinatus (1–2), P. pusillus (1), Myriophyllum spicatum (1), Ranunculus circinatus (+). Beim Steiner-Aa-Delta ist überdies ein gut ausgebildetes Parvopotametum mit Zannichellia palustris (–2), Potamogeton pectinatus (2), P. perfoliatus f. densifolius (1–2), Najas marina (1–2), Schoenoplectus lacustris f. graminifolius (1) und Chara spec. (1).

Das Characetum mit diversen Armleuchteralgen (2–3) besitzt als häufiger Begleiter Najas marina (3–4) und Nitella syncarpa (1). Massenhaft wird das Nixenkraut, das von den Fischern «Dörnlichrut» genannt wird, an das Ufer geschwemmt. Der Lauerzersee ist der See des Schilfes, des glänzenden Laichenkrautes und des Nixenkrautes.

Der Sihlsee nimmt wie der Lungernsee eine Sonderstellung ein, weil die Uferbänke für die Hydrophyten nur 2–3 Monate überflutet bleiben. Aber diese Zeit genügt, um eine üppige Uferflora zu ermöglichen. Durch die Zersetzung der überschwemmten Landvegetation trat eine Eutrophierung ein, die in der Massenentwicklung eines Potametums ihren Ausdruck findet. Die Laichkrautarten sind vertreten durch Potamogeton lucens (4), P. gramineus (1–2), P. lucens × gramineus (3), P. pectinatus (3), P. pusillus (2) und P. natans (+). Das glänzende Laichkraut befindet sich bei Hochwasser in 5 bis 6 m Tiefe. Prof. Jaag und Coelestin Merkt fanden ein Exemplar von 9½ m Länge. An seichten Stellen zeigt Ranunculus trichophyllus (3–4) eine außerordentlich starke Entwicklung und dringt bis in 3 m Tiefe vor. Im Juli bilden diese Hahnenfußfelder mit dem schneeweißen Blütenmeer einen prächtigen Anblick. Selten tritt auch Ranunculus aquatilis (+) mit Schwimmblättern auf, ferner R. Flammula (1) als submerse Form und Alisma Plantago aquatica (1). Wo das Phragmitetum der Riedwiesen an den See grenzt, wie südlich des Großbachdeltas, dringt es gegen die Uferbank vor und steht heute schon in 2 m Tiefe. An einigen Stellen, besonders am Nordwestende des Sees, zeigt angepflanztes Schilf prächtige Ansätze zu einer Röhrichtgesellschaft, begleitet von Carices, Phalaris, Alisma, Utricularia, Myosotis- und Veronica-Arten.

So sehr der *Zugersee* in den letzten Jahren wegen der starken Verunreinigung in Diskussion stand, ist in seiner Uferflora seit den Aufnahmen von Brutschy (1912) bis heute keine bemerkenswerte Veränderung eingetreten. Der obere Teil (gegen Arth) kann als Scirpetum-, der untere als Phragmitetumsee bezeichnet werden. Das Nupharetum ist überall in die Buchten zurückgedrängt und leidet unter dem starken Bootsverkehr, die Bestände zwischen Cham und Zug auch unter der zunehmenden Veralgung (Oscillatoria). Als Schwimmblattpflanzen gesellen sich zu Nuphar (2–3) Numphaea (1–2), Potamogeton natans (+) und Polygonum amphibium (+). Potamogeton perfoliatus ist der Repräsentant des Potametums und wird wie ein Unkraut um den ganzen See angetroffen, besonders bei Boots- und Badeanlagen und bei Kanalisationen. Die dichten Wiesen des durchwachsenen Laichkrautes haben, wie die Bestandesaufnahmen von 1939 und 1951 zeigen, an Ausbreitung zugenommen, auf Kosten von Potamogeton lucens (1–2), P. crispus (1), P. pusillus (1), Ranunculus trichophyllus (1) und R. circinatus (+). Aber auch Potamogeton pectinatus und Myriophyllum ist heute häufiger vertreten. Das vielfach übersehene Parvopotametum, besonders in den seichten Buchten zwischen Cham und Zug, wird repräsentiert durch Zannichellia palustris var. tenuis (2), Potamogeton perfoliatus

f. densifolius (2) und P. pectinatus (1–2). Die ehemals großen, völlig submersen Wiesen von Najas und Chara sind infolge von Sauerstoff- und Lichtmangel auf die weniger tiefen Uferbänke angewiesen. Chara ceratophylla dürfte beispielsweise kaum tiefer als 10 m und das Nixenkraut höchstens in 5 m Tiefe vegetieren.

Obwohl der *Ägerisee* 728 m hoch liegt, hat er in bezug auf die Uferflora noch den Charakter eines Mittellandsees. Das Scirpeto-Phragmitetum mit Phragmites (4) und Schoenoplectus (2) besitzt eine reiche Begleitflora von Phalaris arundinacea, Acorus Calamus, Iris Pseudacorus, Sparganium eretum und Ranunculus Lingua. Das Nupharetum ist in einigen Buchten durch prächtige Bestände von Nymphaea (1–2), Nuphar luteum (2) und die seltene Art Nuphar pumilum (+) vertreten. Überdies trifft man in den Seerosenbeständen: Potamogeton natans (1), Polygonum amphibium (1) und Menyanthes trifoliata (+). In der Laichkrautgesellschaft, repräsentiert durch Potamogeton perfoliatus (2), P. lucens (1–2), P. pectinatus (1), P. pusillus (+) und P. alpinus (+), überwiegt Myriophyllum spicatum (3).

Zusammenfassend läßt sich für die zentralschweizerischen Seen in bezug auf die Uferflora folgendes Schema aufstellen:

1. Seetypus mit vollständiger Zonation: Röhricht-Schwimmblattpflanzen und Submerse, z. B. Vierwaldstättersee (äußerer Teil), Sempachersee, Mauensee, Soppensee, Egolzwilersee, Sarnersee, Lauerzersee, Zugersee und Ägerisee.
   a) Subtypus mit Schilf-Binsen, Seerosen, Laichkraut-Nixenkraut, Chara, z. B. Vierwaldstättersee, Sempachersee und Sarnersee.
   b) Subtypus mit Schilf-Binsen oder Sumpfriet (Cladium), Seerosen, Tausendblatt-Hornblatt, z. B. Mauensee, Soppensee, Egolzwilersee und Zugersee.
2. Seetypus ohne submerse Zone, z. B. Rotsee, Baldeggersee, Tutensee und Lungernsee.
3. Seetypus nur mit Submersen: Vierwaldstättersee (innerer Teil exklusive die Delta) und Sihlsee.

Überblicken wir die Uferflora der zentralschweizerischen Seen, so dürfen wir uns freuen, daß noch an vielen Stellen die unberührte Natur waltet. Wer aber über eine Periode von Jahrzehnten Vergleiche zieht, muß feststellen, daß ebenfalls zahlreiche schönster Uferstellen durch gewaltsame Veränderungen und Einbußen verloren gingen. Daher ist es angezeigt, daß wir uns noch dem Problem des Uferschutzes zuwenden.

Eine unberührte Uferflora ist nicht nur die Forderung des Natur- und Heimatschutzes, sondern im vermehrten Maße auch der Biologie. Sie ist die Voraussetzung für ein sauberes, in vielseitiger Beziehung nutzbares Gewässer. Aber auch an den zentralschweizerischen Seen zeigen sich tiefgreifende Veränderungen in der von der Kultur berührten Uferflora. Das Röhricht und die Seerosenbestände werden bedroht von den Maßnahmen der Menschen. Die Submersen unterliegen den chemischen Veränderungen des Wassers. Die Pflanzenwelt an der Übergangs-

zone vom Land zum Wasser hat es schwer genug, gegen die wechselnden Bedingungen zu kämpfen; gestalten wir ihr Dasein nicht schwieriger, sondern unterstützen wir sie in ihren Ansprüchen!

Die Schläfli-Stiftung der S.N.G. war vor fünf Jahren bei der Aufstellung einer Preisfrage «Die Schilfbestände der Schweizer Seen» gut beraten, ist doch der Rückgang des Röhrichts eine allgemeine Erscheinung, obwohl Schilf eine sehr vitale Art darstellt. Wo die Standortsverhältnisse es gestatten und der Mensch sie nicht gewaltsam zurückdrängt und ausrottet, dringen Schilf und Binse auch heute noch aktiv vor. Die kräftigen, dichten Bestände wirken als Schlammfänger und Bodenbefestiger; sie können den Schutz einer Mauer ersetzen und die durch Unterspülung zerstörende Wirkung der Wellen aufhalten. Das rasche Wachstum resorbiert die reichlichen Nährstoffe der oft stark gedüngten Uferwiesen, die sonst in das offene Wasser gelangen würden. Das Röhricht ist geradezu ein Filter und hilft mit zu einer mechanischen und biologischen Reinigung. Daher sollten detritusreiche, schilflose Uferstellen neu mit Röhricht besetzt werden. Derartige Versuche am Vierwaldstättersee haben gezeigt, daß die Anpflanzung auf kiesigem Grunde besser gelingt als im schlammigen Boden. Über den Rückgang des Schilfes geben genaue Messungen im Küßnachtersee Aufschluß. Bei einer Uferlinie von 16 km wies er 1931 eine Schilfzone von 7 km auf. Heute sind es aber nur noch 5,45 km. Dieser Verlust von 1½ km innerhalb von 20 Jahren mahnt zur Vorsicht. Wenn die Abnahme derart weitergeht, sind in 50 Jahren am einst schilfreichsten Arm des Vierwaldstättersees die Röhrichtbestände am Aussterben.

Noch stärkere Einbuße erleidet das Nupharetum, die Zierde unserer Seen. Die zerstörende Wirkung der hineinfahrenden Boote und der vernichtende Einfluß der zunehmenden Veralgung sind offensichtlich. Hier sind es faulende Oscillatorienrasen (Rotsee, Baldeggersee, Zugersee), welche die Seerosenblätter zum Absterben bringen, dort überwuchern Cladophora glommerata und Spirogyren (Küßnachtersee) und hindern die Rhizome an der Entwicklung. In derartig verunreinigten Buchten vermag zwar Nuphar eine Zeitlang, ohne Schwimmblätter und Blüten zu bilden, nur mit salatähnlichen, weichen Wasserblättern zu vegetieren. Wo aber dieser Zustand jahrelang anhält, wie z. B. im Baldegger-, Rot- und Zugersee, verschwinden auch die submersen Seerosenwiesen. An solchen Stellen gedeihen überhaupt keine Makrophyten mehr.

Auch das Potametum wird vom schädigenden Einfluß des Gewässers nicht geschont. Licht- und Sauerstoffmangel zwingen die höheren Wasserpflanzen, sich von der Halde, wo sie sonst vorzugsweise gedeihen (3 bis 5 m Tiefe), auf die weniger tiefen Uferbänke zurückzuziehen.

Selbst das über 10 m tief reichende Characetum ist nicht vor der Vernichtung geschützt. Viele Hundert Tonnen Kehricht und Bauschutt werden jedes Jahr von den Ufergemeinden in den See geworfen, als wäre die Wasserfläche der größte Feind des Menschen. Der See hat nicht mehr die Kraft, sich selbst zu reinigen. Die kranke Region steigt vom

Grunde immer weiter hinauf und erfaßt auch das Characetum und Potametum. So sind die häufigen Veränderungen der Pflanzenbestände an den zentralschweizerischen Seen meistens nicht eine natürliche Sukzession, sondern eine Krankheitserscheinung. Hierzu rechne ich das massenhafte Auftreten von Potamogeton perfoliatus, P. pectinatus und Myriophyllum spicatum, die bei einmündenden Kanalisationen und außerhalb von Deponien oft dichte Bestände bilden.

Es ist zweifellos eine große und schwierige Aufgabe, die schädlichen Einwirkungen zu regulieren oder gar zu beseitigen. Lebensnotwendige Eingriffe in der Uferzone wie Baggerungen zur Kiesgewinnung, Errichtung von Boots-, Badeanlagen und Uferstraßen sind heute an Seen, die nicht dem Naturschutze unterstellt sind, kaum zu vermeiden. Wo eine Röhrichtzone das natürliche Übergangsglied von den Ufermatten zum See bildet, wirken künstliche Auffüllungen und Uferbauten stets nachteilig auf die Biologie des Gewässers.

So wurden in der Zentralschweiz seit Jahrzehnten immer wieder Stimmen laut, die nach dem Schutz der letzten Reste unberührter Natur an unseren Ufern riefen. Schon vor 30 Jahren kämpften der Obmann des innerschweizerischen Heimatschutzes, Wilhelm Amrein, und Professor Bachmann mit Erfolg gegen die Verwendung des Sempachersees als Staubecken. Durch die Verordnung des Regierungsrates des Kantons Luzern vom 18. Dezember 1944 ist das Ufer dieses einst so gefährdeten Sees durch folgende Bestimmungen der willkürlichen Beanspruchung entzogen: «Der Sempachersee und seine Ufer werden zur Erhaltung der landschaftlichen Schönheit als geschütztes Gebiet erklärt. Alle Bauten und Anlagen am Ufergelände in einer Entfernung von weniger als 100 m vom Seeufer bedürfen vor Erteilung der ordentlichen Baubewilligung durch den Gemeinderat einer Bewilligung des kantonalen Baudepartementes. Der gleichen Bewilligung bedarf das Beseitigen von Bäumen und Gebüschgruppen und dergleichen unmittelbar am See. Die Ablagerung von Schutt, Kehrichtabfällen usw. auf Seegebiet und die Einleitung ungenügend gereinigter Abwässer in den See oder in seine Zuflüsse sind verboten. Für Bauten und Ablagen, welche Seegebiet in Anspruch nehmen oder die von der Seegrenze den gesetzlichen Grenzabstand nicht einhalten, für die Inanspruchnahme des Schilfgürtels für die Ausfahrt aus einem Bootshaus, für die Einleitung von Seewasser in einen Bootshafen sowie für das Aushauen von Schilflücken bedarf es einer Konzession und für das Abschneiden von Schilf und Binsen einer Bewilligung des Regierungsrates. Die zuständige kantonale Behörde fällt ihren Entscheid in der Regel nach Anhörung von Vertretern des Heimat- und Naturschutzes.»

Auch der Kanton Zug hat am 23. Februar 1946 ähnliche Bestimmungen getroffen: «Der Zuger- und der Ägerisee und deren Ufer werden als geschützte Gebiete erklärt. Der Pflanzengürtel steht unter dem Schutze des Kantons. Die Forstdirektion kann das Abschneiden von Schilf unter schützenden Bedingungen bewilligen. In den Schutzzonen

dürfen keine neuen Bauten errichtet, bestehende nur mit Bewilligung des Regierungsrates verändert werden.»

Möchten derartige gesetzliche Bestimmungen, welche die Reinhaltung der Gewässer und den Schutz der Uferflora garantieren, auch allen andern Seen der Zentralschweiz zugute kommen.

Gemeindebehörden und kantonale Regierungen erhielten in den letzten Jahren wiederholt in Belangen des Uferschutzes bei der höchsten Gerichtsbarkeit, dem Bundesgericht, Unterstützung. Diesbezügliche Entscheide bewiesen, daß das Recht der Allgemeinheit an der ungeschmälerten Erhaltung unserer Seeufer stärker ist als die zufälligen Wünsche der Grundeigentümer, die oft wenig zum Schutze der Uferflora beitragen.

Leider sind Uferschutzvereinigungen, die sonst am besten Gelegenheit hätten, die kantonalen Bestimmungen tatkräftig zu unterstützen, nicht immer stark genug und erliegen den Sonderinteressen einiger Uferbewohner. Die Aufgabe einer Uferschutzvereinigung würde darin bestehen, die Uferflora und die Reinhaltung des Gewässers zu überwachen und so die biologische (tierische und pflanzliche) Eigenart zu erhalten und im natürlichen Zustande zu fördern. Diese Ziele werden nicht nur durch Gesetzesbestimmungen erreicht, sondern auch durch Aufklärung und Werbearbeit, die am wirkungsvollsten von lokalen Naturschutzvereinigungen ausgehen müßten.

Die Naturschutzbewegung wünscht daher mit Recht, daß nicht mehr als dringend notwendig von der natürlichen Uferzone vermauert werde und daß man der stark reduzierten Seeflora, besonders dem Röhricht und den Seerosen, wo es sich zwanglos gestalten läßt, Gelegenheit zur Ansiedlung und Ausbreitung gibt. Damit wäre auch in weitgehendem Maße der Seefauna gedient. Je weiter die technischen Errungenschaften die Welt durchdringen, desto mehr müssen wir erkennen, daß wir uns nirgends gegen die Natur stellen dürfen, hingegen größte Erfolge erzielen, wenn wir mit ihr gehen.

Schutz der Uferflora ist zwar nur ein Teil des großen Programmes: Schutz der Gewässer. Aber er ist wesentlich und dürfte noch mehr berücksichtigt werden. Die gesunden Gewässer, bedingt durch eine natürliche Uferflora, sind im Haushalte der Natur eine Lebensnotwendigkeit wie die Wälder der Hänge und die Kornfelder der Talflächen.

Es gilt daher, den Kampf um die Erhaltung der Uferflora mit aller Energie weiterzuführen. Wir müssen den Sinn für das Naturwalten, die Ehrfurcht vor unberührter Ursprünglichkeit und Schönheit lebendig erhalten, um die letzten Reste natürlicher Entwicklung zu retten.

Nur durch verständnisvolle Zusammenarbeit von Technik und Limnologie ist es möglich, daß die Makrophyten eines Sees, die doch der Landschaft zur Zierde und dem Menschen zum Nutzen gereichen, auch weiterhin ihre Aufgabe erfüllen können.

Möge diese Jahresversammlung mit den wissenschaftlichen Darbietungen und Diskussionen wie ein nährender Strom allen 16 hier ver-

tretenen naturwissenschaftlichen Gesellschaften zugute kommen. Das reiche Programm der Tagung mit den Hauptvorträgen, den Parallelveranstaltungen, den 200 Kurzberichten, den Besichtigungen und Exkursionen ist geeignet, die verschiedensten Forschungsgebiete zu fördern. Auch der wissenschaftlichen Zusammenarbeit mit dem Auslande ist Rechnung getragen, indem mehrere Hauptvorträge und über ein Dutzend Sektionsreferate prominenter ausländischer Gäste diesem geistigen Austausch dienen. Dies scheint mir für die Entwicklung der eigenen Forschung von lebenswichtiger Bedeutung.

So mögen Sie, meine sehr verehrten Damen und Herren, den kommenden Stunden und Tagen entgegengehen mit dem Willen, die Früchte ihrer wissenschaftlichen Arbeit vor uns auszubreiten. Wir alle aber wollen das Dargebotene zur Bereicherung unserer Kenntnisse dankbar entgegennehmen. Mit diesem Wunsche eröffne ich die 131. Jahresversammlung der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft.

Les grandes gerbes atmosphériques des rayons cosmiques

Par

PIERRE AUGER (Paris)

Le titre par lequel cette conférence est annoncée peut paraître bien spécialisé puisqu'il ne mentionne qu'un seul des aspects de cette nouvelle branche de la physique corpusculaire qui porte le nom prestigieux et romantique de rayons cosmiques. Je m'en voudrais pourtant de ne vous entretenir que d'un sujet aussi étroit, quelle que soit son importance, et je me permettrai de développer à ce propos des considérations plus générales, sur les rayons cosmiques eux-mêmes, et sur divers aspects de méthodologie scientifique dont leur histoire fournit des exemples particulièrement frappants.

Ainsi dans l'origine même de ces études on peut déjà trouver un enseignement. On peut en placer le début en 1900 lorsque ELSTER et GEITEL ainsi que CTR. WILSON montrèrent l'existence d'une conductibilité électrique incoercible dans les gaz de leurs électromètres. On savait déjà à cette époque, qui paraît bien reculée aux physiciens nucléaires d'aujourd'hui, que les ions étaient les responsables nécessaires de toute conduction électrique dans les gaz. Il fallait donc trouver une cause continuelle de production d'ions, et le premier mouvement tendait à attribuer au gaz lui-même cette production qui devenait ainsi «spontanée». Mais la spontanéité n'a pas de chance dans le domaine scientifique, qu'il s'agisse de génération ou d'ionisation. Bientôt il fut démontré que la cause était extérieure, et qu'il fallait en chercher l'origine première au-delà de l'atmosphère.

Cette cause extérieure, une fois reconnue son existence à la suite des travaux de GOCKEL, de HESS, de KOLHÖRSTER, fut étudiée par des chercheurs de plus en plus nombreux, répartis dans le monde entier. Ils utilisèrent successivement, et aussi simultanément, les diverses techniques de la physique corpusculaire, les chambres d'ionisation, les compteurs de GEIGER-MULLER, les chambres à détente avec ou sans champs magnétiques, les plaques photographiques. Il est intéressant de remarquer que toutes ces techniques existaient à la fin de la première guerre mondiale, et qu'il ne restait qu'à les améliorer et les utiliser dans les conditions optima. Mais aussi à chaque nouveau perfectionnement, à chaque nouveau groupement ou changement de condition d'utilisation

a correspondu une découverte amenant un progrès souvent décisif. Peut-être y a-t-il là aussi un enseignement important à tirer des faits historiques. Bien se servir des outils que nous possédons déjà est quelquefois plus essentiel que de tenter désespérément d'en inventer de tout nouveaux. Nous aurons l'occasion de le démontrer à plusieurs reprises.

Parcourons rapidement les étapes de l'avancement de nos connaissances dans ce domaine. On peut distinguer une première période s'étendant jusqu'en 1930, au cours de laquelle les instruments utilisés étaient les chambres d'ionisation et les compteurs. Ces techniques permirent de découvrir d'abord l'effet d'altitude et l'effet barométrique, qui sont les conséquences de l'absorption par l'atmosphère du rayonnement étudié. Puis la nature corpusculaire d'une partie importante de ce rayonnement, par la méthode des coïncidences, enfin la nature chargée de ces corpuscules, grâce à la variation de leur nombre avec la latitude.

Mais il manquait encore un grand nombre de données. Ni l'énergie ni la nature des corpuscules n'était connue. La disposition géométrique des trajectoires non plus, malgré que leur direction générale ait été reconnue en gros comme verticale. Ce sont des arrangements techniques nouveaux qui devraient apporter ces renseignements.

D'abord le groupement des appareils. Tous ceux qui ont touché de près ou de loin le champ d'études cosmiques connaissent ces figures schématiques qui couvrent les pages des articles ou de traités. Un rond de petites dimensions, souvent centré d'un point, figure un compteur. Un rectangle figure un écran, de plomb en général. Un grand rond, c'est une chambre de WILSON, quelquefois c'est d'ailleurs un grand rectangle. Et ces éléments sont arrangés de mille façons différentes suivant les auteurs et suivant ce qu'ils cherchent. Quelques-uns de ces arrangements sont devenus classiques: citons le télescope, consistant en deux, trois (ou plus) compteurs de GEIGER-MULLER situés dans un même plan, séparés par des écrans, souvent orientables par rapport à la verticale. Le berceau, composé de trois compteurs ou plus, parallèles mais non dans le même plan, et auxquels se superposent généralement des écrans de plomb. La chambre commandée de BLACKETT et OCCHIALINI, dans laquelle le fonctionnement de la détente est déclenchée par le passage des rayons cosmiques dans un groupement de compteurs. Nous en verrons bien d'autres, mais voyons tout de suite ce que ces premiers arrangements peuvent nous fournir comme renseignements.

Le télescope définit une direction lorsque tous ses éléments sont traversés simultanément par une particule, d'où son nom. La décroissance du nombre de traversées quand les écrans augmentent d'épaisseur mesure l'absorption des particules. Le changement de ce nombre avec l'orientation du plan indique la distribution dans l'espace de leurs directions d'origine. Il a été ainsi prouvé que certains corpuscules cosmiques pouvaient pénétrer un mètre de plomb, ce qui conduisait à leur attribuer une énergie extraordinairement élevée. Il a été aussi démontré qu'ils provenaient surtout de la verticale, avec une distribution en cloche autour de cette direction, enfin qu'ils venaient en plus grand

nombre de l'ouest que de l'est, ce qui conduit à leur attribuer une charge positive. Je n'insiste pas sur les variations autour du thème du télescope, par exemple en déplaçant un des compteurs hors du plan principal, en plaçant les écrans dans la partie supérieure ou inférieure, en les prenant larges ou étroits. Tous ces arrangements sont capables d'apporter des renseignements utiles. Ils peuvent aussi faire perdre un temps infini aux chercheurs sans grande utilité et cela a été certes un des défauts principaux de ces recherches.

Le télescope peut être associé à une chambre de WILSON, ou chambre à détentes, et alors la trajectoire de la particule elle-même qui donne lieu à la coïncidence peut-être observée sous forme d'une trace de brouillard. C'est une des grandes satisfactions du physicien, après avoir déduit de quelques chocs électriques qu'il devait y avoir des particules suivant tel trajet, de les apercevoir ensuite exactement là où elles doivent se trouver, exactes au rendez-vous. L'emploi de deux chambres simultanément déclenchées, permet enfin d'apercevoir la trace des particules avant et après la traversée d'un écran épais, et d'obtenir ainsi la conviction que c'est bien une seule et même particule qui déclanche le télescope et qui traverse donc, sans être même déviée de façon observable, plusieurs décimètres de plomb.

Le berceau, contrairement au télescope, ne peut pas être déclenché par une seule particule. Il définit essentiellement un groupe. C'est grâce à cet arrangement que les «gerbes» ont été observées par ROSSI: ce sont ces groupements de particules produites secondairement dans des écrans de plomb par les corpuscules qui traversent l'atmosphère. Le nombre de coïncidences s'accroît considérablement quand l'écran est placé, et elles ne peuvent être dues qu'à des faisceaux divergents, prenant naissance dans l'écran. L'adjonction d'une chambre de WILSON, ici aussi, permet d'observer visuellement les traces, et de se convaincre de l'existence réelle de ces «gerbes» ou même de ces «averses» de particules.

La chambre de WILSON peut enfin être placée dans un champ magnétique. L'avantage de cette méthode est considérable puisqu'elle permet d'obtenir une évaluation de l'énergie par la mesure de la courbure de la trajectoire. Egalement précieux est l'aspect même de cette trace, précisé par le comptage du nombre de gouttelettes qui la composent: de ce comptage peut se déduire l'intensité de l'ionisation déterminée par la particule, ce qui renseigne efficacement sur sa nature, sa charge et sa masse. Appliquée aux gerbes, cette méthode y a démontré la présence d'un nombre égal de particules positives et négatives et établi sur des bases indiscutables la théorie de la création par paires des électrons. Appliquée aux télescopes elle a permis la mesure précise des énergies des particules et de leurs pertes au passage des écrans.

La deuxième période peut ainsi être limitée aux années de 1930 à 1937, pendant lesquelles s'est précisée cette image corpusculaire du rayonnement. C'est pendant cette période que les chercheurs ont exploré toute la surface du globe, les hauteurs de l'atmosphère, les profondeurs de la mer et de la terre, à la recherche de renseignements nouveaux sur

leurs chers rayons. C'est ce que l'on peut appeler la période héroïque. Elle a ses morts, dans les crevasses des glaciers, dans les accidents de ballons. Elle a donné l'occasion à de nombreux physiciens de montrer qu'ils étaient animés des mêmes qualités que les explorateurs de tous les temps, et d'écrire quelques chapitres admirables de l'histoire de la volonté de l'homme de pénétrer les secrets de la nature. Je ne veux citer qu'un exemple, celui des premières ascensions stratosphériques de Piccard et Cosyns, dont le retentissement a été mondial.

On peut fixer la troisième période, qui s'étend jusqu'à aujourd'hui, à la découverte du méson. Cette introduction d'une particule absolument nouvelle est venue éclairer soudainement une foule de problèmes restés sans solution depuis de nombreuses années. Elle n'a pas limité son retentissement au domaine des seuls rayons cosmiques, mais a aussitôt joué un rôle prédominant dans toute la physique atomique et nucléaire. Elle a aussi été la première de toute une famille de particules nouvelles, dont l'apparition a élevé à 21 le nombre des particules dites élémentaires ou fondamentales, et dont est constitué notre univers.

Il faut rendre cette justice aux théoriciens que c'est l'un d'entre eux qui a le premier proposé l'existence de telles particules intermédiaires entre l'électron et le proton. L'histoire de la physique est pleine de ces alternances de domination entre la théorie et l'expérience, l'une dépassant l'autre puis se laissant dépasser à son tour. C'est l'expérience qui a forcé la théorie à renoncer à l'indivisibilité de l'atome, en découvrant la radioactivité. C'est elle qui a obligé les théoriciens de l'électricité à décomposer leur fluide en électrons, qui les a conduits dans les voies de la relativité. C'est la théorie qui a prévu la première l'électron positif et le méson, prévisions suivies immédiatement de leur vérification expérimentale. Cette émulation féconde entre la théorie et l'expérience forme la mécanique même de l'avancement de notre science.

L'apparition du méson n'était pas réellement imprévue. Les expériences d'absorption avaient démontré à satiété que les corpuscules cosmiques ne pouvaient pas être seulement de nature électronique, et que beaucoup d'entre eux avaient une masse supérieure. Mais une des caractéristiques les plus remarquables du méson n'avait pas été prévue, je veux dire sa radioactivité. Cette propriété de la particule nouvelle de se décomposer spontanément en donnant naissance à un électron et sans doute à une de ces particules fantômatiques, inventées pour les besoins de la cause, que l'on a appelées neutrinos, a permis l'interprétation de toute une série d'anomalies et de bizarreries dans les mesures d'intensité du rayonnement cosmique, en altitude, en profondeur et en direction. On comprend tout de suite comment les effets de cette décomposition diffèrent d'une absorption ordinaire si on considère qu'il s'agit là d'une véritable absorption par le temps, ou plutôt par l'espace puisque ceux-ci sont reliés par la vitesse de la particule en mouvement. Des écrans denses, comme le plomb, absorbent par leur masse. Des écrans légers comme l'atmosphère, absorbent par leur masse et aussi par leur étendue qui donne l'occasion à la particule de disparaître spontanément.

Une autre conséquence du caractère éphémère des mésons est leur nature nécessairement secondaire. Ils ne peuvent pas provenir de grandes distances, car quelques dizaines de kilomètres de parcours les tuent. La nature des corpuscules primaires, de ceux qui atteignent les premiers notre atmosphère venant des confins du cosmos, voilà ce qui devenait alors le problème principal, non encore résolu à l'heure actuelle je dois le dire, quoique l'hypothèse des protons primaires soit encore la plus solide.

A partir de l'établissement de la réalité des mésons prévus par YUKAWA, le développement de la science des rayons cosmiques devient de plus en plus touffu et il n'est plus possible d'en donner un compte rendu un tant soit peu complet au cours d'une conférence comme celle-ci. Il faut se limiter à une branche de cette science nouvelle, et je choisirai celle indiquée dans le titre, les gerbes, et spécialement les grandes gerbes de l'atmosphère.

Reprenant l'image générale que possédait la physique des rayons cosmiques en 1936, nous remarquerons qu'elle permettait de diviser le domaine entier de ces rayons en deux portions nettement distinctes, celui de la composante molle et celui de la composante dure. Vous voudrez bien excuser ces expressions figurées qui sont traditionnelles, et qui signifient simplement que la première composante est facilement absorbée et ne traverse pas plus de quelques centimètres de plomb, alors que la seconde n'est pas complètement arrêtée par un mètre de cette matière. Nous manquons de mots, au cours du développement de la science, et cette difficulté peut être résolue de deux manières différentes: inventer de nouveaux mots, généralement à l'aide d'une accumulation de racines grecques, et c'est ce que font les sciences les plus éloignées dans la classification d'AUGUSTE COMTE, chimie, biologie, sociologie; ou bien conférer à des mots anciens des sens nouveaux très particuliers, et c'est ce que font les sciences mathématiques et physiques. Aucune des solutions n'est parfaite, car si les textes mentionnant la karyokinèse, la polyploïdie ou les corps hétérocycliques paraissent impénétrables à beaucoup de personnes, ceux qui traitent du poids d'une expression mathématique ou de la dureté d'une particule, moins rebutants d'abord, sont en réalité tout aussi hermétiques pour le profane.

Nous savons maintenant que la composante dure est formée de mésons isolés, créés dans l'atmosphère à des altitudes de l'ordre de 20 à 30 km. La composante molle constituée d'électrons et de photons, est formée localement puisque son pouvoir de pénétration est faible. Les relations réciproques de ces composantes ont posé un problème majeur, non encore résolu entièrement. L'énergie représentée par ces composantes n'est pas directement reliée à leur «dureté» c'est-à-dire leur pouvoir de pénétration. Des mésons de faible énergie, quelques millions de volts, traversent plus de plomb que des électrons portant des milliards de volts. On ne peut donc pas affirmer à priori que l'une descende de l'autre, et elles sont sans doute toutes deux secondaires d'une autre espèce de corpuscules primaires, probablement des particules plus lourdes. Les protons sont

les plus en faveur, les neutrons étant éliminés à cause de leur radioactivité qui ne leur permet de subsister que quelques minutes.

Cette question de l'énergie présente d'ailleurs une importance particulière lorsque l'on aborde le problème de l'origine possible de ce rayonnement primaire, ce problème devenant de plus en plus ardu au fur et à mesure de l'accroissement de l'énergie maximum observée. En effet, si nous examinons quelques unes des théories proposées pour expliquer la formation des rayons cosmiques, nous voyons qu'elles peuvent se classer en deux catégories. Celles dans lesquelles l'énergie est fournie aux corpuscules au cours d'un seul acte et celles où cette énergie leur est communiquée progressivement. Dans la première hypothèse, il faut qu'un atome tout entier disparaisse, se transformant en énergie cinétique, et celle-ci se portant sur une seule particule élémentaire. Un calcul simple montre que l'atome le plus lourd connu, celui de l'uranium, fournirait à un électron une énergie de quelque deux cents milliards de volts s'il se détruisait en entier. Mais c'est là le maximum admissible puisque la destruction d'un corps plus complexe, moléculaire par exemple, ne pourrait concentrer son énergie sur une particule unique, du moins dans l'état actuel de la théorie.

Les théories d'accélération continue n'ont pas ce caractère de prévoir un maximum, et ce sera sans doute une manière de les distinguer. Les mesures ou évaluations de l'énergie des particules cosmiques ont été basées sur des procédés de plus en plus indirects au fur et à mesure de l'accroissement de celle-ci. S'il suffit, lorsque l'énergie d'une particule ne dépasse pas quelques centaines de millions de volts, de soumettre la chambre de Wilson qu'elle traverse à un champ magnétique puissant pour obtenir, grâce à la mesure de la courbure de sa trajectoire une mesure de cette énergie, la méthode ne donne plus de résultat valable lorsque la courbure devient trop faible pour être mesurée.

D'autres méthodes que celle de la courbure peuvent heureusement être employées. D'abord celle de l'absorption. On peut évaluer la perte d'énergie que subit une particule telle qu'un méson lorsqu'elle traverse des écrans de plomb ou de sol. Comme cette perte est à peu près proportionnelle à la masse traversée, au moins dans un intervalle d'énergie assez grand, on peut conclure de l'observation de tels mésons au-dessous d'écrans très considérables, à une valeur minimum de l'énergie que possédaient ces particules à l'entrée dans cet écran. Des mésons ont été observés jusqu'à des profondeurs de plusieurs centaines de mètres de sol, correspondant à des dizaines de mètres de plomb. L'énergie initiale devait dans ce cas dépasser la dizaine de milliards de volts qui constitue la limite supérieure de la méthode de courbure magnétique. Les plus grandes profondeurs où l'observation a encore pu être faite, de l'ordre de mille mètres de sol correspondent à plus de 10^{11} électrons volts, donc atteignent l'énergie maximum que la désintégration d'un atome d'uranium peut communiquer à un électron, sans toutefois la dépasser. On voit l'intérêt qu'il y a à trouver des méthodes qui puissent aller plus loin.

Nous tournant maintenant vers la composante molle, photo-électronique dans son ensemble, nous voyons que les mesures indiquent en général des énergies relativement faibles, de l'ordre des dizaines de millions de volts lorsqu'il s'agit des branches des gerbes, c'est-à-dire de la majorité des particules présentes dans les appareils. Mais ici ce qui nous intéresse n'est pas tant la valeur de l'énergie d'une des particules composant la gerbe, mais celle de la gerbe tout entière puisqu'il s'agit là d'une manifestation multiple mais dont la source est unique. Pour effectuer une telle évaluation, il nous faut entrer un peu plus en détail dans le mécanisme de la constitution de ces gerbes.

Le phénomène principal est celui de la création des électrons par paires, positif et négatif, création qui a lieu lorsqu'un photon d'énergie supérieure à un million de volts électrons passe au voisinage d'un noyau atomique. Il est d'autant plus probable que la charge du noyau est grande, cette charge agissant par le carré de sa valeur. Elle donne naissance à des électrons dont l'énergie cinétique est équivalente à l'énergie du photon, déduction faite de l'énergie nécessaire à la création des masses des deux électrons, soit ½ million de volts électrons pour chaque. On sait que Dirac a donné de ce phénomène un modèle qui peut se décrire en termes très simples en imaginant la présence constante d'une infinité d'électrons dans des niveaux d'énergie négatifs. La marche des événements peut alors se dérouler de la façon suivante. Un noyau de charge Ze est approché par un photon d'énergie $E=h\nu$ et nous indiquons la présence d'un électron dans un des niveaux négatifs d'énergie $-U$ par exemple. Dans l'état final l'électron a été sorti de son niveau négatif et porté à un niveau positif correspondant, c'est-à-dire projeté avec une vitesse telle que son énergie cinétique plus son énergie de masse au repos égalent U. En même temps un «trou» apparaît dans les niveaux négatifs, c'est le positron qui est projeté avec une énergie totale de $E-U$. Il est clair dans cette image que si le «trou» rencontre dans ses déplacements un «électron» ordinaire, le second tombe dans le premier et disparaît ainsi en tant que matière, l'énergie disponible étant restituée à l'espace sous la forme de photons (deux en l'espèce, car il faut conserver l'impulsion et il n'y a pas de noyau lourd pour absorber le surplus de celle-ci).

Les photons donnent naissance à des électrons, mais ceux-ci peuvent à leur tour redonner des photons par le phénomène du freinage. Ici encore la présence d'un noyau lourd est essentielle: c'est en passant dans son champ électrique que l'électron perd soudain une partie de son énergie cinétique sous la forme d'un photon dit «de freinage». Ces deux effets de freinage et de création de paires se succèdent à un rythme rapide lorsqu'un flot d'électrons et de photons traverse la matière, et surtout de la matière dense. Ils donnent lieu à une multiplication en nombre en même temps qu'à une dégradation en énergie, et déterminent l'apparition d'une «gerbe».

Il faut ajouter deux effets secondaires mais dont l'importance s'accroît au fur et à mesure de la dégradation de l'énergie moyenne des

branches de la gerbe, ce sont l'effet COMPTON par lequel un photon entrant en quelque sorte en collision avec un électron lui communique une partie de son énergie, et la diffusion élastique par laquelle un électron est dévié dans sa direction par son passage auprès d'un noyau atomique. Il n'y a pas de formation de photons, ou plutôt un photon virtuel est produit puis réabsorbé, de sorte que l'énergie de l'électron reste la même si sa direction est changée. Ce dernier phénomène est le principal responsable de la dispersion en direction des branches de la gerbe.

Les calculs détaillés du développement des gerbes ont pu être faits par divers auteurs, et ils conduisent à une description assez simple à condition d'utiliser des étalons de grandeur spéciaux, dits «unités de rayonnement». Ainsi les épaisseurs d'écrans doivent être évalués avec ces étalons et alors deux écrans de même épaisseur en unités de rayonnement sont équivalents dans leur action sur les gerbes qui les traversent. L'énergie des branches de ces gerbes est également exprimée simplement en multiples d'une énergie dite énergie critique. Indiquons comme exemple les longueurs équivalentes de ½ cm de plomb, ½ m d'eau, 300 m d'air atmosphérique normal. Les énergies critiques pour les mêmes matières sont 10 millions, 150 millions et 120 millions de volts électrons.

Une gerbe jeune contient plus d'électrons que de photons, et beaucoup d'électrons d'énergie supérieure à l'énergie critique. Quand elle a traversé de nombreuses unités de radiation, elle passe par son maximum puis vieillit. Les photons dépassant les électrons en nombre, ces derniers tombent au-dessous de l'énergie critique, et alors, en quelques unités de radiation, c'est la fin.

On peut dire qu'une gerbe qui débute avec des électrons possédant cent fois l'énergie critique meurt en dix unités de radiation. S'ils possédaient 10 000 fois cette énergie, il faudrait trente unités pour la tuer. Prenons un exemple qui nous servira tout à l'heure: l'atmosphère représente près de trente unités de radiation puisque la pression atmosphérique est celle de 8 km d'air normal. Un électron de 10 000 fois 100 millions de volts c'est-à-dire 10^{12} volts, ou mille milliards, en entrant dans cette atmosphère donnerait une gerbe qui viendrait mourir exactement au niveau de la mer. Seuls des électrons beaucoup plus énergiques donneraient un effet notable à ce niveau, ainsi avec 10^{14} à l'entrée, il y aurait encore dans la gerbe 10 000 particules d'énergie supérieure à l'énergie critique lorsque le niveau de la mer serait atteint.

La théorie des gerbes a donné lieu à des nombreuses vérifications expérimentales, dont nous n'examinerons ici que les plus importantes. ROSSI lui-même, dans ses premières expériences, avait étudié l'évolution moyenne des gerbes dans un écran de plomb en superposant à trois compteurs en berceau des plaques de plus en plus épaisses de ce métal. Il avait obtenu une courbe présentant une partie croissante, correspondant au développement de la gerbe jeune, un maximum et une décroissance correspondant à la décadence de la gerbe vieillie. La position de ce maximum est, en gros, d'accord avec les calculs. On a pu montrer également que des écrans de différentes substances, dont l'épaisseur

était équivalente en unités de radiation, avaient des effets semblables. Les mesures statistiques du spectre d'énergie des électrons des gerbes ont donné des répartitions qui correspondent bien aux calculs. Enfin des observations directes à la chambre de Wilson ont permis de suivre, dans leur passage à travers une série de plaques de plomb, le développement complet d'une gerbe née d'un électron initial unique. On voit un faisceau étroit sortir de la première, devenir plus fourni après la seconde, atteindre une importance maximum après la troisième pour se dissiper complètement à la cinquième.

Il arrive que dans des photographies de détentes le nombre de branches de gerbes soit tel que l'atmosphère de l'appareil en soit complètement rendue laiteuse. Nous avons ainsi obtenu dès 1945 une photographie contenant plus de 300 trajectoires. D'autres auteurs en ont montré de plus riches encore. Il s'agit là évidemment d'une gerbe spécialement dense, dont l'ionisation est telle qu'elle peut correspondre à des millions d'ions dans un litre de gaz. De telles apparitions soudaines de très nombreuses charges dans les chambres d'ionisation ont été observées pour la première fois par HOFFMANN, et portent le nom de chocs d'HOFFMANN (ou de «bursts» en anglais, HOFFMANNstöße en allemand). Leur étude, en particulier celle de la variation de leur nombre avec l'épaisseur des écrans superposés à l'appareil de mesure, donne des résultats tout à fait analogues à ceux obtenus pour les gerbes. Elle conduit à penser que ce sont des gerbes denses, déterminées localement par des électrons de grande énergie: la difficulté est de comprendre comment de tels électrons sont arrivés, ou nés ainsi dans les appareils, sans toujours être accompagnés par un grand nombre de leurs collègues, si j'ose dire. L'interprétation des chocs isolés exige en réalité d'admettre que le responsable initial est une particule «dure», c'est-à-dire un méson isolé, lequel donne naissance à un électron de grande énergie par choc direct (knock on électron) ou à un photon de très courte longueur d'onde par freinage soudain dans le champ d'un noyau. C'est cet électron ou ce photon qui sont alors à l'origine de l'intense nuage électronique. Je n'insiste pas ici sur d'autres espèces de chocs d'ionisation, dus à des particules lourdes et non à des électrons, et que l'on identifie avec les groupes de trajectoires observés dans les plaques photographiques, connues sous le nom d'étoiles. L'origine de ces étoiles se trouve dans un choc nucléaire d'un corpuscule cosmique de très grande énergie avec le noyau d'un atome de la matière qu'il traverse. Ce noyau est en quelque sorte «explosé» et ce sont ses fragments, protons et mésons, dont la trace s'imprime dans les émulsions. On peut ici aussi évaluer l'énergie totale dépensée dans un de ces chocs d'ionisation, en se basant sur le nombre d'ions ou plutôt de paires d'ions produits. On trouve que le nombre des chocs diminue quand leur énergie totale augmente, mais que des chocs de plus de cent milliards d'électrons volts sont encore observables. Nous rejoignons ainsi les énergies des particules isolées, et pouvons attribuer les chocs sous écrans épais à une action de celles-ci. Les chocs obtenus à l'air libre, ou sous écran mince, sont attribuables simple-

ment à des gerbes ou des portions de gerbes qui font partie de la composante molle.

Il est naturel, étant donné le tableau que nous venons de présenter, de tenter d'étendre les investigations du côté des énergies plus élevées, ne serait-ce que pour s'assurer de l'existence de phénomènes simultanés, dus par conséquent à une particule unique dans leur origine première, et dont l'énergie totale dépasse celle qui résulterait d'une destruction atomique. Ensuite, pour l'établissement de la connaissance de toute théorie de l'origine des rayons cosmiques, la connaissance de l'extension du spectre d'énergie est essentielle. C'est dans cet esprit que la recherche de gerbes de plus en plus grandes, de plus en plus riches en particules et donc en énergie, a été faite dans plusieurs laboratoires, et en particulier dans le mien. Vous me permettrez d'insister un peu sur cet aspect spécial de la science des rayons cosmiques car il s'est développé considérablement depuis dix ans.

Le problème de la recherche de gerbes étendues est essentiellement celui de tout phénomène rare. Si l'observation est faite par compteurs en coïncidence, la difficulté sera d'éliminer les effets fortuits, lorsque leur nombre menace d'égaler celui des effets à mesurer. Si elle se fait avec la chambre à détentes, il ne faut pas prendre une proportion trop élevée de clichés inutiles, ce qui rendrait le travail impossible. La solution de ces difficultés se trouve, comme c'est souvent le cas, dans une amélioration technique, ici, l'augmentation du pouvoir de résolution des apapreils à coïncidence, ou, en d'autres termes, la réduction de la durée pendant laquelle doivent se produire les chocs dans les différents compteurs pour être comptés comme simultanés. En réduisant ce temps du dix millième de seconde au millionième de seconde, nous avons pu faire tomber à zéro, pratiquement, les coïncidences dues au hasard, et ne conserver ainsi que celles dues aux phénomènes réels recherchés.

L'expérience consiste alors tout simplement à mettre deux ou trois compteurs en coïncidence, et à écarter l'un d'entre eux, horizontalement, à des distances croissantes. Partant du «berceau» utilisé pour l'observation des petites gerbes ordinaires, on en augmente la largeur, et passe à des systèmes dits «à grande envergure»: 1 m, 10 m, 100 m et plus. Bien entendu ces systèmes sont alors disposés à l'air libre et c'est dans l'atmosphère qui les surmonte que doivent prendre naissance les effets multiples donnant lieu à une décharge simultanée des appareils. L'expérience montre, au niveau de la mer, que les gerbes très nombreuses du berceau (mettons cent par heure par exemple) se raréfient rapidement lorsque l'envergure dépasse 30 cm, et tombent à quelques unes par heure. C'est alors que l'élimination des effets fortuits devient nécessaire: si elle est faite, l'envergure peut être portée à plusieurs mètres, et les chocs étant significatifs on est certain de procéder à l'observation de gerbes nées dans l'atmosphère et dont les branches s'écartent les unes des autres de plusieurs mètres. Ce qui est remarquable surtout c'est que la décroissance, rapide de 30 cm à 2 m, devient de plus en plus lente, et que le changement entre 10 m et 20 m n'est que d'un facteur 2. Il est

difficile de dépasser cette envergure au niveau de la mer, le comptage n'étant pas assez élevé et c'est pourquoi les mesures ont été poursuivies en altitude. Tous les effets des rayons cosmiques augmentent rapidement avec l'altitude, mais les grandes gerbes ont dépassé tous nos espoirs, puisqu'en passant de Paris au Pic-du-Midi (altitude 3000 m) le nombre des gerbes devenait dix fois plus grand. Le nombre étant encore supérieur au Laboratoire des hautes altitudes du Jungfraujoch, nous avons songé à étendre les mesures à plusieurs centaines de mètres, nous verrons tout à l'heure la raison de cette tentative. Pour cela un problème nouveau se posait, résultant de la vitesse finie de transmission des signaux électriques le long des fils de connection des compteurs. Pour une distance de 300 m, la durée d'un tel trajet est de l'ordre de la microseconde, c'est-à-dire qu'elle rentre dans le temps de résolution des appareils à coïncidences. Deux signaux simultanés, provenant l'un d'un compteur proche de l'appareil à coïncidences, l'autre d'un compteur éloigné de 300 m, arrivent séparés par un intervalle de temps tel qu'ils ne sont plus comptés comme coïncidences. Nous avons alors installé sur la ligne courte un «retardeur» de chocs permettant de compenser cette différence, et de rétablir les coïncidences. Un autre avantage de ce dispositif est de permettre des contrôles très aisés, puisqu'il suffit d'introduire un retard arbitraire supérieur à une microseconde pour ne compter plus que les effets fortuits: on obtient alors par différence la valeur de l'effet réel.

Plaçant nos appareils dans le laboratoire, et un groupe de compteurs sur le glacier à 300 m de distance avec une ligne volante pour les relier, nous pûmes obtenir des chocs de coïncidences au rythme de 1,5 à 2 par heure, dus avec certitude à des gerbes couvrant 100 000 m² de leurs particules. Depuis ces mesures, des observateurs russes ont annoncé avoir atteint des envergures de 600 m à une altitude comparable.

Ainsi, à des intervalles moyens de l'ordre de quelques minutes en basse altitude, l'atmosphère est le siège du passage de très grandes gerbes photo-électroniques dont l'origine est certainement située dans l'air à très haute altitude. Les travaux qui ont suivi cette observation ont permis de préciser divers caractères intéressants de ces gerbes, en particulier ceux qui peuvent donner des indications sur leur énergie totale.

Tout d'abord la densité des trajectoires par mètre carré de surface horizontale. Elle peut être évaluée par l'étude de la variation du nombre de gerbes observées en fonction de la surface des compteurs, et aussi du nombre de compteurs mis en coïncidences. Les valeurs trouvées changent avec l'envergure des gerbes, avec l'altitude du lieu d'observation, avec la disposition géométrique des compteurs qui favorise tantôt les gerbes les plus denses tantôt les moins denses. Elles vont de dix à mille particules par mètre carré. Des études plus détaillées effectuées par de nombreux auteurs ont permis d'attribuer aux grandes gerbes une distribution en densité de forme exponentielle. On peut dire que le nombre de gerbes de densité supérieure à une valeur déterminée varie comme la puissance —2,4 de cette densité. Ce type de distribution rappelle exactement celui des chocs d'Hoffmann, dont le nombre dé-

passant une énergie donnée varie comme une puissance tout à fait voisine de l'énergie. C'est encore une raison de rapprocher ces deux phénomènes.

Ensuite la question se pose de la structure des gerbes, c'est-à-dire de la distribution des trajectoires en densité horizontale pour chacune des gerbes observées. Le problème est important parce que si l'on veut déduire l'énergie totale de la gerbe de ces mesures de densité, il faut que celle-ci soit assez homogène sur toute la surface couverte. La théorie indique que des particules d'énergie élevée doivent s'entourer d'un faisceau de secondaires, de sorte que l'on peut s'attendre à trouver des foyers de concentration en densité, dans le cas où de telles particules de grande énergie se rencontreraient isolément. Mais d'autre part le calcul des fluctuations de densité ainsi réalisées ne fait pas prévoir qu'elles jouent un rôle considérable.

Une étude expérimentale de la distribution en densité a été faite par les méthodes de compteurs et aussi avec la chambre de WILSON. Une telle chambre, déclenchée par des compteurs placés à quelque distance donne des clichés très caractéristiques. Si les compteurs sont sur la chambre, on a des particules isolées. Si les compteurs sont loin de la chambre au-dessus l'un de l'autre, les clichés sont vides. S'ils sont loin l'un de l'autre, il y a une densité de trajectoires parallèles de l'ordre de cent par mètre carré. Avec les compteurs seuls on obtient des résultats analogues: deux compteurs éloignés progressivement l'un de l'autre donnent une courbe de coïncidences d'abord fort décroissante (petites gerbes locales) puis se stabilisent après 30 cm environ pour ne plus baisser que lentement ensuite. Si on associe à ces compteurs un troisième placé à un mètre le maximum initial pour les petites distances disparaît, et la courbe est entièrement plate, ou plutôt à faible pente. Tout ceci indique clairement l'absence dans les grandes gerbes de nombreux foyers de concentration. Il ne doit donc y en avoir qu'un, le centre de la gerbe, ou au moins un très petit nombre constituant en réalité des gerbes séparées. Dans ce ou ces centres serait alors rassemblée la plus grande partie de l'énergie, et seraient présentes les particules du plus grand pouvoir pénétrant.

Si nous nous en tenons pour l'instant à cette image, et que nous considérons les grandes gerbes comme des cascades, quelle est l'énergie totale qu'elles peuvent renfermer et qu'il faut attribuer à l'agent initial, unique, de leur formation ? Une méthode simple d'évaluation consiste à estimer le nombre de particules électroniques par le produit de la densité par la surface couverte, et de le multiplier par leur énergie moyenne. Les difficultés, ou plutôt les aléas d'une telle évaluation proviennent d'une part de l'incertitude au sujet de l'uniformité de la densité sur toute la surface, et d'autre part sur la valeur de l'énergie moyenne. Il faudrait aussi ajouter un terme pour la partie photonique, mais cela ne ferait que doubler au plus l'évaluation basée sur les électrons. Si l'on adopte le chiffre de cent par mètre carré, avec une surface couverte de 100 000 m carrés, on trouve 10^7 et l'énergie critique dans l'air étant de

10^8 électrons volts, le résultat atteindrait 10^{15}. On ne peut considérer cela comme la valeur moyenne, mais comme une valeur de l'énergie certainement présente dans les plus grandes des gerbes observées. Nous trouvons ainsi pour la première fois une énergie plus de mille fois supérieure à celle résultant de la destruction de l'atome d'uranium. Toute explication faisant intervenir un acte unique pour la création de l'agent initial paraît définitivement condamnée, sauf peut-être en utilisant une très audacieuse hypothèse que nous indiquerons tout à l'heure.

Une autre méthode d'évaluation consiste à admettre que les gerbes sont produites dans la partie supérieure de l'atmosphère et qu'elles traversent par conséquent une vingtaine d'unités de radiation. Dans ce cas, une gerbe contenant après cette traversée encore plus de 100 000 électrons, doit avoir été déclenchée par une particule initiale ayant plus d'un million de fois l'énergie critique. Pour l'air, cela donne 10^{13}. Pour une gerbe de plus d'un million d'électrons, ce qui paraît être fréquent, il faudrait au moins un facteur 10 de plus et nous nous trouvons avoisiner l'évaluation de tout à l'heure. On peut donc considérer comme assurée l'existence d'un agent porteur d'énergies de l'ordre de 10^{14} à 10^{15} électrons volts dans les parties supérieures de l'atmosphère, – soit cent mille milliards à un million de milliards.

Cette conclusion atteinte, il faudrait encore, pour bien comprendre le phénomène des grandes gerbes, s'assurer que leur structure correspond bien à celle de cascades, et sinon, étudier les causes de cette différence. Il faudrait ensuite examiner la nature de l'agent producteur et la région de l'atmosphère où cette production a lieu.

Le premier point a donné lieu à de nombreuses recherches, effectuées par des groupes italiens, américains et français. En résumé, il s'est montré que les grandes gerbes avaient la structure de cascades et suivaient des lois de distribution correspondant aux calculs théoriques de Molière. Mais la présence d'un pourcentage bien défini, environ 2 % de particules pénétrantes (mésons isolés), n'est pas explicable dans cette hypothèse de la cascade pure.

Le second point est moins satisfaisant encore puisque la présence d'électrons est à peu près exclue parmi les corpuscules du rayonnement primaire à son entrée dans l'atmosphère. Comment ces électrons de très haute énergie peuvent-ils prendre naissance à partir des protons primaires ou des mésons auxquels ceux-ci donnent naissance par choc nucléaire ? C'est en somme toute la question de la composante molle, dont les grandes gerbes représentent une portion peut-être fort importante.

Nous avons vu que des mésons de grande énergie pouvaient donner par choc des électrons également très énergiques. Ils peuvent aussi se décomposer par radioactivité en donnant de tels électrons. Mais la probabilité de décomposition en vol pour des mésons très énergiques est très faible. Les chances de produire des chocs assez directs sont faibles également, et c'est pourquoi depuis quelques années le rôle d'un méson à vie courte ou à grande interaction électronique a été invoqué. Le

méson pourrait être créé lors des chocs nucléaires et se décomposer ou donner une forte proportion de chocs électroniques. Il semble bien que les mésons π, au moins les π neutres, doivent avoir une vie très courte, de l'ordre de 10^{-14} secondes.

Les observations dans les plaques photographiques montrent parfois, associés dans les étoiles de grande énergie avec les trajectoires des protons, des faisceaux étroits de particules de très grande vitesse, dites relativistes, contenant essentiellement des mésons. Ce sont eux qui par leur décomposition et leurs chocs viendront ensuite constituer la composante électronique qui est absente du phénomène nucléaire direct. Mais l'observation la plus probante peut-être a été faite tout récemment par MARSCHACK et son école, à l'aide d'un bloc de vingt plaques photographiques à émulsion épaisse (100 μ), séparés par des plaques de cuivre de 3 mm. Dans la septième plaque à partir du haut a eu lieu un choc nucléaire d'une extrême violence, provoqué par un élément corpusculaire dirigé à 60° de la verticale. Il donne lieu à un faisceau initial de quinze particules serrées, et 21 de diffusion vingt fois plus forte. Puis plus loin, vers la douzième plaque on voit quinze faisceaux électroniques dont l'examen conduit à évaluer l'énergie à $2{,}10^{11}$ électrons volts chacun, soit $3{,}10^{12}$ au total. Un méson neutre doit s'être décomposé après 2,5 cm de parcours, donnant deux faisceaux de deux dix millièmes de radian d'écartement, d'énergie évaluée à 10^{12} chacun, ce qui, tenu compte de la relativité, donnerait une durée de vie de 10^{-14} au méson. Un autre méson neutre donne des résultats voisins. Au total, l'évaluation de l'énergie conduit à près de 10^{14} électrons volts.

Il semble bien qu'il y ait là une confirmation éclatante de la valeur extrêmement élevée de l'énergie des grandes gerbes, car ce phénomène nucléaire est forcément l'origine d'une gerbe cascade de 10^{14} ev. qui se développe dans sa descente à travers l'atmosphère. Il est clair aussi qu'un certain nombre de mésons μ vont se trouver mêlés aux électrons, comme l'expérience l'exige d'ailleurs. Etant donné le très faible écart angulaire des faisceaux initiaux, la gerbe va se constituer comme une distribution régulière autour d'une direction centrale, le centre de la gerbe ne dépassant pas quelques mètres de diamètre.

Je m'en voudrais d'insister plus longtemps sur les détails de ce phénomène des grandes gerbes qui n'est, je le répète, qu'un des rameaux de la branche scientifique nouvelle des rayons cosmiques. Il présente le caractère très moderne de battre un record, un record mondial, et de devoir le tenir sans doute pour longtemps: celui de l'énergie. Il impose ainsi à toute théorie de l'origine des rayons cosmiques une sérieuse épreuve. Les théories de désintégration d'atomes lourds ne tiennent pas. Certains auteurs avaient été jusqu'à proposer l'existence d'une antimatière, composée de protons négatifs et d'électrons positifs: des granules macroscopiques de cette matière, comme les parcelles de fer ou de pierre qui constituent les étoiles filantes, arrivant dans l'atmosphère subiraient soudain l'annihilation de tous leurs atomes simultanément. Mais cette théorie elle-même ne tient pas devant la preuve fournie par MARSCHACK,

que la grande gerbe prend naissance dans un choc nucléaire isolé. Il ne reste guère que les théories de l'accélération des particules dans des champs magnétiques variables comme ceux des taches solaires.

Mais il est probable que nous n'attendrons plus longtemps la solution de ce problème particulier et que nous nous tournerons aussitôt vers d'autres qui surgiront en foule puisqu'il est reconnu que l'avancement des sciences accélère régulièrement son mouvement depuis deux siècles. Il y a une vertu dans cette accélération, celle de pallier à l'ennui de vieillir, puisque chaque année apporte une plus riche moisson de nouveautés, mais cela a aussi quelque chose de vertigineux. Si l'on contemple le chemin parcouru depuis cinquante ans, on constate qu'il est au moins équivalent à celui parcouru pendant le siècle précédent. Doublant encore, les 25 années qui viennent doivent donner autant, ainsi que les douze années suivantes, et ainsi de suite. L'an 2000 ne serait alors atteint qu'asymptotiquement, et dans une fièvre toujours montante. Mais on peut espérer que les hommes auront assez d'esprit pour éviter cette catastrophe et sauront se tourner à temps vers d'autres problèmes, non aussi scientifiques, mais qui attendent toujours leur solution: la stabilité économique, la paix. C'est le souhait que je forme pour la nouvelle génération, celle qui verra se lever l'aube du XXIe siècle.

Zum Problem der menschlichen Stammesgeschichte

Von

J. Kälin (Freiburg)

Der Aufstieg der Naturwissenschaften seit Beginn des vorigen Jahrhunderts ist in hohem Maße mitbedingt durch den Entwicklungsgedanken. Seine Überzeugungskraft liegt in der Fülle und Vielschichtigkeit der Sachverhalte, welche durch das Evolutionsprinzip einer einheitlichen Deutung erschlossen werden, und sein heuristischer Wert wird immer wieder durch neue Dokumente der Paläontologie bestätigt. Das gilt auch für die Stammesgeschichte des Menschen.

Seit dem Erscheinen der «Evidence as to Man's Place in Nature» von Thomas Henry Huxley im Jahre 1863 herrscht in der Evolutionsforschung die fast einhellige Meinung, daß die prähominide Evolutionslinie eine Formstufe *im allgemeinen Rahmen primitiver Catarrhinen*, d.h. niederer Altweltaffen, durchlaufen habe. Aber die konkreten Vorstellungen über weitere Etappen der vormenschlich- und innermenschlich-evolutiven Prozesse haben sich gewandelt. Ursache dieser veränderten Situation sind nicht nur neue paläontologische Funde. Diese Dokumente, aber auch die fortschreitende Abklärung methodologischer Prinzipien, die allgemeinen Ergebnisse der stammesgeschichtlichen Forschung und «last but not least» die großen Fortschritte der Genetik haben das Problem der Menschwerdung in neue Perspektiven gerückt. Durch die Fülle der Tatsachen, welche sich in der Zoologie der evolutiven Deutung darboten, wurden lange Zeit Verallgemeinerungen und Formulierungen von sogenannten «Entwicklungsgesetzen» begünstigt, welche heute zu einem großen Teil überwunden sind. Für ein generalisiertes Bild der Evolution ist heute der Ausdruck «Stammbaum» in der Zoologie nicht mehr zutreffend: es handelt sich vielmehr um ein System phyletischer Beziehungen in Form zusammenhängender und gestaffelter Strauchwerke verschiedener Größenordnung.

Eine erste Forderung in der Rekonstruktion stammesgeschichtlicher Zusammenhänge ist es, mit Hilfe der Korrelationsregel im Rahmen des Möglichen das Ganze der betreffenden Lebensformen zu berücksichtigen, und zwar in der Gesamtheit ontogenetischer Stadien (zu denen als letztes die Adultform gehört). Denn ein konkretes Abstammungsverhältnis betrifft ja stets den totalen Umfang der Individualgeschichte. Aber phyletische Verwandtschaft kann auch nicht nach summenhaften Ähnlich-

keitsgraden abgezählt werden. Vielmehr verlangt jede Eigenschaft im Gefüge des Ganzen eine differenzierte evolutive Bewertung. Die Wertigkeit der Merkmale bezieht sich dabei stets auf den Typus einer systematischen Kategorie, der die Bedeutung einer Stammgruppe zukommt. Im Hinblick auf eine bestimmte Stammgruppe können wir *typophäne*, d.h. in ihrem morphologischen Typus verankerte, und *atypophäne*, also abgeleitete Eigenschaften, feststellen. Die atypophänen Eigenschaften gliedern sich wieder in Merkmale der Einpassung in einen bestimmten Lebensraum: die *Spezialisationen* sensu stricto sowie in Zeichen einer Steigerung der allgemeinen Organisationshöhe im Sinne der *Elevation* von FRANZ[1]. Sehr augenfällig sind z. B. bei primären Landwirbeltieren die verschiedenen Spezialisationen der Extremitäten im Übergang zum Wasserleben (Plesiosaurier, Ichthyosaurier, Cetaceen, Pinnipedier usw.). Die Elevation kann auch als «Allgemeinanpassung» bezeichnet werden. Sie äußert sich in einer raumzeitlichen Erweiterung der ökologischen Entfaltungskraft. (Ein evidentes Beispiel der Elevation ist die Erwerbung der Homoiothermie mit der geographischen Ausbreitung durch die so gewonnene Unabhängigkeit von der Außentemperatur.) Die Elevation ist in verschiedenen Ordnungen der Säugetiere durch die Cerebralisation besonders auffällig geworden. Diese äußert sich in erster Linie als eine relative Zunahme des Gehirnes, insbesondere des Großhirn-Mantels. Wie PORTMANN (1948) und WIRZ (1950) gezeigt haben, wird sie am besten erfaßt durch das Massenverhältnis des als Neopallium bezeichneten Teils vom Großhirnmantel im Vergleich zu jener fiktiven Größe des sog. Stammrestes, welche dieser bei primitiven Säugern, etwa den Insectivoren, bei gleicher Körpergröße haben würde. So gelangt man nach WIRZ zu einem «Neopalliumindex» von 49 für die Pongiden (*Ponginae* SIMPSONS) gegenüber 170 für den *rezenten* Menschen. (Beim «Totalhirnindex» betragen die entsprechenden Werte 66 bzw. 214.)

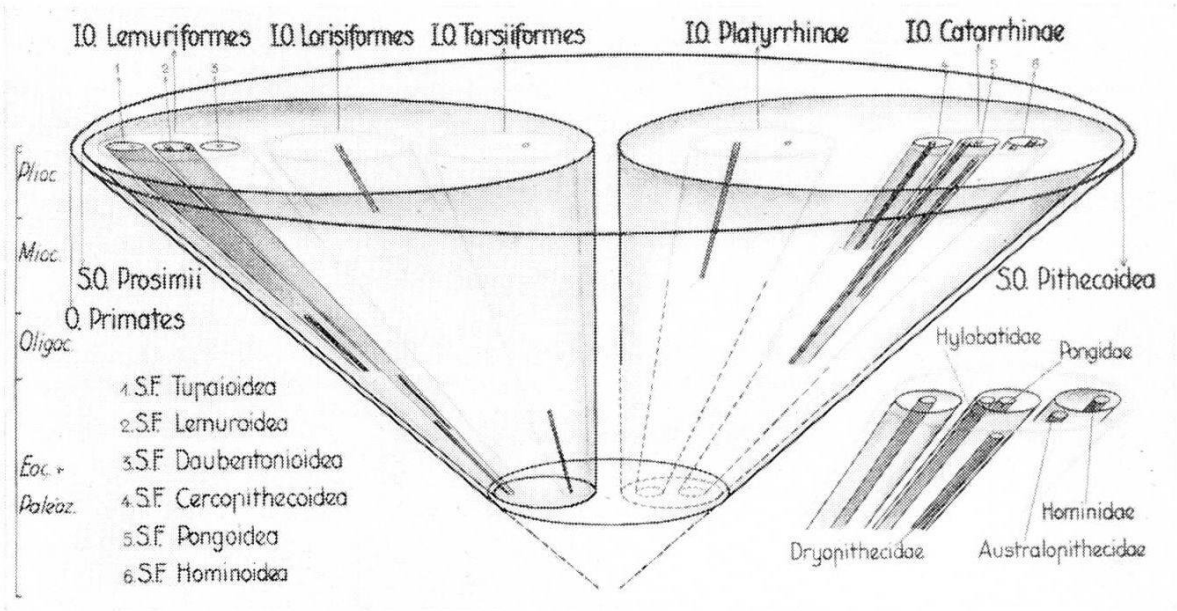
Alles phyletische Werden beruht auf Änderungen der Ontogenese einer Stammform. Die Ontogenese schafft, sich wiederholend und ändernd, die Phylogenese. Daher können die verschiedensten Stadien der Individualgeschichte betroffen werden. In diesem Zusammenhang unterscheiden wir verschiedene Modi der Evolution: Prolongation (Anfügen von Endstadien), Deviation (Änderung von Durchgangsstadien), Acceleration (Beschleunigung), Retardation (Verlangsamung) und Abbreviation (Verlust von Stadien) der Ontogenese. Soweit die Evolution sich in der Adultform auswirkt, handelt es sich um Eigenschaften, die im Vergleich zu einer Stammform überhaupt neu sind oder in ihr auf juvenilem oder fetalem Stadium verwirklicht waren. Im ersten Fall sprechen wir von Gerontomorphose, während im zweiten Fall in Anlehnung an DE BEER, aber in etwas erweitertem Sinne von einer Pädomorphose die Rede ist. Ein und derselbe Formteil kann gleichzeitig Gegenstand verschiedener evolutiver Modi sein. So ist die pädomorphotische Gestalt

---

[1] Systematik und Phylogenie der Tiere in: Handbuch der vergleichenden Anatomie der Wirbeltiere, 1931 (Urban und Schwarzenberg).

des menschlichen Schädels als kombinative Wirkung von Prolongation, Abbreviation, Acceleration und Retardation deutbar.

Stammesgeschichte beruht wesentlich auf der Deutung morphologischer Beziehungen. Diese betreffen letztlich immer den abgestuften Vergleich von Typen, d. h. von Grundformen bestimmter systematischer Kategorien. (Über die Methodik des morphologischen Vergleichs, in dessen Zentrum der Begriff der *typusbezogenen* Homologie steht, siehe KÄLIN[1] [1948]). Es handelt sich hier zunächst um die als Subordination und Koordination sich auswirkenden typologischen Beziehungen, welche z. B. im Rahmen der Primaten in Berücksichtigung des Zeitfaktors zweckmäßig durch Trichterflächen dargestellt werden (Fig. 1). Die Erweiterung der Trichter in Annäherung an die Gegenwart gibt



Figur 1
Schema der typologischen Beziehungen der Primaten im raum-zeitlichen Zusammenhang

in sehr schematischer Weise an, wie innerhalb des betreffenden Typus die Formenmannigfaltigkeit zunimmt. Die evolutiven Beziehungen, welche aus einem solchen typologischen Schema unmittelbar ablesbar sind, betreffen nur die zeitliche Folge, in welcher diese oder jene Kategorie schrittweise aus ihr selbst übergeordneten Kategorien hervorgegangen ist. Über die phyletischen Beziehungen irgendeiner Kategorie zu koordinierten Gruppen oder subordinierten Kategorien der letzteren sagt die evolutive Deutung des Schema an sich nichts aus. Das dem Schema zugrunde liegende System unterscheidet sich von demjenigen, welches SIMPSON (1945) publiziert hat, hinsichtlich der Catarrhinen vor allem durch die Rangerhöhung der SIMPSONschen Familie der *Pongidae*

[1] Die Homologie als Ausdruck ganzheitlicher Baupläne von Typen. Bulletin de la Société Fribourgeoise des Sciences Naturelles, Fribourg 1945.

und ihrer Unterfamilien, sowie deren Ausgliederung aus der Superfamilie der *Hominoidea* mit Ausnahme der *Australopithecus*-Gruppe, die also hier wie dort als Familie *Australopithecidae* bzw. Subfamilie *Australopithecinae* innerhalb der Superfamilie *Hominoidea* belassen wird.

Nach der seit langem vorherrschenden Meinung würde die vormenschliche Evolutionslinie nach Überwindung des Stadium der Protocatarrhinen über eine Formstufe führen, die einem mehr oder weniger generalisierten Bild unserer *Pongiden* (Gorilla, Schimpanse, Orang) und der *Hylobatiden* (Gibbon, Siamang) entsprach. Diese «*Anthropoidentheorie*» der Menschwerdung erscheint wieder in verschiedenen Varianten, je nachdem eine frühere oder spätere Abgliederung vom Stock der «Anthropoiden» oder – systematisch korrekter – der *Pongoidea* angenommen wird. Nach Gregory (1927) wäre die prähominide Evolutionslinie aus der schon im Miozän in starker Formenradiation auftretenden Gruppe der *Dryopitheciden* ausgegliedert worden, während Weinert besonders enge Beziehungen zur Schimpanse-Gorilla-Gruppe annimmt. Weidenreich (1943) gelangt zum Schluß, daß die Vorstufen der Hominiden schon *vor* der Differenzierung der *Dryopithecus*-Formen aus den Pongoidea abgezweigt seien. Indessen ist bereits 1921 der französische Paläontologe Marcelin Boule zur Anschauung gelangt, daß der Eigenweg der Menschwerdung bis zum Wurzelstock der Protocatarrhinen zurückgreife, und der vor kurzem verstorbene Paläontologe Broom ist im Zusammenhang mit der Bearbeitung der *Australopitheciden* zu wesentlich übereinstimmenden Anschauungen gelangt. Der ehemals führende amerikanische Paläontologe Osborn hat seit 1927 in einer Reihe von Publikationen mit allerdings zum Teil überspitzten Worten die Formulierungen der «Ape-Human-Theorie» abgelehnt, und in neuerer Zeit mehren sich die Bedenken gegen die «klassischen» Varianten der Anthropoidentheorie. Sie betreffen Sachverhalte an rezentem wie an paläontologischem Material, auf welche in den letzten Jahren z. T. auch Straus (1949), Broom (1950), Le Gros Clark (1950) und Hebeer (1951) verwiesen haben.

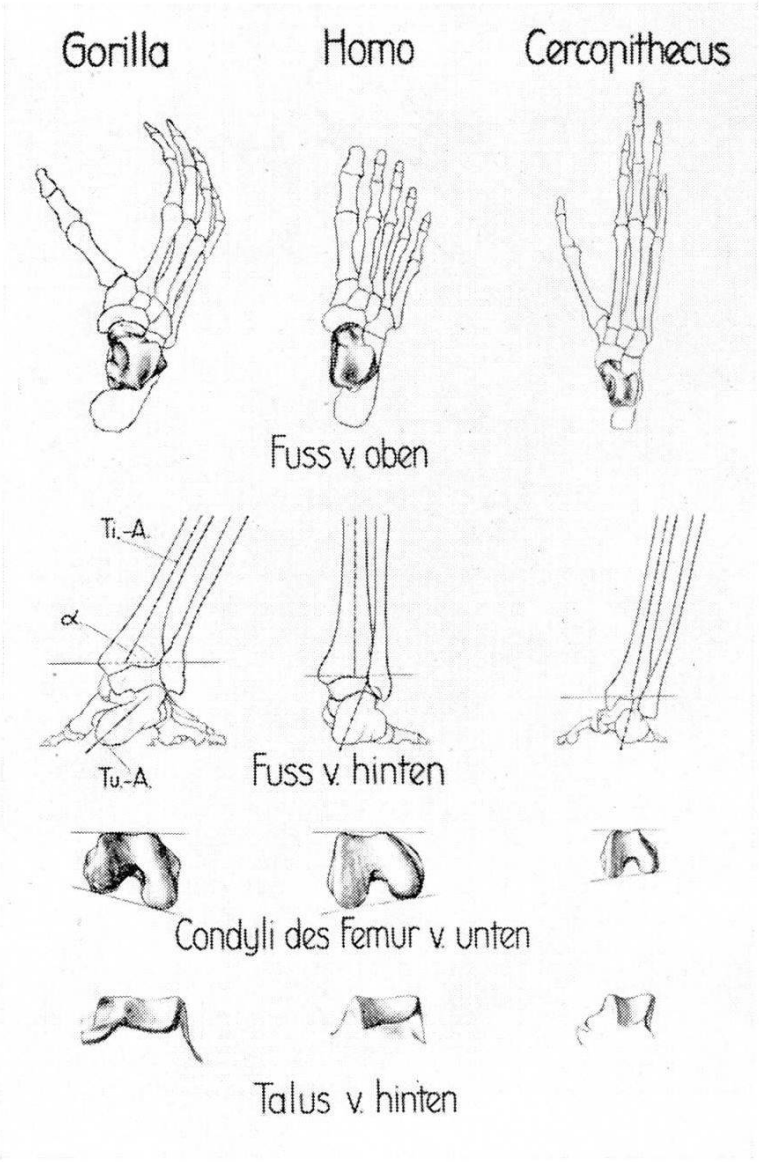
Besonderes Interesse beanspruchen in diesem Zusammenhang die Extremitäten. Wenn die Anthropoidentheorie zu Recht besteht, müssen die menschlichen Extremitäten aus anatomischen Verhältnissen ableitbar sein, welche als Spezialisation für das Stemmgreifklettern und das Schwingklettern, den «brachiating type» der Lokomotion unserer Großaffen, ihre volle Ausprägung erfahren haben. Gregory (1927), Keith (1923), Morton (1926) u. a. erblicken in der Form des sog. Greiffußes der Anthropoiden die Vorstufe des Menschenfußes. Nach Gregory ist «the human foot essentially an anthropoid foot with its great toe brought parallel with the others».

Für eine korrekte evolutive Bewertung des Fußes müssen wir im Prinzip alle anatomischen Verhältnisse, welche mit dem Fuß in engerer funktioneller Beziehung stehen, also die ganze Extremität, berücksichtigen. Diese wird aber durch den Begriff des Greiffußes nur in sehr unvollkommener Weise charakterisiert. Vielmehr sind hier konstruktive

Züge für die Greiffunktion kombiniert mit Sonderheiten, durch welche beim Klettern der Rumpf aufwärts gestemmt wird: Es ist eine Stemmgreifextremität. Demgegenüber entspricht die hintere Extremität des Menschen der Konstruktion eines orthograden Stand- und Schreitbeines für Bipedie mit Genu-valgum-Stellung. Zu den wesentlichen Konstruktionszügen der Stemmgreifextremität gehört die Genu-varum-Stellung mit Abduktion und Flexion sowie Außenkreiselung im Hüftgelenk und permanenter Flexion im Knie. Es ist quasi eine «Hockstellung», die bei der terrestrischen Lokomotion wie beim Stehen (und zwar in beiden Fällen, in quadrupeder und in bipeder Haltung) beibehalten wird. Dabei wirkt im Fuß eine horizontale Druckkomponente nach innen, d. h. mediad; sie muß zu einem beträchtlichen Teil von der abduzierten Großzehe aufgefangen werden. Diese Notwendigkeit der Abduktion der Großzehe ergibt sich besonders deutlich aus Zeitlupenfilmen und Fußabdrücken, welche durch Gehversuche auf mit Florpapier belegter Lehmunterlage gewonnen werden (KÄLIN, 1948). Gegenüber den menschlichen Verhältnissen ist die Divergenz der evolutiven Differenzierung bei den Anthropoiden außerdem in folgenden Punkten besonders wichtig: Fehlen eines sog. Längsgewölbes mit der dabei kennzeichnenden proximalen Überlagerung der äußeren Reihe von Fußwurzelknochen über die innere Reihe, mediodistad orientierte Diarthrose des LEBOUCQschen Gelenkes für die Großzehe an Stelle der menschlichen Amphiarthrose, flachere Stellung der Facies malleolaris tibialis am Talus, geringere Neigung des Hauptdurchmessers an der Gelenkfläche vom Kopf des Talus (facies articularis navicularis), starke Neigung der Tuber-Achse am Calcaneus, condylusartige Bildung im Bereich der Facies articularis talaris proximalis am Calcaneus, distaler Diaphysenwinkel der Tibia viel kleiner als 90°, stärkere Ausbildung des medialen Condylus am Femur im Vergleich zum lateralen Condylus, partielle Homologie und Tendenz zur Rudimentierung des Musculus quadratus plantae, Verhinderung der Extension in Hüft- und Kniegelenk durch passive Insuffizienz der Flexoren. Sehr groß ist die Divergenz der Beckenkonstruktion. Bei den Anthropoiden wird das Becken in der Aufrichtung des Körpers als Ganzes um den Oberschenkelkopf gedreht. Dagegen zeigt der ventrale Beckenteil des Menschen auch in orthograder Körperhaltung die Orientierung quadrupeder Säugetiere, während der dorsale Teil vergleichsweise nach hinten umgebogen und cranio-caudal komprimiert erscheint.

Ein besonderes Interesse beansprucht in diesem Zusammenhang der Fuß des Berggorilla, *Gorilla beringei* MATSCHIE. Nach GREGORY (1927) würde der Berggorilla die Evolution des Menschenfußes aus dem Fuß der Anthropoiden besonders deutlich machen. GREGORY stützt sich in diesem Zusammenhang vor allem auf einen Gipsabguß, der von AKELEY stammt und bei welchem die Großzehe in völlig adduziertem Zustand wiedergegeben ist. Ich habe am *Musée du Congo Belge* an einem umfangreichen Material des Berggorillas aus der *Forêt de Sibatwa* (westlich vom Tanganjika-See) feststellen können, daß auch hier alle konstruktiven Züge der Stemmgreifextremität vorliegen. Daneben gibt es allerdings

gewisse Angleichungen an hominide Zustände, auf welche namentlich SCHULTZ (1926; 1930) aufmerksam gemacht hat. Sie betreffen aber nicht den Übergang zur Bipedie, sondern hängen mit der Anpassung an die quadruped-terrestrische Lokomotion zusammen. Es handelt sich um die besondere Kürze der Arme, den Stellungswinkel des LEBOUCQ-schen Gelenkes, die Entfernung der Distalpunkte der Cuneiformia I und II



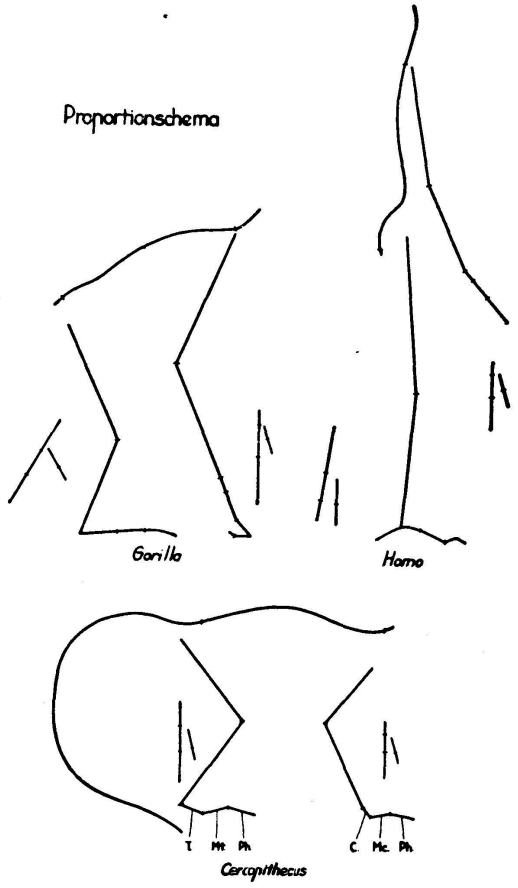
Figur 2

Fuß, Condylen des Femur und Talus von *Gorilla*, *Homo* und *Cercopithecus*. Bezeichnungen: Ti-A = Tibia-Achse, Tu-A = Tuber-Achse, α = distaler Diaphysenwinkel der Tibia

und die etwas größere Länge und Stärke des ersten Strahles am Fuß sowie gewisse Eigentümlichkeiten der Weichteile.

Der Versuch einer evolutiven Bewertung der verglichenen Extremitäten zeigt eine eigentümliche Situation. Bei jenen Eigenschaften, wel-

che nicht deutlich die progressive Evolution zur Bipedie veranschaulichen, stehen nämlich beim Menschen Merkmale im Vordergrund, welche im Hinblick auf den *Catarrhinen-Typus* als typophän oder doch typusnäher zu bewerten sind und in weitem Umfang an die Verhältnisse niederer Altweltaffen erinnern. Dahin gehören: die Größe des distalen Diaphysenwinkels, die Steilstellung der Facies malleolaris tibialis, die geringere Außenrollung im Hüftgelenk, die stär-



Figur 3
Proportionsschema von *Gorilla*, *Homo* und *Cercopithecus*. Bezeichnungen bei *Cercopithecus:* C = Carpus, Mc = Metacarpus, Ph = Phalangen, T = Tarsus, Mt = Metatarsus

kere Ausbildung des Condylus medialis am Femur im Vergleich zum lateralen Condylus mit der Divergenz der Condylen-Tangenten in mediader Richtung, die geringere Neigung der Tuber-Achse am Fersenbein, die Proportionen der Cuneiformia I–III sowie des Naviculare tarsi (Fig. 2). Bezeichnenderweise übertrifft beim Menschen wie bei den primitiven Catarrhinen die Länge der hinteren Extremitäten jene der vorderen während bei den *Pongoidea* die Proportionen umgekehrt sind. Und es hängt nicht nur mit der Gewohnheitsbildung des Tieres zusammen, sondern ist in anatomischen Sachverhalten begründet, wenn bei den Pongiden die Dorsalseiten der (meist basalen) Phalangen der Hand in der quadrupeden Stellung aufgestützt werden, während beim mensch-

lichen Kleinkind in der entsprechenden Haltung wie bei den *Cercopithecoidea* die Volarfläche der Hand auf der Unterlage ruht (Fig. 3). Dasselbe gilt für die Hylobatiden, welche trotz ihrer zum Teil extremen Spezialisation gewisse primitive Züge der Catarrhinen bewahrt haben, welche bei den Pongiden verschwunden sind. Diese Verhältnisse scheinen anzudeuten, daß die eigentliche Vorstufe der menschlichen Extremitäten nicht dem Typus stemmgreifkletternder «Anthropoiden» entsprach, sondern einer urtypischen Form des kletternden Primatenfußes näher stand.

Die Konstruktion der menschlichen Stand- und Schreitextremität gehört zu den unentbehrlichen Voraussetzungen unserer aufrechten Körperhaltung. Ohne den Erwerb dieser Haltung im Stehen wie im Gehen, mit den vom Tragen der Körperlast befreiten Armen und Händen, wäre aber die dem Menschen eigene Lebensform nicht denkbar. Auch der Bau von Fuß und Bein gehört also zu jenen biologischen Sonderheiten, welche wie die Gesetzlichkeiten unseres Körperwachstums, der Schädelbau, die Gehirnentwicklung usw. ein einheitliches Korrelat bilden zur Eigenart menschlicher Umweltbezogenheit.

Biologisch ist diese Umweltbezogenheit vor allem gekennzeichnet durch die Auflockerung des Gefüges zwischen dem Organismus und seiner Umwelt. Diese Auflockerung der Umweltbezüge beruht auf einer Verhaltensweise, deren Sinn weit außerhalb der Ebene des nur Biologisch-Zweckmäßigen liegt; sie sprengt den Rahmen von Normen, die allein aus der Sphäre des Triebhaft-Instinktmäßigen bestimmt würden. Hieraus ergibt sich jene Umweltoffenheit des Menschen, die ihm erlaubt, in stetem Gegendruck zum Druck der Gefühlssphäre nach Maßgabe von Werturteilen die Faktoren seiner Umwelt zu wählen, auszuschalten oder umzugestalten. So baut sich der Mensch aus den Faktoren seines Lebensraumes die Wertfülle seiner Kulturwelten. Diese Umweltoffenheit und Freiheit des Verhaltens verschafft dem Menschen eine beispiellose Überlegenheit in der Überwindung ökologischer Schranken und in der Sicherungsmöglichkeit seiner biologischen Existenz. Diese Situation erlaubt uns, alle sonderheitlichen morphologischen Korrelate der menschlichen Umweltbezogenheit unter den Begriff der Elevation zu stellen.

In der folgenden Tabelle werden die wichtigsten Unterschiede des Pongiden-Typus und des Homo-sapiens-Typus nach verschiedenen Merkmalskategorien einander gegenübergestellt. In der Kolonne der Bewertung bedeutet «e» Elevation, das Zeichen «o» den typophänen oder typusnäheren Zustand in Bezug auf den Typus der Catarrhinen; «s» gibt die auffallenden Spezialisationen der Pongiden an.

Immer wieder hat man versucht, die menschliche Elevation im einzelnen oder im ganzen durch die sekundäre Aufrichtung in der Stammesgeschichte kausal zu erklären. Das ist z. B. für den Schädel durch Weidenreich geschehen. Aber alle Versuche, aus dem wirklichen oder vermeintlichen Nacheinander evolutiver Prozesse den für die Menschwerdung *entscheidenden* Kausalnexus zu konstruieren, können der Tiefe des Problemes nicht gerecht werden. Zwar darf erwartet werden,

Pongiden-Typus	Bewertung	Homo-sapiens-Typus	Bewertung
I. Cerebralisation		*I. Cerebralisation*	
Totalhirn-Index: mittelwertig: 66,1 (Cerc. 52,3)	o	Totalhirn-Index: extrem hoch: 214	e
Neopallium-Index: relativ hoch: 49 (Cerc. 38,3)	o	Neopallium-Index: extrem hoch: 170	e
Rhinencephalon-Index: sehr niedrig: 0,037 (Cerc. 0,229)	s	Rhinencephalon-Index: 0,229	o
Stammhirn-Index: relativ sehr niedrig: 4,47 (Cerc. 5,12)		Stammhirn-Index: relativ niedrig: 10	
II. Wachstumsgesetzlichkeiten		*II. Wachstumsgesetzlichkeiten*	
keine auffallende Verlangsamung des Wachstums	o	starke Verlangsamung des Wachstums nach 1. postfet. Jahr	e
Wachstumsrate relativ hoch: Geburtsgewicht 1,2–2 kg	o	Wachstumsrate bis 1 Jahr nach Geburt extrem intens.: Geburtsgewicht 3,2 kg	e
kein besond. Pub.-Wachstum	o	gesteigertes Pub.-Wachstum	e
Abschluß des Wachstums: 9.–11. Jahr (Cerc. 7. Jahr)	o	Abschluß des Wachstums: 20. Jahr	e
Geschlechtsreife: 5.–10. Jahr (Mak. 4.–5. Jahr)	o	Geschlechtsreife: 13.–15. Jahr	e
ohne sonderheitl. Wachstum der unteren Extremitäten	o	Längenwachstum der unteren Extremitäten postfetal stark intensiviert	e
definitive Größenordnung des Gehirns ab 3. Jahr (Mak. 2. Jahr)	o	definitive Größenordnung des Gehirns ab 6. Jahr	e
Zahnwechsel zwischen Etappen der Z'vermehrg. eingesch.	o	Gesamter Zahnwechsel zw. Durchbruch v. 1. u. 2. Mol.	e
Durchbruch der 2. Dentition 3.–11. Jahr (Mak. 2.–7. Jahr)	o	Durchbruch der 2. Dentition 7.–20. Jahr	e
Durchbruch der 1. Dentition 3.–13. Monat (Mak. 1.–6. Monat)	o	Durchbruch der 1. Dentition 8.–28. Monat	e
Längenwachst. d. alveol. Kiefer-Reg. m. Z'w. intensiviert	s	Längenwachst. d. alveol. Kiefer-Reg. m. Z'w. abgeschl.	o
III. Gebiß		*III. Gebiß*	
Caninusgruppe heteromorph	s	Caninusgruppe homomorph	
unterer Pm 1 stark an C angeglichen; Innenhöcker fehlend oder rudimentär		unterer Pm 1 nicht an C angeglichen; mit starkem Innenhöcker	
Incisiven klinostatisch mit Diastema		Incisiven orthostatisch ohne Diastema	
unt. dPm 1 1 Haupthöcker (+ rudim. Nebenhöcker)	s	unt. dPm 1 4–5 Höcker	o
Zahnbogen U-förmig, lang	s	Zahnbogenschenkel im Unterkiefer stark diverg., kurz	o

Pongiden-Typus	Bewertung	Homo-sapiens-Typus	Bewertung
IV. Konstruktion der Extrem.		*IV. Konstruktion des Extrem.*	
Normalstellung genu-varum mit Flexion im Knie	s	Normalstellung genu-valgum mit Extension im Knie	e
Großzehe in Normalstellung stark abduziert	o	Großzehe in Normalstellung adduziert	e
Leboucqsches Gelenk mediodistade Diarthrose	o	Leboucqsches Gelenk distade Amphiarthrose	e
Facies malleolaris tibialis flacher	s	Facies malleoli tibialis steiler	o
Tuber-Achse stark geneigt	s	Tuber-Achse wenig geneigt	o
Condylen-Tangenten am Femur mediad divergierend	s	Condylen-Tangenten am Femur laterad divergierend	
distaler Diaphysenw. < 90°	s	distaler Diaphysenw. ca. 90°	o
Musculus quadratus plantae ohne Caput mediale; rudimentär	s	Musculus quadratus plantae mit Caput mediale	o
Cuneiformia und Naviculare relativ kürzer	s	Cuneiformia und Naviculare relativ länger	o
Hand in quadrup. Stellung dorsal auf Phalangen gest.	s	Hand in quadrup. Stellg. auf Volarfläche gest. (Kleinkind)	o
V. Schädelform		*V. Schädelform*	
Hirnsch. < Gesichtsschädel	o	Hirnsch. > Gesichtsschädel	e
Supraorbitalhöhen-Index: niedrig	o	Supraorbitalhöhen-Index: hoch	e
starke Totalprognathie	o	schwache Totalprognathie	e
größte Br. in Geg. d. Jochbog.	o	größte Br. oberh. d. Jochbog.	e
geringe Basiskyphose	o	starke Basiskyphose	e
Orbita kaum v. Gehirn bedeckt	o	Orbita vom Gehirn bedeckt	e
Ala parva wenig abgesetzt	o	Ala parva stark abgesetzt	e
früher Nahtverschluß	s	später Nahtverschluß	o
Jochbog. relativ z. Orbita tief	o	Jochbog. relativ z. Orbita hoch	e
Inion hochliegend	o	Inion tiefliegend	e
For. magnum «hinterständig»	o	For. magnum «unterständig»	e
Nuchalplatte relativ steil gestellt	o	Nuchalplatte relativ flach gestellt	e
Winkel zwischen Clivusachse und Gaumenachse groß	o	Winkel zwischen Clivusachse und Gaumenachse kleiner	e
mit Proc. postglenoidalis		ohne Proc. postglenoidalis	
Fossa mandibularis ohne Pars tympanica	o	Fossa mandibularis mit Pars tympanica	e

Pongiden-Typus	Bewertung	Homo-sapiens-Typus	Bewertung
VI. Extremitäten-Indices		*VI. Extremitäten-Indices*	
Intermembral-Index M > 130 (136,5–170 S) (Cerc. 110 S +)	s	Intermembral-Index M < 90 (88 S)	o
Intermembral-Index Skelett M > 110 (112–144 S) (Cerc. 89 S +)	s	Intermembral-Index Skelett M < 80 (71 S) *	o
Totallängen-Index Extremitäten M > 100 (105,5 bis 122 KMo) (Cerc. 78 Mo +)	s	Totallängen-Index Extremitäten M < 80 (72,5 Mo) *	o
r. Beinlänge < 180 (154–173 KS)	o	r. Beinlänge > 200 (207 S)	e
r. Oberarmlänge M 65–78 (KMoS) (Cerc. 42 MoS +)	s	r. Oberarmlänge M 64 (S)	o
r. Unterarmlänge M 57–76 (KMoS) (Cerc. 42 MoS +)	s	r. Unterarmlänge M 53 (S)	o
r. Handlänge M 40–59 (KMoS) (Cerc. 28 MoS +)	s	r. Handlänge M 37 (S)	o
r. Oberschenkellänge M 59–68 (KMoS) (Cerc. 49 Mo)	o	r. Oberschenkellänge M 86 (S)	e
r. Unterschenkellänge M 46–54 (KMoS) (Cerc. 47 Mo)	o	r. Unterschenkellänge M 73 (S)	e
r. Fußlänge M 45–68 (KMoS) (Cerc. 44 MoS +)		r. Fußlänge M 49 (S)	

Bei den Extremitäten-Indices bedeutet M = Mittelwerte; die Autoren, aus deren Angaben die Ziffern übernommen oder errechnet wurden, sind hinter den letzteren in folgender Weise angegeben: Mo = Mollison, S = Schultz, K = Kälin. In der Kolonne der Pongiden sind auch Werte für Cercopitheciden angegeben (Cerc.). Das Zeichen + betrifft Mittelwerte, deren jeder aus verschiedenen Arten zusammen gewonnen wurde. Die Angaben für die Hominiden beziehen sich, mit Ausnahme der mit * versehenen Ziffern (ausschließlich Europide), auf verschiedene Rassengruppen.

daß hier durch die Genetik ein etwas tieferes Eindringen in das «Wie» des stammesgeschichtlichen Werdens möglich sei. Aber wir dürfen nicht vergessen, daß die chromosomale Erbgarnitur des Genomes nur ein Teil jenes raumzeitlichen Systems von Faktoren ist, mittels welcher der harmonische Gesamtablauf der Ontogenese gesteuert wird.

Die Punkte, in denen der Mensch sich im Rahmen der Catarrhinen typophän oder typusnäher verhält im Verein mit der Divergenz zwischen den Spezialisationen der Anthropoiden und den Merkmalen der menschlichen Elevation, deuten an, daß die gemeinsame Wurzelgruppe der *Hominoidea* und der *Pongoidea* viele Züge entbehrte, welche für die letzteren kennzeichnend sind. Eine solche Wurzelgruppe dennoch unter den Begriff der «Anthropoiden» zu stellen, ist kaum gerechtfertigt.

Die Auffassung, daß die Entstehung wesentlicher Merkmalskombinationen der menschlichen Gestalt zeitlich viel weiter in prähominide Zustände zurückgreift, als man früher glaubte, wird auch durch die paläontologischen Dokumente bestätigt.

Werfen wir zunächst einen Blick auf die fossilen Hominiden! Sie erlauben uns, trotz vermittelnder Stellung mancher Funde drei Haupttypen zu unterscheiden, denen die meisten Dokumente gruppenmäßig eindeutig zugeordnet sind. Angeordnet im Sinne abnehmender Ähnlichkeit mit den Pongiden, handelt es sich um 1. die *Archaeanthropi*, 2. die *Palaeanthropi*, 3. die *Neanthropi* (Pithecanthropus-Gruppe, Neandertaler-Gruppe und «Sapiens»-Gruppe), aber die Meinung, daß es sich in dieser Reihe um den Ausdruck einer geradlinigen Evolution handle, ist längst erschüttert.

Am meisten von modernen Menschenrassen abweichend sind die *Pithecanthropus*-Formen aus der *Trinil-* und *Djetis*-Stufe vom mittleren und unteren Pleistozän auf Java. Zur Hauptsache handelt es sich um *Pithecanthropus erectus*. Seine mittlere Kapazität des Gehirnes beträgt zirka 880 ccm. Im Vergleich zum «*Sapiens*»-Typus fällt bei den *Pithecanthropus*-Formen vor allem auf: die Flachheit der Stirn, die gewaltigen Tori supraorbitales (Oberaugenbrauenwülste), die geringe Kapazität (Volumen der Schädelhöhle), die relative Größe des Gesichtsteils, die Massigkeit der Kiefer, die sog. «Zeltform» des Schädels mit der größten Breite in der Gegend der Jochbogen, die hohe Lage des hinteren Schädelpols, die Konfiguration der Felsenbeinpyramide usw. (Charakteristisch ist ferner die große Dicke der Schädelknochen, der flache Verlauf der Sutura squamosa, der eigentümliche Knochenwulst im Bereich der Pfeilnaht wie jener in der Hinterhauptsgegend, das Fehlen der als Fossa canina bezeichneten Einsenkung des Gesichts unter den Augenhöhlen, das Fehlen des Kinnes usw.) Die Angleichung an Zustände der Pongiden beruht vor allem auf Merkmalen, die entwicklungsmechanisch durch das Verhältnis der Wachstumsintensitäten von Gehirn- und Gesichtsteil bedingt werden. Das früher als «Schädel Nr. 4» bezeichnete Dokument zeichnet sich aus durch den gestreckten Verlauf der Zahnbogenschenkel, die außerordentliche Massigkeit und die Lücke vor dem oberen Eckzahn. Diese Umstände berechtigen uns, hier mit Weidenreich eine Sonderform der Gruppe anzunehmen, *Pithecanthropus robustus*.

Viel umfangreicher sind die Dokumente, welche die zweite Hauptform der gleichen Gruppe betreffen, *Pithecanthropus pekinensis* aus der Gegend von Chou-Kou-Tien, 40 km SW von Peking. Es handelt sich hauptsächlich um Schädelreste von mehr als 40 Individuen. Die mittlere Kapazität beträgt zirka 1075 ccm (Weidenreich, 1943). Die Stirn ist etwas steiler als bei *Pithecanthropus erectus* und dadurch mehr gegen den Torus supraorbitalis abgesetzt. Die Begleitfauna ordnet sich zwischen das Obere Pliozän und die Leitformen des Löß ein. Zur Hauptsache dürfte *Pithecanthropus pekinensis* ins Mittelpleistozän fallen. Wenn einzelne Autoren gelegentlich noch ein frühpleistozänes Alter annehmen, handelt es

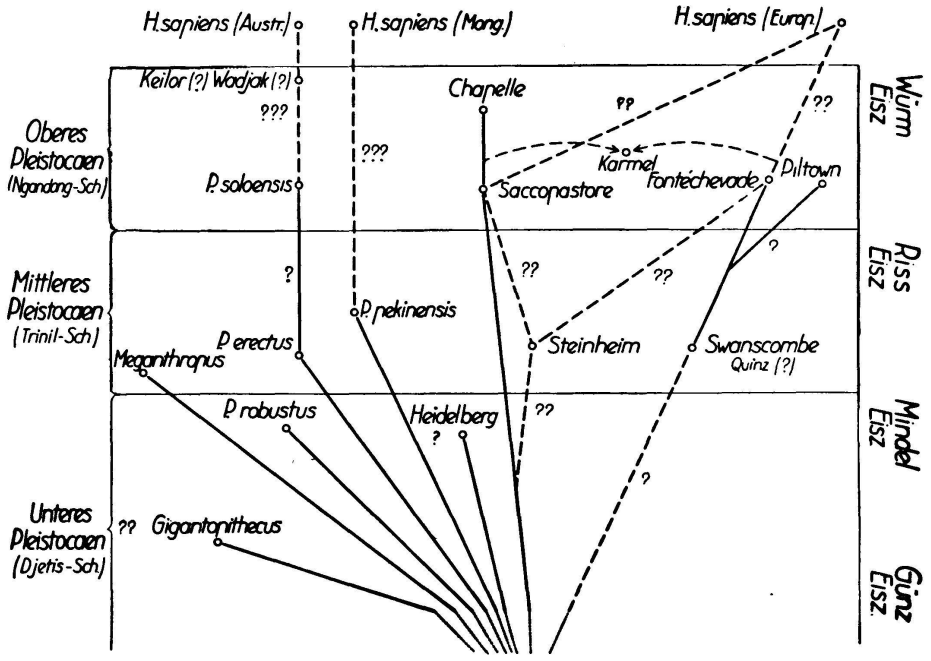
sich weniger um Meinungsverschiedenheiten über das wirkliche Alter als vielmehr um eine unterschiedliche Beurteilung der Frage, wo nach praktischen Gesichtspunkten die Grenze zwischen Pliozän und Pleistozän angesetzt werden soll. Trotz den Differenzen gegenüber der Schädelform des modernen Menschheitstypus sind wegen der Begleitindustrie aus Knochen und Stein Zweifel an der menschlichen Natur von *Pithecanthropus pekinensis* kaum gerechtfertigt.

Die Schädelreihe von Ngandong auf Java gehört nicht, wie man früher glaubte, zur Neandertaler-Gruppe. WEIDENREICH (1943) hat gezeigt, daß die ganze Merkmalskombination den Ngandong-Menschen eindeutig in die *Pithecanthropus*-Gruppe verweist *(Pithecanthropus soloensis)*. Dem entspricht auch der niedrige Mittelwert der Kapazität von nur zirka 1100 ccm (WEIDENREICH, 1943). Dagegen erscheint die Knickung der Schädelbasis ungewöhnlich schwach. Die Ansicht WEIDENREICHS, daß die heutigen Australiden aus *Pithecanthropus erectus* über *Pithecanthropus soloensis* und die vielleicht späteiszeitliche Stufe der Schädel von Wadjak und Keilor evoluiert seien, ist im Hinblick auf die eigenartige Gestaltung der Schädelbasis mit der Kürze des Clivus relativ zur Totallänge unhaltbar geworden.

Das Unterkieferfragment mit den so bedeutungsvollen unteren Prämolaren und der Symphysengegend, welches 1941 im unteren Pleistozän von Sangiran gehoben wurde, zwingt uns im Hinblick auf seine unzweifelhaft menschlichen Formqualitäten und die Dimensionen, hier eine wahre Riesenform der Menschheit anzunehmen: *Meganthropus palaeojavanicus*. Dagegen ist durch die neue Untersuchung von REMANE die hominide Natur der riesenhaften Backenzähne von *Gigantopithecus blacki* aus den Yellow Deposits der Gegend von Hongkong (Frühpleistozän) sehr zweifelhaft geworden. Aber schon die Differenzierung der *Pithecanthropus*-Gruppe läßt uns die frühzeitige genetische Radiation innerhalb der Hominiden feststellen (Fig. 4).

Wenden wir uns nunmehr zur Neandertaler-Gruppe! Sie hat in der aus Westeuropa bekannten klassischen Gestalt des «Hochneandertalers» vom Typus der Rasse von La Chapelle-aux-Saints ihre volle Ausprägung gefunden. Im Gegensatz zur relativen Kleinwüchsigkeit umfaßt der große Schädel des «Hochneandertalers» ein Gehirn, dessen Volumen im Mittel über dem mittleren Volumen moderner Menschenrassen lag, und beim prächtigen alten Mann von La Chapelle ca. 1600 ccm betrug. Die Flachheit der Stirn wird durch das auffallende, chignonartige Vorspringen des Hinterhauptes weitgehend kompensiert. Aber der Glaube an eine orthogenetische Evolution der *Neanthropi* (des «Sapiens»-Typus) aus dem «Hochneandertaler» ist heute durch verschiedene Umstände schwer erschüttert. An dieser Sachlage verantwortlich ist z. T. die verdichtete Erkenntnis, daß die Frühformen jener Dokumente, die wir zur Neandertaler-Gruppe zusammenfassen können, im Gegensatz zu den späteren Ausprägungen in verschiedener Hinsicht auffallend an Züge des «Sapiens»-Typus anklingen und gleichzeitig weniger als der «Hochneandertaler» vom Chapelle-Typus spezialisiert

sind. Dahin gehört in erster Linie das wahrscheinlich noch in die Riß-Eiszeit fallende wertvolle Dokument des Schädels von Steinheim an der Murr. Seine Kapazität beträgt nur 1100 ccm. Modern ist dagegen die Abrundung des Hinterhauptes und die geringe Abflachung in der Ansicht von hinten (der querelliptische Umriß des Hinterhauptes beim «Hochneandertaler» fehlt); die Schläfennaht ist stark gewölbt und das Gesicht durch die Einsenkung unter der Augenhöhle in hohem Maße profiliert. Es fehlt also das Spitzgesicht der differenzierten Neandertaler. Neandertalid ist dagegen die Flachheit der Stirn, der mächtige Oberaugenbrauenwulst und die Schwäche des Zitzenfortsatzes.



Figur 4
Schema der zeitlichen Einstufung fossiler Hominiden

Von höchstem Interesse für die Systematik der Hominiden sind die ins Levalloiso-Moustérien der letzten Interglacialzeit fallenden Funde vom Berge Karmel. Sie lassen eine enorme Variationsbreite erkennen, welche zur Unterscheidung von zwei Typen führte, von denen der Tabun-Typus dem Neandertaler auffallend nahe steht, während der Skhul-Typus mehr an den «Sapiens»-Typus anklingt. Wie Dobzhansky (1944) gezeigt hat, lassen die Ergebnisse der Genetik hier kaum eine andere Deutung zu, als daß es sich in der Population vom Berge Karmel um das Resultat einer Bastardierung zwischen Rassen der *Neanthropi* und der *Palaeanthropi* handelt. Hieraus folgt, daß diese Formgruppen ein und derselben polytypischen Species im Sinne des sog. genetischen Artbegriffes angehören. Weidenreich (1943) hat die Meinung vertreten, daß auch die *Pithecanthropus*-Gruppe in den Rahmen dieser Species falle. Gattungsnamen und Artnamen innerhalb der Hominiden wären dann bloß noch Symbole für Rassen und Rassengruppen.

Im Hinblick auf den Steinheimer Schädel und die kleinhirnigen Frühformen der Neandertaler aus der letzten Interglazialzeit (Saccopastore, Ehringsdorf, Gibraltar, ist die Möglichkeit nicht auszuschließen, daß aus diesem Typus nach der einen Richtung der westeuropäische Hochneandertaler, nach einer anderen Richtung aber *gewisse Formen* der «Sapiens»-Gruppe evoluiert haben.

Hier sind auch die Altformen der «Sapiens»-Gruppe wichtig geworden. Das gilt vor allem für den so lange umstrittenen *Homo dawsoni* aus Piltdown in Sussex. Durch die Methode des Fluor-Testes konnten OAKLEY und HOSKINS (1950) zeigen, daß der Fund mit größter Wahrscheinlichkeit in die letzte Interglazialzeit fällt. Ungefähr gleich alt sind die Dokumente des ältesten sicher datierten Menschenfundes auf französischem Boden, welche 1947 Frl. G. HENRI-MARTIN bei Fontéchevade gehoben hat. Gewisse Sonderheiten der Funde von Piltown und Fontéchevade lassen sich kaum im Sinne einer Vorstufe zu den modernen «*Sapiens*»-Formen deuten. Noch älter dürfte nach den Ergebnissen des Fluor-Testes der Schädel von Swanscombe an der Themse sein. Es ergibt sich also, daß wesentliche Züge der «*Sapiens*»-Gruppe älter sind, als man früher annahm. Diese Sachlage veranlaßte einzelne Forscher, die als Ethnologen am Problem der Menschwerdung interessiert sind, den «*Sapiens*»-Typus zumindest als den wahrscheinlichen Urtypus der Menschheit hinzustellen. Aber eine solche Meinung ist nicht weniger willkürlich als die Hypothese von WEIDENREICH, welcher spätere Menschheitsformen von Riesengestalten wie *Meganthropus* ableitet. (Jene Meinung wäre nur dann berechtigt, wenn die paläontologischen Dokumente dafür sprächen, daß der «*Sapiens*»-Typus innerhalb der bekannten Formgruppen der Menschheit als ältester zu gelten hätte. In diesem Zusammenhange darf nicht vergessen werden, daß eine Übereinstimmung der chronologischen Reihe, welche durch das Alter der Funde bestimmt wird, mit den Evolutionsstufen innerhalb der Menschheitsgeschichte im voraus nicht erwartet werden kann. Es läßt sich nämlich zeigen, daß die Wahrscheinlichkeit der fossilen Erhaltung von sehr verschiedenen, wechselvollen Faktoren abhängig ist, wobei die Intensität der Fortpflanzung eine große Rolle spielt. Schon dadurch können Inversionen in der Fundreihe gegenüber dem stammesgeschichtlichen Zusammenhang der betreffenden Formen auftreten. Die Häufigkeit solcher Inversionen wird aber in hohem Maße gesteigert durch divergente und parallele Evolutionslinien mit verschiedenem Tempo der Umbildung.)

WEIDENREICH hat auf gewisse morphologische Sonderheiten von *Pithecanthropus pekinensis* und ihre Übereinstimmung mit Eigenschaften der modernen Mongoliden hingewiesen. Er glaubt deshalb auch an einen «geradlinigen» genetischen Zusammenhang. Bestimmte Ähnlichkeiten der ausgefallenen Neandertaler-Form von Broken Hill (Afrika) mit Negriden sollen nach WEIDENREICH ebenfalls stammesgeschichtliche Beziehungen andeuten. Im Hinblick auf die Möglichkeit paralleler Genmutationen bleiben derartige Interpretationen sehr fraglich. (Der Fund von Broken Hill ist auf alle Fälle, wie neuestens wieder LE GROS CLARK

[1950] hervorhebt, als Zeuge einer eigenen Rassendifferenzierung aufzufassen, aus welcher ein Übergang zu irgendeiner modernen Menschenform nicht in Betracht fallen dürfte).

Zweifellos lassen sich aber innerhalb der Hominiden in verschiedenen Evolutionslinien vorherrschende Tendenzen erkennen. Sie betreffen vor allem den Fortschritt der Cerebralisation sowie die zunehmende Angleichung des Schädels an die Kugelform mit der relativen Rückbildung des Gesichtsteiles und der Verstärkung der Basiskyphose. Es besteht eine allgemeine Tendenz zur Brachycephalisation, d. h. der Schädel wurde im ganzen gesehen relativ breiter und kürzer, aber gleichzeitig höher. Dazu gehört auch das Emporrücken der größten Schädelbreite, die Aufrichtung der Stirn und die Umwandlung der Calottengestalt. In der Aufsicht wurde dieser relativ kürzer, in der Ansicht von der Seite und von hinten erweiterte sich die dorsale Partie. Das schließt die Möglichkeit keineswegs aus, daß namentlich im Hinblick auf die *Pithecanthropus*-Formen in bestimmten divergenten Evolutionslinien eine sekundäre verstärkte Angleichung an gewisse bei den pongiden Affen vorkommende Merkmale eintrat.

Hüten wir uns aber, aus der Feststellung allgemeiner Evolutionstendenzen übereilte Schlüsse zu ziehen. Wie schon die große individuelle Variabilität der Hirngewichte und Hirnvolumina bei normaler Intelligenz für moderne Menschen zeigt, kann der bloß quantitative Vergleich der komplizierten Natur dieses Organes nicht gerecht werden. Die Masse allein ist hier in weitem Umfang ebensowenig wie das Oberflächenrelief ein eindeutiger Ausdruck der funktionellen Wertigkeit. Mit vollem Recht hat WEIDENREICH noch 1948 darauf aufmerksam gemacht, daß wir keine Beweise besitzen, die zur Annahme einer generellen Intelligenzsteigerung innerhalb der Hominiden berechtigen würden. «We do not know of any fact which proves, that the mere increase of the size of the brain is tantamount to an advance in mental ability. Is modern man really more intelligent than Peking man or Java man or any great ape only because his brain is larger ?» (Nichts rechtfertigt also die Meinung von BOULE und anderen, daß wegen des relativ geringen Gehirnvolumens des *Pithecanthropus pekinensis* die Kulturdokumente des Chou-Kou-Tienien einer anderen, höheren Menschenform zuzuschreiben seien.)

Durch die fossilen Dokumente seiner Stammesgeschichte ist die Lücke zwischen dem Menschen und den Pongiden nicht geschlossen worden. Dagegen haben wir seit 1946[1]) genauere Kenntnis von jenen Funden aus Südafrika, welche für die stammesgeschichtliche Forschung über den Menschen eine neue Etappe eröffnet haben. Es handelt sich um die *Australopithecus*-Gruppe, von welcher die wichtigsten Dokumente seit 1938 gefunden wurden. Wir verdanken sie vor allem der unermüdlichen Forschertätigkeit von R. BROOM. Er und seine Mitar-

---

[1] *Broom R.* and *Schepers G. W. H.:* The South African Fossil Ape-Men. Transvaal Museum Memoir No. 2, 1946, Pretoria.

beiter, vor allem ROBINSON, überraschen seit Kriegsende die Fachwelt Jahr für Jahr mit hochinteressanten neuen Funden.

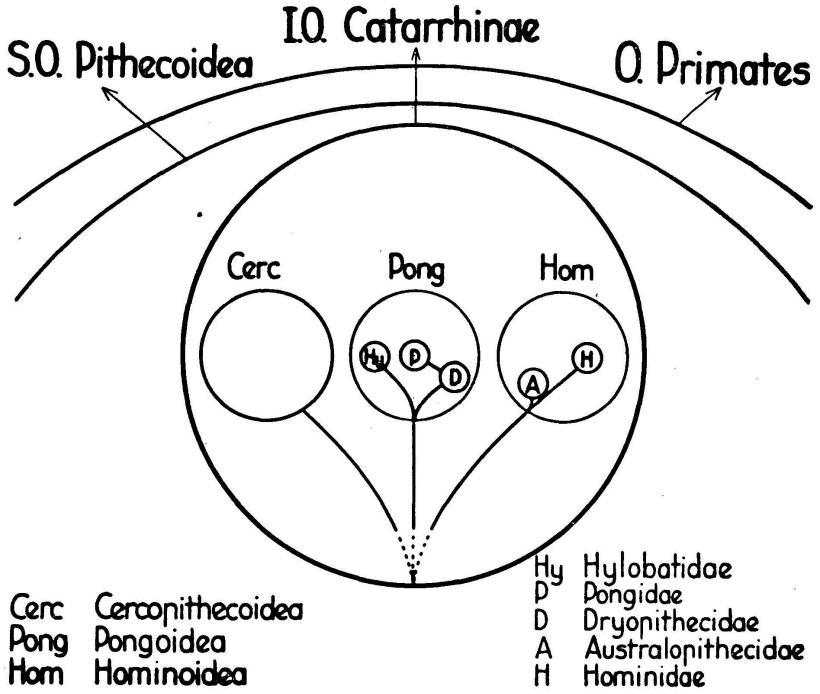
Das Material stammt aus Knochenbreccien von Transvaal und Betschuana-Land. Eine genaue Datierung ist noch nicht mit Sicherheit durchzuführen; doch scheint es sich wenigstens teilweise um Frühpleistozän zu handeln, wahrscheinlich liegt pro parte Ober-Pliozän vor. Bis heute werden fünf Formen unterschieden. Schon 1924 hatte DART bei Taungs (ca. 130 km NW Kimberley) einen Kinderschädel von *Australopithecus africanus* gefunden. Drei Formen stammen aus Zentraltransvaal. Ein umfangreiches Material von *Plesianthropus transvaalensis* ist in der Gegend von Sterkfontein (NW von Johannesburg, ca. 15 km N von Krugersdorp) gehoben worden; von Kromdraai (ca. 3 km östl. von Sterkfontein) kennen wir *Paranthropus robustus*, und eine Riesenform, *Paranthropus crassidens*, stammt von der Lokalität Swartkrans bei Sterkfontein. Nicht weniger bedeutsam sind die seit 1947 in der Gegend von Makapansgat (ca. 16 km NW von Potgietersrust) gefundenen Reste von *Australopithecus prometheus*. Die Begleitfauna dieser Form enthält lange Röhrenknochen von Huftieren, welche wegen der eigentümlichen Abschläge an den Gelenkenden den Eindruck erwecken, daß sie als Schlagwaffe benützt wurden, und auffallenderweise zeigen die zahlreichen Schädel von Pavianen in der Begleitfauna der Australopitheciden Eindrücke und Öffnungen, deren Größe und Form durchaus dem entsprechen, was bei dem erwähnten Gebrauch der Huftierknochen zu erwarten wäre. DART (1949) hat in einer Untersuchung, bei welcher ihm die wertvolle Hilfe von MACKINTOSH, dem Leiter der Abteilung für forensische Medizin an der University of the Witwatersrand, zur Verfügung stand, nachweisen können, daß ca. 80 % der Pavianschädel Spuren von Gewaltanwendung zeigen, die vorläufig nur auf zielstrebig ausgeführte individuelle Schläge zurückführbar sind. Eine chemische Analyse des Breccienmaterials brachte den Nachweis von kohleähnlichen Partikeln, die wahrscheinlich auf Feuerwirkung beruhen. Daß Australopithecus den *Gebrauch* des Feuers kannte, ist aber noch nicht bewiesen. Und ob dieser Australopithecide wirklich ein Mensch, d. h. also ein Wesen war, dessen Lebensführung durch ein zu sich selbst Stellung nehmendes geistiges Prinzip bestimmt wurde, erscheint höchst fraglich. Das gilt selbst dann, wenn er, wie es der Fall zu sein scheint, Knochen von Beutetieren und vielleicht auch Steine als Schlagwaffe benützt hat. Denn die instrumentale Benützung von Dingen in Anstrebung eines situationsgebundenen Zieles geht nicht über das hinaus, was das Seelenleben der Tiere sogar bei Wirbellosen zu leisten vermag.

Die Australopitheciden zeigen eine eigentümliche Kombination von menschlichen Gestalteigenschaften mit typenhaften Zügen höherer Primaten der alten Welt, von denen ja die Pongiden nur einen spezialisierten Zweig darstellen. Gewisse Annäherungen an Formverhältnisse des Pongidentypus betreffen vor allem jene Punkte, welche entwicklungsmechanisch mit dem Größenverhältnis von Gehirn- und Gesichts-

teil zusammenhängen. Im übrigen liegen bei den Australopitheciden in hohem Maße Verhältnisse vor, welche bisher für die Hominiden allein kennzeichnend galten: die Konfiguration der Gelenkgegend für den Unterkiefer (mit Beteiligung der Pars tympanica an der Gelenkpfanne), die tiefe Lage der äußeren Gehöröffnung zum Jochbogen, die hohe Lage des letzteren zur Orbita, die Überlagerung der Orbita durch das Gehirn, die Lagebeziehung von Nasion und Stirnhöhle zum vorderen Gehirnpol, die starke Gliederung der Schädelhöhle mit der Absetzung der Hinterränder an den kleinen Flügeln des Keilbeines, das Fehlen des Processus postglenoidalis, die ganze Gestaltung der Hinterhauptsgegend mit der tiefen Lage von Inion und Opisthocranion, der große Supraorbitalhöhen-Index, die Struktur des Gebisses, der verzögerte Nahtverschluß von innen nach außen, die Retardation des Zahnwechsels bei *Australopithecus prometheus* usw. Das Gebiß der Australopitheciden zeigt den menschlichen Typus vor allem in der homomorphen Caninus-Gruppe, im Fehlen der Zahnlücken, in der Molarenähnlichkeit des ersten unteren Prämolaren in Milch- und Dauergebiß und weitgehend auch in der Form der Zahnbogen. Auch das Relief der Backenzähne steht den Hominiden näher als den Pongiden. Bei *Paranthropus robustus* ist die Angleichung des wichtigen ersten unteren Prämolaren an die Molaren geradezu «ultrahominid». Das gilt teilweise auch für die Profilierung des Jochbogens. Die begründeten Schätzungen des mittleren Gehirnvolumens für *Paranthropus robustus* und *Plesianthropus transvaalensis* zusammen belaufen sich für den Adultzustand auf zirka 500 bis 650 ccm. Besonders menschenhaft erscheint das 1949 gefundene Hinterhauptsbein von *Australopithecus prometheus*. Durchaus mit dem rezenten Typus der «Neanthropi» übereinstimmend ist hier die tiefe Lage des Opisthocranion (hinterer Schädelpol), die noch tiefere Lage des Inion (welches ungefähr die obere Grenze der Nackenmuskulatur andeutet), die enorme Größe des Schuppenteils und die flache Stellung der Nackenplatte. Besonders wichtig ist ferner die Konfiguration des Beckengürtels. Ein 1947 gefundenes Hüftbein von *Plesianthropus* zeigt trotz gewissen Abweichungen ganz vorherrschend hominide Züge. Vor allem gilt das aber für ein entsprechendes Dokument von *Australopithecus prometheus* aus dem Jahre 1948. Diese Belege zusammen mit der Lage der Hinterhauptscondylen bei *Plesianthropus* und *Paranthropus* berechtigen uns zur Annahme, daß die Australopitheciden wenigstens zum Teil zu einer bipeden Körperhaltung im Gehen und Stehen befähigt waren, die im wesentlichen menschlichen Verhältnissen entsprach. Wie auch Broom (1950), Le Gros Clark (1950) und Heberer (1951) betonen, wird es aber immer deutlicher, daß wir es in den Australopitheciden mit einer Formgruppe zu tun haben, in welcher die Grenzen zwischen menschlicher und vormenschlicher Gestalt im ganzen weitgehend verwischt sind.

Die Tatsache, daß typenhafte Züge der Hominiden, welche man früher auf diese beschränkt glaubte, in so hohem Umfange in prähominiden Vorstufen vorgebildet sind, ist ein weiterer Hinweis auf die frühzeitige Ausgliederung des prähominiden Gestalttypus aus dem Stock der

Catarrhinen. Diese Schlußfolgerung wird unterstrichen durch die von Le Gros Clark vor kurzem beschriebenen Dokumente hauptsächlich der *British-Kenya-Miocene-Expedition* aus dem unteren Miozän von Ostafrika. Es handelt sich um Formen wie die *Proconsul*-Gruppe, bei welchen die auffallenden Züge der späteren *Pongoidea* zum Teil noch fehlen, während an Schädel und Extremitäten unverkennbare Anklänge an die *Cercopithecoidea* und an die *Hominoidea* vorliegen. Diese Situation berechtigt uns zur Annahme, daß die Evolutionslinien der *Pongoidea* und der *Hominoidea* bereits in Pliozän aus einem gemeinsamen Wurzelstock ausgegliedert wurden.



Figur 5

Phyletische Deutung im Rahmen der Catarrhinen

Die typologischen Beziehungen innerhalb der Catarrhinen und die evolutive Deutung dieser Beziehungen sind in Figur 5 schematisch als Projektion in die Gegenwart dargestellt. In der Nähe vom Typuskreis der Catarrhinen sind die Bezugslinien punktiert. Damit soll angedeutet sein, daß die Frage offen bleibt, ob die Wurzelgruppe der *Hominoidea* und der *Pongoidea* innerhalb der *Protocatarrhinen* bereits von derjenigen der *Cercopithecoidea* getrennt war. Wir wollen aber nicht vergessen, daß stammesgeschichtliche Rekonstruktionen stets Deutungen sind, welche jederzeit vom Stande verschiedener Forschungsrichtungen und deren Wertung abhängen. *In diesem Sinne dürfen wir annehmen, daß unsere evolutiven Deutungen eine mit der Wissenschaft fortschreitende Annäherung an die realgenetische Wirklichkeit darstellen.*

Der neue Aspekt der menschlichen Stammesgeschichte ergibt vor allem folgendes:

1. Typenhaft menschliche Formeigenschaften sind in weitem Umfang in prähominiden Zuständen der Australopitheciden vorgebildet.

2. Diese ebenso wie vergleichend-anatomische Sachverhalte an rezentem Material deuten die frühe Ausgliederung der *Pongoidea* und der *Hominoidea* aus einem gemeinsamen Wurzelstock an.

3. Innerhalb der Hominiden ist eine starke Formenradiation mit Koexistenz der *Archaeanthropi*, *Palaeanthropi* und *Neanthropi* im Oberen und Mittleren Pleistozän nachgewiesen. (Fig. 4.)

4. Die Population vom Berge Karmel scheint anzudeuten, daß wenigstens die *Palaeanthropi* und die *Neanthropi* ein und derselben Species im Sinne des genetischen Artbegriffes angehören. Dadurch würde der Gegensatz gemildert zwischen der älteren Auffassung einer «orthogenetischen» Evolution und dem Bild der Formenradiation. Wenn, wie WEIDENREICH (1943) annimmt, auch die *Archaeanthropi* in die gleiche Species fallen, dann haben innerhalb der Hominiden Gattungs- und Artnamen nur noch die Bedeutung von Symbolen für Rassengruppen und Rassen.

Zweifellos bildet der Mensch innerhalb der Primaten eine Gruppe der höheren Catarrhinen. Aber die Behauptung, daß er *nichts als* ein Primate oder nichts als ein höherer Catarrhine sei, entspricht keiner wissenschaftlichen Einsicht, sondern einer subjektiven Tendenz. Sie entspringt jenem geistigen Lebensraum, den wir in Entlehnung eines Wortes von JULIAN HUXLEY als die Schule der «nothing but» bezeichnen könnten. Diese wird charakterisiert durch die Bindung an eine monistische Interpretation der Welt. Aber mit biologischen Methoden den geistigen Wesenskern des Menschen und seine Eigenständigkeit widerlegen zu wollen, beruht auf dem gleichen methodologischen Fehler wie das Bemühen um die Begründung des metaphysischen Vitalismus durch den experimentellen Versuch. Man kann mit keinem Begriffssystem Sätze ableiten, deren Inhalt mit dem betreffenden System nicht kommensurabel ist. Aber durch die Korrelate zur objektivierenden Umweltbezogenheit weist die biologische Anthropologie über sich selbst hinaus in jene Bereiche der Wirklichkeit, in welchen der Mensch zum Menschen wird. Mit dieser Feststellung sind wir an einer jener Grenzen naturwissenschaftlicher Erkenntnis angelangt, wo das Reden des Fachmannes aufhört und sein Schweigen anhebt. Es ist ein Schweigen, das sich auflöst in Ehrfurcht, jene Ehrfurcht, welche immer wieder das Tor öffnet zu den großen Deutungen der Metaphysik.

Die Tiefe der Alpentäler

Von

R. v. Klebelsberg

«Die Tiefe der Alpentäler» ist ein Thema, das in der Schweiz seinen Ausgang genommen hat und zu dem von hier aus sachlich und persönlich wichtigste Beiträge geliefert worden sind.

Es sind bald 100 Jahre her, daß zwei hervorragende Gletscherforscher, A.C. Ramsay und John Tyndall, aus Schweizer Eindrücken heraus die Anschauung vertraten, die Becken der großen Alpenseen und die Alpentäler wären zu wesentlichen Anteilen durch die Gletscher ausgeschürft worden. Die These löste einen Sturm der Entrüstung aus, an die Spitze der Gegner trat, gleich scharfsinnig als Beobachter wie gewandt als Wortführer, Albert Heim. Die Wogen des Streites um das Ausmaß der glazialen Tiefenerosion haben sich seither sehr gemäßigt. Negierung und Übertreibung sind im Sinne eines bescheidenen Mittelmaßes einander entgegengekommen. Als übergeordnete Frage blieb und trat seither stärker hervor: *Wie tief sind überhaupt die Alpentäler?* Eine Frage, die in neuerer Zeit über die Wissenschaft hinaus auch große praktische Bedeutung erlangt hat, besonders im Zusammenhang mit den großen Kraftwerksbauten und für die Grundwassererschließung. Und die Technik hat mit wichtigste Aufschlüsse geliefert, wobei freilich zu bemerken ist, daß die Wissenschaft oft erst sehr verspätet, manchmal überhaupt nicht erfährt, was die Technik erarbeitet hat.

Es war Albert Heim, der als erster so recht eigentlich die Frage nach der Tiefe der Alpentäler stellte, sie in ihrer vollen Tragweite erfaßte und bis heute Wichtigstes dazu beitrug; mit sicherem Blick hat er die Tiefe der Alpentäler schon zu einer Zeit richtig eingeschätzt, als dafür noch keinerlei konkrete Anhaltspunkte zur Verfügung standen.

Die *Grunderscheinung* ist, daß die Sohlen der größeren und großen Alpentäler allgemein in Aufschüttungen liegen und nur ausnahmsweise da und dort Fels zum Vorschein kommt. Und selbst in diesen Ausnahmen handelt es sich oft nur um Epigenesen, durch die das Flußbett sekundär in den Talhang verlegt worden ist, während ein älteres, tieferes Gerinne nebenan verschüttet ist.

Die tiefe Verschüttung der Alpentäler wurde erstmals weiteren Kreisen drastisch vor Augen geführt durch ein seinerzeit viel bespro-

chenes Ereignis hier in der Schweiz: *die Katastrophe beim Bau des Lötschbergtunnels* im Sommer 1908. 160 m unter der oberflächlichen Sohle des Gasterntales stieß der Vortriebsstollen zur größten Überraschung aller auf einmal aus dem Fels hinaus in eine wasserdurchtränkte Schuttmasse, die mindestens bis in diese Tiefe den Talgrund erfüllte. Da die Schuttfüllung von der Seite angefahren wurde, blieb die Möglichkeit offen, daß sie noch beträchtlich tiefer reicht: Die Felssohle des Gasterntales liegt in unbekannter Tiefe unter dem Tunnelniveau. Dadurch wurde zum erstenmal in einer jeden Zweifel ausschließenden Weise bekannt, wie weit in Alpentälern die oberflächliche (Aufschüttungs-) Sohle von dem wahren, felsigen Talgrund abstehen kann, bis zu dem die Täler früher schon einmal eingeschnitten worden sind.

Seither haben eine ganze Reihe von Beispielen aus den West- und Ostalpen ähnliches gelehrt. Wir haben erfahren, daß nicht sehr viel fehlte, auf daß ähnliches wie am Lötschberg auch beim Bau des Gotthardtunnels passiert wäre: Eine Bohrung aus dem Tunnel (1140 m ü. M.) nach oben geriet schon in 40 m Höhe, 250 m unter der oberflächlichen Sohle bei Andermatt, in die Schuttfüllung des Urserentales. Bohrungen, die bei dem großen, mit Schweizer Geld durchgeführten Kraftwerksbau im obersten Vintschgau (Südtirol) in der Schuttschwelle der Seen auf der Malser Heide niedergebracht wurden, erreichten in 183 m Tiefe den wahren, felsigen Talgrund noch nicht. Bohrungen im Längenfelder Becken im Ötztal (Nordtirol) ergaben Verschüttungstiefen von 150 m und mehr. Ja selbst in dem Hochtal am Südausgang des Tauerntunnels bei Mallnitz in Kärnten wurde eine Verschüttung von mehr als 100 m angetroffen.

In diesen und anderen Fällen aber handelt es sich doch um relativ kleine Täler oder kurze Talabschnitte, die mehr oder weniger weit im Alpeninnern liegen, um Talräume, für die sehr wohl örtliche Beckenbildung durch Gletscherschurf, Bergsturz- oder Schuttkegelstau in Betracht kommt. Sie sind daher für die große, allgemeine Talzuschüttung nicht ausreichend zuständig.

Für große Täler lieferte erstmals die Bohrung von Diepoldsau im sanktgallischen Rheintal Anhaltspunkte; sie erwies eine Verschüttungstiefe von mehr als 200 m, machte aber merkwürdig wenig von sich reden. Besondere Bedeutung hingegen erlangten Aufschlüsse im *Inntal bei Innsbruck*. Hier wurde im Jahre 1921, wie O. Ampferer treffend sagte, dank des Mangels an Kohle und des Überflusses an Vertrauen in die Wünschelrute, eine Bohrung niedergebracht, die 200 m unter der 2 km breiten Aufschüttungssohle noch nicht den Fels erreichte. Wieder also nur ein punktweiser Mindestwert der Verschüttungstiefe, besonders bemerkenswert nun aber deshalb, weil 60 km weiter innabwärts bei dem Eisenbahnknotenpunkt Wörgl zwei weitere Bohrungen schon in 92 und 98 m Tiefe auf Fels stießen. Wenn schon nicht völlig ausgeschlossen werden kann, daß sie auf Felsaufragungen gerieten, wie sie bei Kufstein als Inselberge über die Aufschüttungssohle vorschauen, ist doch wahr-

scheinlicher, daß es wirklich die Felssohle ist, daß diese also auf die 60 km von Innsbruck bis Wörgl innabwärts mindestens ebensoviel, rund 50 m, ansteigt, wie die Aufschüttungssohle in der gleichen Strecke absteigt.

Damit war nun hier an einem großen Alpentale die Problematik der Frage so recht aufgerollt. Der genauere Bohrbefund wies innerhalb der Schuttfüllung wiederholtes Fortschreiten von Feinerem unten zu Gröberem oben aus, also wiederholte Verlandungsserien, ohne daß irgendwelche Moränenzwischenschaltungen festgestellt wurden. Daraufhin glaubte Ampferer glaziale Beckenbildung ausschließen zu können. Denn in einem glazialen Becken wäre eine einheitliche Verlandungsserie zu erwarten, einfaches Fortschreiten von Feinerem unten zu Gröberem oben, oder es müßten so viele Vergletscherungen erfolgt sein, als Verlandungsserien da sind, und obere Teile der jeweils älteren Schuttfüllung immer wieder durch den nächstfolgenden Gletscher ausgeräumt worden sein. Diesfalls aber sollte dann doch wenigstens die eine und andere Moränenzwischenschaltung festgestellt werden können. Ampferer kam in der Folge zur Annahme *jugendlicher Verbiegungen der Alpentäler*, Verbiegungen noch spät im Pleistozän, durch die die Flüsse ihr Gefälle verloren hätten, zunächst zu Seen gestaut und diese dann zugeschüttet worden wären. Er nahm damit jene älteren Vorstellungen wieder auf, die immer schon mit lebhaften bis ins Quartär anhaltenden Krustenbewegungen innerhalb der Alpen gerechnet hatten.

Damit stehen nun aber wie in allen großen Alpentälern, so gerade auch im Inntal die so schön entwickelten präglazialen Formlinien, die weithin gleichmäßig entlangziehenden alten Talböden und hochgelegenen Oberflächensysteme in unlösbarem Widerspruch: Sie lassen nichts von den angenommenen Verbiegungen erkennen, ihre Beständigkeit für weite Strecken spricht vielmehr mit aller Bestimmtheit dagegen.

So kam man auch im Inntal bei Innsbruck wieder auf die glazialerosive Deutung zurück. Man erwog, wie schwierig es in der Praxis ist, in dem Material, das bei Schuttbohrungen, Löffelbohrungen heraufgeholt wird, geringmächtige Moränenzwischenschaltungen nachzuweisen, man betonte, daß die erbohrte Rückfälligkeit der Inntal-Sohle ihrer Größenordnung nach unschwer mit der Gletschermächtigkeit in Einklang gebracht werden könnte – diese betrug bei Innsbruck nach neuen Funden maximal fast 2000 m, also das 30- bis 40fache der 50-m-Rückfälligkeit, die durch die Bohrungen nachgewiesen wurde. Dazu kommt noch, daß die Konfiguration der Umgebung ein Nachlassen des Gletscherkolks gegen Wörgl hin zufolge Diffluenzen, Eisabgaben wahrscheinlich macht.

Aber selbst angenommen, die glazialerosive Deutung träfe im Falle des Inntals bei Innsbruck zu – das Grundsätzliche der Erscheinung, die Tiefe der Talverschüttung, geht über diesen Fall und andere evtl. ähnliche hinaus: Große, nach Hunderten von Metern messende Abstände zwischen der heutigen oberflächlichen Talsohle und dem wahren felsigen Talgrund finden sich auch in Gebieten, wo man nicht mehr mit 40-, 30-

oder auch nur 20facher Gletschermächtigkeit und der ihr entsprechenden Erosionskraft rechnen kann.

Dafür ist sehr bezeichnend ein Vorkommen im Osten der Ostalpen, im *steirischen Ennstal.* Hier wurde von der 2 km breiten Aufschüttungssohle bei Wörschach westlich Liezen aus eine Bohrung niedergebracht, die erst in 195 m Tiefe den Felsgrund erreichte. Wennschon auch hier die Felssohle aller Wahrscheinlichkeit nach talabwärts ansteigt, so fiele es hier doch sehr schwer, die Rückfälligkeit des Talgrundes dem eiszeitlichen Ennsgletscher zuzuschreiben; er war hier dazu einerseits nicht mehr mächtig genug, indem er schon 50 km weiter talab endigte, anderseits reliefmäßig in seiner Bewegung gehemmt. In gleiche Richtung weist ein neuester Bohrbefund aus den Bayerischen Alpen. Am Ostende des breiten *Längstales der Isar,* südlich Bad Tölz, ergab eine Bohrung eine Verschüttungstiefe von 80 m in einer Lage, wo dafür weder nach Gletschermächtigkeit noch nach den Strömungsverhältnissen ein entsprechendes Ausmaß der Gletschererosion wahrscheinlich gemacht werden könnte.

Noch weiter im Osten aber, über das Ennstal hinaus, gegen den *Ostrand der Alpen* hin, nimmt der Abstand zwischen Aufschüttungssohle und Felsgrund auffallend ab, bzw. er verliert sich ganz. Im Tale der Mur, nördlich Graz, beträgt die Verschüttung, wie J. Stiny berichtet hat, nur mehr ein paar bis 10 m, im Tale der Mürz (vom Semmering) liegt die oberflächliche Talsohle, wie H. P. Cornelius beschrieb, für ein paar Hundert Meter Breite auf oder nahe über dem Fels. Das ist sehr bemerkenswert, denn hier verlor sich auch die zusammenhängende eiszeitliche Vergletscherung – irgendwie scheinen also doch ursächliche Beziehungen zwischen eiszeitlicher Vergletscherung und Talverschüttung zu bestehen.

Gegen die glazial*erosive* Deutung aber sprechen mit am bestimmtesten jene altbekannten Tatsachen, auf die schon Albert Heim immer besonderes Gewicht gelegt hat und an denen auch wieder die Schweiz Anteil hat: *die Becken der großen Seen am Alpenrande.* Sie stellen Tiefenanteile der großen Alpentäler vor, die in Zusammenhängen, auf welche Rudolf Staub neues Licht geworfen hat, unverschüttet blieben, die statt mit Schutt lediglich mit Wasser aufgefüllt worden sind, wo man also statt zu bohren nur zu loten brauchte, um Mindestwerte der absoluten Tiefe zu erhalten. Und gerade die tiefsten dieser Seebecken, die des Comer-, Langen- und Gardasees, die mit Wassertiefen von 410, 372 und 346 m bis 281 m unter den Meeresspiegel hinabreichen und dabei vielleicht erst noch am Beckengrunde eine Schuttauflage auf dem Fels haben, sind so weit gegen den Alpenrand vorgeschoben und schließen so nahe an die Gletscherenden an, daß es äußerst unwahrscheinlich wäre, sie glazialerosiv zu deuten, die Gletscher müßten da bis zum Betrage eines Drittels oder gar der Hälfte ihrer eigenen Tiefe erodiert haben! Hier scheiden alle die mehr oder weniger lokalen Deutungsversuche aus, die weiter im Innern der Alpen fallweise noch Geltung haben können, hier

gibt sich so recht das Übergeordnete der Erscheinung zu erkennen: Die wahre, absolute Tiefe der großen Alpentäler *reicht beträchtlich unter das Niveau hinab, in welchem tiefstens die Erosion erfolgte*, die Täler sind nach ihrer Erosion abgesunken und in entsprechendem Ausmaß mit Wasser oder Schutt aufgefüllt worden. Abgesunken, aber nicht durch individuelle, örtliche, etwa talweise Krustenverbiegungen – von solchen lassen die älteren Formlinien und -systeme nichts erkennen –, das Einsinken ist weiträumig, mehr im ganzen, gemeinsam, gebirgskörperweise erfolgt.

Es ist das, was ALBERT HEIM schon vor mehr als einem halben Jahrhundert das *Rücksinken der Alpen* genannt hat. Damit wird die tiefe Lage der Talsohlen verständlich, über alle örtliche Beckenbildung, einschließlich jener durch Gletscherschurf, hinaus. Wenn sich HEIMS Gedanke trotzdem nicht durchgesetzt hat, ja im Lauf der letzten Jahrzehnte in den Hintergrund getreten ist, so dürfte daran das Unbefriedigende der ursächlichen Deutung schuld sein, die ihm HEIM gegeben: Er suchte es isostatisch aus der durch die Gebirgsbildung bewirkten Anhäufung von Gesteinsmassen auf dem alpinen Krustenstreifen zu erklären. Dafür ist der Zeitpunkt zu spät. Nach der Haupttalbildung wäre dem Gesteinsbestande nach eher eine Entlastung gemäß dem großen Abtrag zu erwarten. Seither nun aber sind dafür andere Beziehungen in Sicht gerückt. Ganz unabhängig von der Alpenforschung, zwei Jahrzehnte nach HEIMS These vom Rücksinken der Alpen, ist in Skandinavien die Lehre von der *Glazialisostasie* geprägt, die Erkenntnis gewonnen worden, daß Skandinavien unter der Last der eiszeitlichen Gletscher abgesunken ist, eine Ansicht, die dann bald auch für das nördliche Nordamerika übernommen wurde. Die Gleichheit der Tatsachen legte ihre Anwendung auch auf die Alpen nahe: Das Rücksinken der Alpen hat neuen, in anderer Weise glazialen Sinn gewonnen. Die untergetauchten Fjordtäler und die mit Schutt und Seen aufgefüllten Alpentäler sind Vergleichsstücke, die eines für das andere zeugen.

Damit finden nun auch die glazialen Beziehungen ihren Sinn, die sich mit dem Auslaufen der tiefen Talverschüttung nach dem Ostrande der Alpen hin ergeben haben: Mit der zusammenhängenden eiszeitlichen Vergletscherung verlor sich in dieser Richtung eben auch die Last, die das Einsinken bewirkte.

Weiterer Klärung bedarf noch die Frage nach dem Zeitpunkt des Absinkens. Diesbezüglich schwankte auch HEIM etwas, jedenfalls aber erfolgte es nach einer der größten Vergletscherungen – ob das nun die zweite oder die dritte war, ist ja auch rein gletscherkundlich nicht so ganz ausgemacht, indem in den einen Gebieten die zweite, in anderen die dritte die größte gewesen zu sein scheint.

Untergeordnet gegenüber dem großen gemeinsamen Absinken gibt es aber doch auch Vorkommnisse, für die *örtliche Verbiegungen*, lokale Krustenbewegungen in Betracht kommen, wennschon in anderer Weise, als AMPFERER annahm. Daraufhin sind jene Ausnahmen zu prüfen, in

denen zwischen langen und breiten Aufschüttungsstrecken unvermittelt Fels zutage tritt, ohne daß hier Talstufen oder Epigenesen vorliegen. Man pflegt da meist an selektive Riegelbildungen zu denken und anzunehmen, der Fels setze an oder nahe unter der Oberfläche von der einen zur anderen Seite durch. In manchen Fällen hat dann aber gerade wieder die Technik gezeigt, daß das nicht zutrifft, daß der Schein trügt und in Wirklichkeit nur eine Verengung des verschütteten Talquerschnitts gegeben ist, fallweise auch ohne selektive Beziehung: Der schluchtartig verengte Schlitz setzt sich mit steilen, fast senkrechten Wänden bis in unbekannte Tiefe fort. In der historisch bekannten Enge des Passes Lueg im *Salzach-Quertal* südlich Salzburg z. B. ist an dieser Tatsache um die Jahrhundertwende ein Sperrprojekt gescheitert, in das schon viel Geld hineingesteckt worden war, und gerade in diesem Falle ist auch keine ausreichende selektive, gesteinsmäßige Ursache für die Verengung des Querprofils zu finden. Fast scheint hier wirklich eine örtlich ganz beschränkte Aufpressung erfolgt zu sein, die dann nach dem Antezedenzprinzip durchschnitten wurde, worauf die Schlucht gleich hoch hinan zugeschüttet wurde wie der breite Talgrund vor und hinter ihr. In manchem Ausnahmefalle aber reicht der Fels wirklich zusammenhängend bis oben, und da haben z. B. im *Salzach-Längstal* zwischen Zell am See und Schwarzach-St. Veit auch neueste Untersuchungen wieder zur Annahme jüngster, evtl. noch andauernder Aufpressungen und antezedenter Durchschneidung geführt. Jeder einzelne solche Fall bedarf genauester Prüfung, wobei mit wichtigste Anhaltspunkte durch die älteren Formlinien gegeben werden. Jedenfalls ist in diesen und ähnlichen Fällen mit der Möglichkeit junger und jüngster Krustenbewegungen im Alpenraume zu rechnen und dürfen solche nicht von vorneherein abgelehnt werden. Auch wenn sie nicht größere oder weiträumige Bedeutung haben, können sie doch von großem grundsätzlichem Interesse und auch praktisch wichtig sein – gerade den ausnahmsweisen lokalen Felsengen im Grunde größerer Täler wendet sich ja immer wieder die Aufmerksamkeit der Techniker zu.

Die Frage nach der Tiefe der Alpentäler kann so zwar schon mit mancherlei Erfahrungen beantwortet werden, eine großzügige Prüfung aber fehlt noch. Was wir wissen, sind nur punktweise, günstigenfalls abschnittsweise Kenntnisse und fast durchaus nur Annäherungswerte. Kein großes Alpental ist systematisch auf die Frage seiner Tiefe erforscht, kein einziges großes Querprofil, erst recht kein ganzes Längsprofil exakt ausgemessen. Früher, mit den Bohrungen, wäre das eine zu kostspielige Angelegenheit gewesen. Heute aber geben die neuen geophysikalischen Untersuchungsmethoden praktisch erschwingliche Möglichkeiten dazu. Im Vordergrunde steht das seismische Verfahren, die Echolotung. Als wir damit vor zehn Jahren im Tirol das Becken von Längenfeld im Ötztal auszuloten versuchten, vermochten die Erfahrungen freilich noch nicht zu befriedigen; in diesem relativ engen Tale wurden die Reflexionen von der Felssohle her zu sehr durch jene von den Seitenwandungen her überlagert; seither aber ist das Verfahren verbessert worden und in

großen, breiten Haupttälern tritt diese Fehlerquelle überhaupt zurück. Um so vordringlicher wird die *Aufgabe, endlich einmal ein ganzes großes Alpental systematisch auszuloten.* Das Land, das diese Aufgabe als erstes erfüllt – das Rhein-Quertal vom Bodensee über Chur bis an den Fuß des Splügens würde sich gut dafür eignen –, würde sich den Ruhm einer Forschungsarbeit sichern, die nicht nur der Wissenschaft, auch der Wirtschaft wesentlichen Fortschritt zu bringen verspräche. Wenn ich hier in der Schweiz, dem klassischen Lande der Gletscherforschung, dem Lande, das auch seine geotechnische Forschung so vorbildlich betreibt, mit dazu angeregt haben sollte, wäre mir das der schönste Erfolg meines Vortrages.

Situation de la biologie dans le système des sciences

Séance de discussion du 30 septembre 1951, présidée par F. FIALA et introduite par W.-H. SCHOPFER et F.-E. LEHMANN

La Société suisse de logique et de philosophie des sciences, ayant été admise au sein de la Société helvétique des sciences naturelles, pourra se charger à l'avenir de l'organisation de ces séances de discussion, devenues presque une tradition, puisque nous en sommes à la quatrième.

Un des buts de ces séances est de chercher à atténuer les inconvénients que fait peser sur la recherche scientifique moderne une spécialisation toujours plus exigeante, mais dont il n'est pas question de mettre en doute ici la nécessité et la fécondité.

L'an dernier, à Davos, plusieurs représentants des sciences exactes avaient souligné quelques-uns des caractères du dialogue engagé entre la théorie et l'expérience. Les représentants des sciences naturelles s'étaient abstenus dans leur ensemble de participer à cette discussion. Pour connaître leurs problèmes méthodologiques, il fallait donc les provoquer sur leur propre terrain. Telle est la raison du thème de la présente discussion.

Exposé de W.-H. Schopfer:

Les relations de la biologie avec les autres sciences

Les représentants de chaque discipline scientifique éprouvent de plus en plus le besoin de connaître les fondements de leur science et de mettre en évidence les caractéristiques de la méthode utilisée. Des contacts sont recherchés avec les sciences voisines dans le but de mettre en évidence l'unité de la méthode dans toutes les disciplines.

M. FIALA, pour obliger les biologistes au débat, a posé la question: «La biologie est-elle une science autonome? Qu'a-t-elle reçu des autres disciplines et que leur a-t-elle apporté?» J'introduirai donc la discussion en répondant brièvement aux questions de notre président.

Il me semble opportun d'évoquer rapidement la classification des sciences de Naville, classification métaphysique ordonnant les diverses disciplines selon les concepts de nombre, d'espace, de temps, de matière, de vie et de pensée; chacune des sciences: arithmétique, géométrie,

cinématique, sciences de la matière inanimée, de la vie, de la pensée faisant usage, en plus du concept qui lui est propre, de ceux des sciences qui la précèdent dans le sytème. Ainsi, le biologiste opère avec les concepts de nombre, d'espace, de temps – essentiel pour lui –, de matière et de vie.

Il est nécessaire – je m'adresse aux non-biologistes – de préciser ce qu'est l'objet de nos recherches et de nos spéculations, *l'être vivant:* un être, au sens philosophique du terme, caractérisé par une forme spécifique, structuré à tous les niveaux (morphologique, microscopique, sub-microscopique), aussi loin que l'analyse directe peut porter. Cette forme spécifique est édifiée à l'aide d'un substrat, la matière vivante, qui, dans sa composition déjà, présente des caractères spécifiques de la vie quoique dans sa constitution élémentaire elle soit, en dernière analyse, construite à l'aide des mêmes éléments que la matière inerte, extérieure à l'être vivant. Ce substrat possède le pouvoir de capter et de transformer l'énergie qui lui est extérieure, en conservant ses caractères spécifiques. Toutes les fonctions de l'être vivant, dans ses relations avec son milieu, tendent vers ce but final: assimilation et utilisation de l'énergie externe, son maintien et son développement dépendant de ces phénomènes.

En d'autres termes: substrat capable de transformer l'énergie extérieure et permettant à la forme de se développer, forme permettant au substrat d'assimiler: deux manifestations intimement liées, interdépendantes sans qu'il soit possible de saisir le sens de cette relation de cause à effet, sorte d'anneau dans lequel aucun commencement ne peut être trouvé tant que nous ne saurons pas le rompre, c'est-à-dire créer volontairement la vie.

L'être vivant étant une forme, une «Gestalt»[1], pourrait paraître obéir aux mêmes lois et principes que les formes du monde inanimé, atomes, cristaux. Il en diffère par une caractéristique fondamentale qui, à elle seule, suffit à caractériser la forme vivante d'une manière univoque: l'être vivant possède la faculté de se reproduire jusque dans les plus petits éléments qui le constituent; il se construit une matière toujours semblable à elle-même sans faire appel à d'autres outils qu'à ceux qu'il se fabrique lui-même, ni à d'autres éléments chimiques qu'à ceux du monde inanimé.

D'autre part cette forme est en perpétuel devenir; elle se développe selon un mode et un rythme qui lui sont propres en manifestant un dynamisme compréhensible étant donné les transformations et les accumulations d'énergie dont elle est le siège.

Enfin, résultat de nombreuses générations qui l'ont précédée, cette forme a un passé qui la détermine; elle est elle-même le départ d'autres formes qui la répètent en lui assurant la continuité génétique pour autant que les conditions extérieures restent compatibles avec le main-

---

[1] Le terme «Gestalt» est intraduisible; son sens et son contenu ne sont qu'imparfaitement rendus par le mot «forme».

tien de ces structures fragiles qu'une élévation de température suffit à altérer d'une manière irréversible.

* * *

Une analyse rapide des rapports de la biologie avec la chimie organique nous permet de saisir les caractéristiques de l'une des méthodes de notre science, même si elle ne lui est pas absolument propre.

L'atomisation de la matière, la recherche de particules toujours plus ténues possédant encore les qualités de la vie constituent la méthode directrice de l'analyse biologique, celle à laquelle elle doit ses plus beaux succès.

L'histoire des sciences nous montre que ces particules, cytoplasmiques ou nucléaires, ont tout d'abord été imaginées; leur existence correspond à un besoin et à une vue de l'esprit. Miraculeusement, ces particules ont été, pour la plupart, découvertes et font partie du réel, de l'objectif, que la science s'efforce de saisir, d'ordonner, de hiérarchiser selon leurs formes, leurs structures et leurs fonctions. Parmi ces particules, le *gène* occupe une place prédominante. Toute la recherche biologique aboutit à ce fait fondamental: les caractères visibles, perçus par les sens, sont conditionnés, gouvernés par des particules élémentaires dont HUXLEY affirmait «que l'homme de la rue lui-même devra incorporer le nom à son vocabulaire, puisque ce sont elles qui nous font ce que nous sommes». Nous savons que ces gènes, dont l'existence est indispensable à notre science, sont localisés dans les chromosomes dont nous connaissons la constitution chimique. En réalité nous ne savons pas ce que sont ces particules que l'on représente schématiquement par de petites boules à l'intérieur des chromosomes. Ils ne peuvent être constitués que par des éléments connus, mais agencés de telle manière qu'inclus dans la totalité du noyau, ils se reproduisent identiques à eux-mêmes. A ce niveau macromoléculaire, structuré d'une manière spécifique se manifeste déjà le caractère fondamental de la vie: celui de l'assimialtion et de la réduplication qui en est la conséquence. Plutôt que de parler de gène, il faut se contenter de parler d'effet génique, lié à un point déterminé du chromosome.

Certes, les recherches modernes, effectuées à l'aide de micro-organismes, ont rendu visibles les premières étapes de certaines biosynthèses; elles apportent la preuve que chacune de ces étapes est le résultat d'un effet génique conditionnant lui-même un effet enzymatique. Elles ne nous renseignent aucunement au sujet de la nature véritable du gène, ni de son mode primaire d'action.

A ce niveau, la chimie, qui nous a conduits à la limite extrême de la connaissance des infrastructures statiques, reste impuissante.

D'autre part, l'effet génique final, résultat de l'action primaire d'une particule hypothétique, s'exprime sur un autre plan; on ne peut comprendre comment l'effet génique primaire détermine finalement la forme spécifique d'une feuille ou d'un fruit. On pourrait dire que le résultat final est transcendant par rapport au gène. Surtout, on ne peut expliquer

le phénomène de régulation résultant du fait que de nombreux gènes agissent synergiquement pour conditionner finalement les structures et les formes spécifiques d'un organe, d'un être vivant.

La chimie nous fait comprendre le mécanisme d'un nombre appréciable de réactions du métabolisme qu'elle sait reproduire in vitro; elle peut transaminer, transméthyler, faire transporter de l'hydrogène d'un substrat sur un autre à l'aide de ferments; elle sait coupler les réactions; elle ne peut nous faire comprendre la synchronisation de ces réactions multiples, leur agencement nécessaire afin que le substrat vivant maintienne sa structure et s'accroisse. En un mot, cette chimie au sein de la matière vivante déroule ses réactions en vue d'une fin, d'un but: le maintien de son existence. Ici, à ce niveau invisible, il y a autant de finalité qu'à celui des formes et des structures découlant de l'activité du substrat.

La chimie seule n'est pas en état de nous faire comprendre la régulation, le choix, la sélection qu'effectue l'être vivant lorsqu'il assimile ce qu'il doit assimiler; il ne commet pas d'erreur, mais on peut l'inciter à en commettre en troublant expérimentalement ce que j'appellerai un *instinct biochimique cellulaire.*

La matière vivante sait effectuer avec les moyens les plus simples des opérations chimiques qu'un biochimiste génial ne peut imiter qu'en partie en faisant appel à toutes les ressources d'une technique raffinée.

La chimie a donné à la biologie une méthode de l'esprit, une technique d'une extraordinaire fécondité; elle a fourni à notre science des fondements solides sans pouvoir nous faire comprendre ce qu'il y a de spécifique dans le biologique.

Qu'a reçu la chimie organique de la biologie? La justification de son existence, en un mot son acte de naissance. Cette chimie a été, il y a plus de 150 ans, appelée organique car elle prétendait s'occuper uniquement des corps présents dans les organes et produits par une «force vitale» (Berzelius, 1796). Très rapidement on s'est aperçu que cette chimie était singulièrement plus complexe qu'il n'y paraissait au premier abord. La possibilité de synthétiser in vitro des corps dits organiques (acide oxalique, 1824, et urée, 1828, par Wöhler) a donné naissance au prodigieux développement d'une chimie organique in vitro, qui s'éloigne de la vie. Elle devra y revenir et trouvera au sein de la matière vivante, dont on peut admettre qu'un jour elle connaîtra complètement la structure et le mécanisme, sa justification dernière et peut-être son acte de décès en tant que science autonome.

* * *

Les rapports avec la physique sont du même ordre. Je ne citerai qu'un seul phénomène essentiel, celui de l'osmose, expliqué et compris pour la première fois par un biologiste (Dutrochet). La cellule vivante a fourni l'osmomètre que le physicien a imité et du fonctionnement

duquel il a établi les lois. La primauté implicitement admise des sciences exactes a conduit à de singuliers excès de langage. On dit: la cellule vivante fonctionne comme un osmomètre et l'imite... Il faudrait dire au contraire: l'osmomètre du physicien imite inintelligemment la cellule vivante...

Le physicien nous a familiarisés avec les lois de l'osmose qui sont valables également pour la cellule vivante. Il est incapable de nous expliquer le phénomène de régulation (épictèse) se produisant lorsqu'une cellule, placée dans un milieu trop concentré, agit comme si elle savait élever sa pression osmotique afin de conserver, par rapport au milieu ambiant, la légère hypertonie nécessaire à la turgescence et à la vie.

Dans ce cas comme dans tant d'autres, la matière vivante offre l'original dans toute sa complexité; le représentant des sciences de la matière inerte construit avec beaucoup d'ingéniosité un modèle simplifié dont le fonctionnement donne lieu à des lois qui l'expliquent. Replacé sur l'original, le modèle ne fait qu'imparfaitement comprendre ce qui se passe au sein de la matière vivante.

Malgré ces réserves, je crois que la pensée du physicien à pénétré profondément notre science et l'a imprégnée. En effet, lorsque HELMOLTZ, en 1882, et Lord KELVIN, en 1852 déjà, ont tenté de comparer l'organisme vivant à une machine, ils ont, longtemps avant le biologiste, considéré cet être vivant comme un tout dont ils ont essayé d'expliquer le fonctionnement comme tel; à vrai dire, ils ont simplifié à l'extrême comme le font et doivent le faire les physiciens lorsqu'ils portent leur attention sur la vie. Par ailleurs, ces comparaisons n'ont conduit à aucun résultat positif; on sait que la «machine vivante» ne fonctionne pas selon le principe de CARNOT. CH.-E. GUYE a fait à ce sujet des remarques très pertinentes.

Le physicien est intervenu d'une manière encore plus générale dans notre science. En effet, il affirme que la température du monde tend à s'égaliser et que la quantité d'énergie susceptible d'être transformée en travail va sans cesse diminuant. La matière vivante, grâce à son pouvoir de synthèse et à sa faculté d'accumuler de l'énergie, aurait la possibilité de lutter contre cette égalisation. Ainsi la vie, ou plus exactement la biosphère (totalité des êtres vivants) acquiert sa place et sa fonction dans l'évolution de l'univers.

Mais, l'intervention du physicien s'arrête là. Je fais à l'égard de la physique les mêmes remarques que pour la chimie.

Il me suffit de lire sous la plume de SCHRÖDINGER «Im Organismus sind neue Gesetze zu erwarten» pour admettre que le physicien, s'il veut bien comprendre l'essence du vital est d'accord avec le biologiste qui, lui aussi, veut se donner la peine de comprendre la physique.

* * *

Devant cet insuccès partiel des sciences exactes à nous faire saisir la nature du vital, on comprend qu'une école de biologistes se soit

orientée dans une autre direction. Il faut cesser de soumettre l'organisme vivant à l'analyse, de chercher en lui des structures toujours plus fines, des particules toujours plus ténues douées des propriétés de la vie; il faut le considérer comme un tout: il est une «totalité», une «Ganzheit». Comme nous l'avons dit cette totalité exprimée par une «Gestalt» possède une forme spécifique en devenir; elle est caractérisée par une cinétique particulière du développement au cours duquel tous ses caractères s'épanouissent en manifestant des corrélations constantes, par des relations structures-fonctions, par une spécialisation fonctionnelle croissante qui n'empêche pas une étonnante plasticité et qui permet un transfert de fonction selon les principes d'analogie et d'homologie, par une faculté de régénération, par une faculté d'adaptation au milieu; elle est caractérisée surtout par une autorégulation qui s'effectue dans le sens du maintien de l'organisme et de sa permanence malgré les variations des conditions extérieures, et, surtout, par son mode de reproduction qui se manifeste à tous les niveaux et affecte toutes les particules douées de la faculté de réduplication.

Cette reproduction et cette transmission de caractères incluent l'organisme dans une phylogénie que l'on s'efforce de reconstituer. L'organisme participe ainsi à une évolution dont il est l'un des éléments. Cette évolution se fait dans un sens déterminé selon des principes de complication morphologique et structurale ainsi que de spécialisation fonctionnelle croissants, d'accélération évolutive croissante, d'irréversibilité, d'hétérotrophie croissante et de constance du milieu intérieur.

On doit retrouver l'essence même du biologique sur ce plan des «totalités». Mais, admettre une totalité, c'est aussi chercher à l'expliquer; on comprend que sur ce plan les conceptions théoriques se soient donné libre cours: conception organismique de VON BERTALANFFY (1928) selon laquelle la vie est une propriété *sui generis* se manifestant sur des objets ayant une organisation définie et qui, de ce fait, deviennent des organismes; conception de DRIESCH qui considère que l'organisme, dans sa totalité est construit pour la vie et fait appel à un principe directeur, logé dans l'organisme, l'entéléchie. Vues purement théoriques, inaptes à faire progresser la science expérimentale.

* * *

La biologie enfin confine à la psychologie. Je n'entends pas uniquement cette psychologie introspective qui étudie les relations du chercheur avec le monde extérieur et qui fait partie de la théorie de la connaissance, mais de la psychologie dans son ensemble. L'être le plus inférieur manifeste déjà une nouvelle propriété fondamentale de la vie, à savoir la faculté de réagir aux excitations du milieu et de répondre à ces dernières par des réactions adéquates. Certes, le mouvement des pseudopodes d'une amibe, comme aussi la conduction de l'influx nerveux chez l'homme sont, en dernière analyse, des phénomènes physiques et chimiques; mais ici encore, il s'agit de phénomènes dirigés, suscep-

tibles de modulations, s'accomplissant à l'intérieur d'un tout, et participant à la défense et au maintien de l'intégrité de ce tout.

Pour l'instant, on peut considérer la psychologie expérimentale comme une partie de la biologie en attendant de devoir considérer la biologie comme une partie d'une psychologie générale; tout se passe comme si la nature, en inventant la vie, voulait introduire la conscience dans l'inanimé.

* * *

Par son essence, et par le fait que le biologiste est lui-même un être vivant, la vie incite aux spéculations. La complication d'un organisme, ses adaptations sont expliquées en faisant appel au hasard, résultat inattendu de causes qui, fortuitement ont agi ensemble; c'est le point de vue du mécanicisme; elles peuvent être également expliquées en faisant appel à une force, à un principe directeur, efficient: c'est le point de vue du finalisme et du vitalisme grâce auxquels toutes les finalités de fait aussi bien que la finalité externe deviennent compréhensibles. Les représentants de ces tendances ne cessent de s'affronter. Les discussions qui en résultent sont stériles en elles-mêmes; leur seul avantage est d'obliger à une revision continuelle des faits et des phénomènes observés. Elles sont inévitables si le biologiste ne veut pas se limiter à la seule constatation des faits expérimentaux mais introduire ceux-ci dans une conception générale du monde.

Je posais à un représentant de la physique théorique la question suivante: vous vous trouvez devant l'univers entier dont vous cherchez à connaître les lois, devant des systèmes aussi complexes et infiniment plus vastes que ceux représentés par des êtres vivants, des systèmes dont les êtres vivants eux-mêmes ne sont que des constituants infimes; existe-t-il chez vous des mécanicistes et des finalistes? Non, fut la réponse. Les notions finalistes disparaissent dès que les phénomènes vitaux sont intégrés dans la biosphère et dans l'univers. Je vois à cette situation les raisons suivantes: le représentant des sciences exactes se trouve placé devant l'univers entier; comme observateur de ce dernier il est un rien dans le tout; ses conceptions personnelles, philosophiques ou religieuses n'interviennent pas dans l'élaboration de ses théories. Le biologiste, en tant qu'être vivant et objet d'étude se trouve au centre de l'univers dont il est roi; cet univers ne semble exister que pour lui; il croit être le seul à le comprendre sans savoir si les exigences de notre représentation sont des nécessités pour les choses. Il a donc le droit de se poser à son propre sujet des questions restant sans réponse et de se délivrer par des spéculations.

Bergson a défini d'une excellente manière la religion en disant, entre autres «qu'elle est le produit des réactions défensives de la nature contre la représentation, par l'intelligence, d'une marge décourageante d'imprévu entre l'initiative prise et l'effet souhaité». Remplaçons la religion, prise dans son sens le plus large, par tout l'inconnu que le biologiste sent encore devant lui et nous comprendrons pourquoi il

éprouve le besoin de spéculer et de faire intervenir des forces extérieures à l'organisme. Il y a là des facteurs subjectifs, affectifs même que l'on ne peut négliger dans notre science.

Il faut de plus considérer le décalage considérable existant entre les sciences exactes et la biologie en ce qui concerne la possibilité de construire de grandes théories et d'axiomatiser. Le «De revolutionibus...» de COPERNIC est de 1543; les «Dialoghi...» de GALILÉE sont de 1636, les «Principia mathematica» de NEWTON sont de 1686. Durant deux siècles (17e et 18e), la biologie a péniblement progressé, préoccupée avant tout de s'y retrouver dans l'infinité des formes vivantes, de les ordonner, de les hiérarchiser et de construire des systèmes qui ont préludé à la théorie de l'évolution. Les théories des molécules organiques, de l'épigenèse, de la préformation naissent et demeurent invérifiables jusqu'au jour oú la théorie du gène (JOHANNSEN, MORGAN, dès 1913) atteste qu'en dernière analyse la préformation et l'épigenèse se justifient toutes deux.

Il faut attendre 1838/1839 pour voir naître la première grande théorie biologique, la théorie cellulaire de SCHLEIDEN et de SCHWANN, et 1859 pour connaître la théorie de l'évolution, de DARWIN. On pourrait naturellement invoquer HARVEY et son «Exercitatio anatomica...» de 1628; si important que soit cet ouvrage, il n'offre pas de théorie, mais tout au plus des lois s'appliquant à un phénomène limité.

Ces constatations font comprendre pourquoi les lois biologiques, lois historiques surtout, formulations constructives destinées à permettre la reproduction d'un phénomène sont moins rigoureuses que les lois physiques et ne permettent qu'une prévisibilité moindre.

On peut d'ailleurs se demander si ce que le biologiste comprend par théorie correspond à la conception que s'en font le mathématicien et le physicien. Ce point est à discuter.

Comme tout homme de science, le biologiste constate des faits, formule des lois, établit ses théories. Les processus mentaux afférent à la constatation du fait, à l'exécution de l'expérience, à son interprétation, à l'établissement de l'hypothèse, sont étroitement imbriqués.

L'établissement d'une hypothèse présuppose une interprétation qui, elle-même, repose sur des a priori dont l'origine n'est pas purement intellectuelle. Ces a priori correspondent à des tendances naturellement ancrées en nous, à des besoins de l'esprit: tendance à atomiser la matière vivante apparemment homogène afin d'y trouver ses plus fins constituants; tendance et nécessité pour l'esprit de se représenter une continuité génétique expliquant la permanence de la vie malgré la durée éphémère des êtres vivants; certitude que la diversité des formes se ramène à des types fondamentaux; besoin de typiser et besoin d'unité.

Tel est, brièvement esquissé, le cadre à l'intérieur duquel nos discussions peuvent se développer.

Exposé de F.-E. Lehmann

Von der Bedeutung und der Eigenart der Theorie in der Biologie

Manchmal wird der Biologe von Nichtbiologen gefragt, ob es denn in der Biologie überhaupt Theorie und Theoriebildung gebe. Dabei scheint der Fragesteller anzunehmen, die biologische Forschung sei zum größten Teil rein «beschreibender» Natur. Solche und ähnliche Fragen scheinen mir bezeichnend für die Schwierigkeiten zu sein, die dem Nichtbiologen den Weg zu tieferen biologischen Erkenntnissen versperren. Denn ihre Eigenart und ihr Inhalt erschließen sich dem Nichtbiologen nur unter bestimmten Voraussetzungen. Es ist kein Zufall, daß die Bemühungen der Biologen, die Gesetzlichkeit der Lebewelt zu verstehen, erst nach Jahrhunderten zu Erkenntnissen von sehr allgemeiner Natur – eben zu Theorien – geführt haben. So wie das Hindernis der höheren Mathematik dem Laien manche Ergebnisse der Physik fast oder ganz unzugänglich macht, so ist es die mangelnde Vertrautheit mit der Form, der Struktur und den Leistungen der lebenden Organismen, kurz die mangelnde biologische Erfahrung, die dem Nichtbiologen wirklich biologische Einsichten sehr erschwert.

Die moderne biologische Forschung bietet heute zwei Aspekte. Auf der einen Seite ist das *Leben* als *dynamisches Geschehen* in seiner charakteristischen Bedingtheit zu erfassen, auf der andern Seite ist das *Leben* undenkbar ohne *Ordnung, Struktur und Form.* Die biologische Forschung ist demgemäß durchsetzt mit morphologischen Prinzipien und Begriffen. Dadurch gewinnt sie enge Beziehungen zu den anderen Wissenschaftszweigen, die mit strukturierten Gebilden arbeiten, wie die Atomphysik, die Chemie, die Kristallographie und die Mineralogie. Wir können somit heute in der Biologie zwei Methoden unterscheiden, die sich mit den genannten beiden Hauptaspekten befassen. Auf der einen Seite besteht so das Bedürfnis nach einer (in den Worten Nigglis) *vergleichend-systematischen* oder *tektonisch-normativen* oder *urbildlich-erläuternden* Methode. Die andere Methode, die in der klassischen Physik zu dominieren scheint, nämlich die *abstrakt-generalisierende* oder *atektonisch-imperative* oder *ursächlich-erklärende* ist in der Biologie erst seit dem Aufkommen der experimentellen Arbeitsweise mehr in der Vordergrund getreten.

Beide Methoden haben in der Biologie ihre besondere Ausprägung erhalten. Biologische Formen sind ebensowenig wie biologische Prozesse restlos zu mathematisieren oder zu geometrisieren wie etwa die Welt der Kristalle. Die biologische Forschung ist vielfach gezwungen, Formen, Strukturen und Prozesse mit Hilfe von qualitativen Bezeichnungen und normativen Schemata zu kennzeichnen. Mit diesen durch Abstraktion gewonnenen Mitteln werden Prinzipien entwickelt zur Ordnung von umfangreichen Mannigfaltigkeiten von Phänomen wie das System der Tiere; es werden bestimmte Zusammenhänge und Abhängigkeiten dargestellt wie der Induktionsprozeß bei der Bildung des embryonalen

Nervensystems der Wirbeltiere, und es werden Genkarten für Chromosomen entworfen. Wie die Geschichte der Biologie zeigt, haben sich diese Mittel vielfach bewährt. Ein großes Maß theoretischer Arbeit, das in seinen Ergebnissen überprüfbar und reproduzierbar ist, wurde mit diesen begrifflichen Werkzeugen vollbracht. Da die meisten biologischen Formen und Vorgänge häufig vorkommen, werden heute die statistisch-mathematischen Methoden immer mehr angewandt, um die Signifikanz bestimmter Aussagen zu prüfen. Der Paläontologe kann von bestimmten Knochen nur dann aussagen, sie seien «typisch» und «normal», wenn er an Hand zahlreicher ähnlicher Funde die Variabilität der untersuchten Form überblicken kann. Genau so wird heute im entwicklungsphysiologischen Experiment wie im Vererbungsversuch die statistische Sicherung verlangt.

Die Biologie hat sich mit Hilfe dieser Verfahren und zahlreicher immer weiter reichender Abstraktionen zu einer Wissenschaft entwickelt, in der die Untersuchung von Struktur- und Gestaltphänomen ebenso unerläßlich erscheint wie die Ermittlung kausaler Zusammenhänge. Das soll zunächst gezeigt werden an fünf Ordnungsprinzipien, die heute innerhalb der Biologie meist als stillschweigend gemachte Voraussetzung bei allen Erörterungen gelten, die aber dem Nichtbiologen kaum bekannt sind.

1. *Das Prinzip der Form- und Strukturverwandtschaft.* Alle Organismen sind typisch geformt und strukturiert. Sie lassen sich nach dem Grade ihrer Formverwandtschaft in Gruppen mit relativ gleichartigen Bauplänen ordnen. Die möglichen Baupläne sind nicht sehr zahlreich. Sie lassen sich in einem natürlichen System ordnen, das den Grad der Formverwandtschaft zum Ausdruck bringt.

2. *Das Prinzip der strukturgebundenen Lebensleistungen in ihrer Beziehung zur Umwelt.* Alle Organismen erhalten sich am Leben durch eine Reihe charakteristischer und strukturgebundener Leistungen oder Funktionen (Fortpflanzung, Entwicklung und Vererbung, Stoffumsatz, Reizaufnahme und -verarbeitung). Die Lebensleistungen eines Organismus sind so beschaffen, daß sie den Weiterbestand eines Lebewesens und seiner Nachkommen in dessen normaler Umwelt ermöglichen. Die Lebensleistungen sind zudem in charakteristischer Weise auf die Umwelt abgestimmt.

3. *Das Prinzip des individuellen Strukturwandels.* Alle Organismen verändern sich dauernd im Rahmen eines charakteristischen Entwicklungszyklus, der in der Regel vom Ei zum geschlechtsreifen Individuum, zum Alter und zum Tode führt. Das Ei zeigt ein Minimum, das reife Individuum ein Maximum an struktureller und funktioneller Differenzierung.

4. *Das Prinzip des historischen Strukturwandels.* Alle Organismen sind Glieder von Fortpflanzungsreihen. Diese Fortpflanzungsreihen haben sich während der Erdgeschichte zum Teil tiefgreifend und aperiodisch geändert. Die Mannigfaltigkeit der Formen und Lebensleistungen hat im Verlaufe der überblickbaren Erdgeschichte in sehr hohem Grade zugenommen.

5. *Das Prinzip der Steuerung des Strukturwandels durch elementare Bauelemente.* Es sind bei allen Organismen elementare Bauelemente vorhanden. Aus ihnen können sich durch Vermehrung und Gruppierung zu höheren Strukturverbänden die Organe aufbauen. Am Anfang der Entwicklung der meisten Organismen z. B. auch des Menschen, steht eine einzige Zelle mit relativ wenigen Bauelementen, aus denen die ganze komplizierte menschliche Organisation entwickelt wird. Das Zellplasma mit seinen Bestandteilen kommt als Grundlage der gesamten Organisation in Frage, während die Chromosomen für die erbspezifische Ausprägung der Organisationsmerkmale verantwortlich sind. Die erblichen Abänderungen im Laufe der Generationen entstehen durch sprunghafte Änderungen *(Mutationen)* in den Chromosomen. Zahlreiche Beobachtungen lassen erkennen, daß von den Nachkommen in erster Linie nur diejenigen am Leben bleiben, die im Besitze erblicher Abänderung von positivem Selektionswert sind, während die weniger passenden Abänderungen sich nicht durchsetzen können.

Die fünf Ordnungsprinzipien, die hier kurz erläutert wurden, sind, wie leicht einzusehen ist, das Ergebnis einer sehr komplexen und historisch sehr lange dauernden Arbeit, bei der Beobachtung und Experiment, Analyse und Synthese der Befunde mannigfaltig verwoben sind. Bei dieser Arbeit stehen die tektonisch-normativen und die ursächlich-erklärenden Methoden gleichwertig nebeneinander; beim lebenden Organismus ist ja die kausale Verknüpfung des Geschehens untrennbar mit der Form und der Struktur der lebenden Gestalt verbunden.

Die biologischen Theorien, die z. T. sehr umfassender Art sind, haben im allgemeinen denselben Charakter wie die Theorien anderer Wissenschaftsgebiete, es gelten die Kriterien der Widerspruchsfreiheit, der Nachprüfbarkeit und der Voraussagbarkeit. Die Notwendigkeit, biologische Phänomene auch immer unter Zuhilfenahme qualitativer Begriffe und normativer Schemata zu kennzeichnen, erschwert heute den Anschluß an die sogenannten exakten Naturwissenschaften und gibt den biologischen Theorien eine Sonderstellung.

Immerhin lassen sich die biologischen Phänomene als Gestaltphänomene behandeln. Gestalten kommen auch in der unbelebten Natur vor. Sie lassen sich z. T. leichter behandeln, wenn sie wie die Gestalten von Kristallen geometrisierbar sind. Die Prinzipien der Gestaltlehre sind heute noch wenig entwickelt. Es ist aber wahrscheinlich, daß mit Hilfe der Gestaltlehre ein Begriffs- und Symbolapparat geschaffen werden kann, den die Biologie mit den anderen Naturwissenschaften z. T. gemeinsam verwenden könnte.

Ich hoffe, mit dem Gesagten deutlich gemacht zu haben, daß die Biologie nicht nur nach den Prinzipien des kausalen Geschehens und den Universalkonstanten fragt, sondern ebensosehr beschäftigt sie die Frage nach den Ordnungs- und Gestaltungsprinzipien unserer Welt. Somit scheint dem Biologen die Frage nur nach den Kausalbeziehungen unbefriedigend, aber ebenso kann ihn die Frage allein nach der Gestaltung der Natur nicht befriedigen. Statt dessen zeichnet sich die Frage

ab nach den *Möglichkeiten der Natur:* «Was ist möglich an Formen und was an Geschehnissen? Welche grundlegenden dynamischen und morphologischen Prinzipien können bei der Erfassung unserer Welt gefunden werden? Welches ist der mögliche historische Entwicklungsgang der Welt?»

Discussion

A la discussion prirent part plus spécialement, MM. O. SCHÜEPP, F. BALTZER, A. FERRERO, A. MERCIER, Mme M. ERNST-SCHWARZENBACH, les orateurs et le président.

On fit tout d'abord remarquer que bon nombre d'affirmations avancées par MM. SCHOPFER et LEHMANN, incontestées aujourd'hui, auraient été bien loin d'avoir le même caractère d'évidence, il y a seulement vingt ans.

Quant à l'intervention des sciences exactes en biologie, si la chimie et la physique ont un rôle indiscutable, bien que probablement partiel, à jouer, les mathématiques semblent moins efficaces. On pourra toutefois retenir l'importance de certains éléments géométriques, l'influence toujours croissante des méthodes statistiques modernes, la possibilité enfin de faire appel à des formalismes créés ad hoc, tels que ceux dont la physique à plusieurs reprises a suscité la formation ou accéléré le développement.

La valeur du tableau de la classification des sciences de NAVILLE fut fortement contestée, en particulier par les représentants des sciences exactes. L'invention de certaines géométries ou de certaines théories physiques, de la relativité par exemple, suffit à démontrer la fragilité des limites des concepts fondamentaux sur lesquels repose cette classification. A ce propos, M. SCHOPFER fait les remarques suivantes: «Il est incontestable que le principe de relativité, reposant sur une corrélation entre mesure du temps et de l'espace fait une brèche dans la classification de NAVILLE. CH.-E. GUYE, utilisant cette dernière comme base de discussion le remarque expressément dans ses „Réflexions sur la classification et l'unification des sciences" (1919). La brèche est visible surtout pour le mathématicien et le physicien, beaucoup moins pour le biologiste. Pour nous, le système de NAVILLE conserve toute sa valeur heuristique.»

On a fait remarquer aussi l'absence dans la classification des sciences de NAVILLE de l'histoire et des sciences qui s'occupent du déroulement chronologique des phénomènes. Le temps n'y entre en effet non sous la forme d'un simple paramètre comme en cinématique, mais à titre de repère univoque de certains faits importants touchant les êtres animés ou inanimés.

Une profonde divergence est apparue entre la notion de théorie du biologiste et ce qu'entend par là le physicien ou le mathématicien. Pour le premier il y a théorie dès qu'il y a appel à une notion abstraite, dès que l'on sort de l'expérimentation et de la simple description des phénomènes. Pour les seconds il est essentiel que ces notions soient engagées

dans un système de relations plus ou moins formalisées qui leur confèrent une structure autonome. Cette indépendance peut aller si loin qu'on pourrait presque dire que la théorie crée des faits, qu'elle engendre des êtres: le microscope électronique ou le neutrino!

Il resterait à examiner si la divergence de ces conceptions relève de l'objet de chacune de nos sciences, de l'état de développement de chacune d'elles, de la complexité des problèmes qu'elle rencontre. Bornons-nous à noter un élément de rapprochement: la génétique possède plusieurs des caractères essentiels d'une théorie physique.

Signalons pour terminer deux reproches formulés contre la tendance même de la discussion, incapable selon l'un de s'élever du terrain médiocrement technique vers un idéal métaphysique, perdue déjà selon l'autre dans les brouillards d'un verbalisme philosophique. Il est certain que la discussion que nous venons de résumer très imparfaitement n'a pas apporté aux participants une vue complète et définitive sur la situation de la biologie dans le système des sciences. Toutefois, si elle a permis d'éclairer quelques-unes des différences méthodologiques de nos diverses sciences et certaines difficutés qui en rendent plus délicates les articulations, nous pensons qu'elle aura atteint son but, et ceci principalement grâce à la qualité des introductions de MM. Schopfer et Lehmann.

Orientierung über die Geologie der Berge am Vierwaldstättersee und die Probleme der Entstehung des Sees

Von

August Buxtorf (Basel)

Das Gebiet des Vierwaldstättersees stellt einen der interessantesten Ausschnitte des Alpennordrandes dar, quert doch der See auf der gewundenen Strecke von Flüelen bis Vitznau zunächst verschiedene Zonen der nördlichen Kalkalpen und dann bis hinaus nach Luzern noch die ganze südliche Randpartie des mittelschweizerischen Molasselandes.

Durch die im Auftrag der *Schweizerischen Geologischen Kommission* seit 90 Jahren durchgeführten Untersuchungen sind wir über die Geologie dieses Gebietes gut unterrichtet. Zuerst bearbeitete Franz Joseph Kaufmann den Nordteil des Seegebietes, soweit er auf Blatt VIII der Dufourkarte 1:100 000 enthalten ist; schon 1871 konnte dieses Kartenblatt in geologischer Darstellung veröffentlicht werden. 1887 erschien dann das südlich angrenzende Blatt XIII, dessen Kartierung von Kaufmann und Casimir Moesch ausgeführt worden war.

Die später zur Verfügung stehenden Siegfriedkarten ermöglichten die Erstellung von *geologischen Spezialkarten* größern Maßstabes; es erschien u. a. 1916 die von geologischen Profilen begleitete *Geologische Vierwaldstätterseekarte 1:50 000*, an deren Zustandekommen sechs Mitarbeiter der Geologischen Kommission beteiligt waren.

Eine gute Übersicht unseres Gebietes aber gibt auch das 1950 erschienene *Blatt 3, Zürich–Glarus*, der *Geologischen Generalkarte der Schweiz 1:200 000*, reicht es doch gegen Südwesten zu noch weit über den Vierwaldstättersee hinaus. Auf diese beim Geographischen Verlag Kümmerly & Frey in Bern beziehbare Karte seien Interessenten besonders hingewiesen.

Einen Ersatz für die vorhin erwähnten geologischen Spezialkarten werden künftighin die Blätter des *Geologischen Atlas der Schweiz 1:25 000* bilden; der Probedruck des im nächsten Jahre erscheinenden *Blattes Luzern* konnte an der Luzerner Tagung der S.N.G. den Teilnehmern vorgelegt werden.

Nach diesen Ausführungen über die bisher bearbeiteten Karten besprach der Vortragende an Hand von Profilen und Lichtbildern, namentlich auch von Flugaufnahmen, die geologischen Verhältnisse der verschiedenen tektonischen Einheiten des Vierwaldstätterseegebietes.

Ausgehend von der *Gegend von Luzern,* wo unter alpinem Druck die Schichten des Südrandes des Molasselandes steile Aufrichtung und eng geklemmte Faltung erfahren haben, wurde die südlich anstoßende Zone der sog. *aufgeschobenen Molasse* betrachtet. Diese besteht aus ältern Molassesedimenten und ist gekennzeichnet durch die häufigen Nagelfluheinlagerungen, die am Rigi, gemessen im Profil zwischen Greppen (im Nordwesten) und Rigi-Scheidegg (im Südosten), eine wohl über 4000 m mächtige, schwach nach Südosten geneigte Schichtfolge bilden. Dieser gewaltige Rigiklotz lag einst in der Tiefe am Südrand des Molassebeckens; bei der Entstehung der Alpen aber wurde er in die Höhe gepreßt und auf die nördlich davon liegenden jüngern Molasseschichten hinaufgeschoben.

Von besonderer Bedeutung ist, daß neuere Untersuchungen in dieser aufgeschobenen Molasse auch *Querbrüche* feststellen konnten. Durch eine solche von Südost nach Nordwest verlaufende Bruchzone dürfte das unvermittelte Aufhören der Rigimasse gegen Südwesten zu und das Vordrängen der Alpenrandkette im Vitznauerstock und Bürgenstock bedingt sein.

Mit der *Alpenrandkette* Pilatus–Bürgenstock–Vitznauerstock–Rigihochfluh beginnt der Bereich der Kalkalpen, deren nördlicher Teil – etwa bis zur Senke des Surenenpasses und ihrer östlichen Fortsetzung gegen das Schächental zu – aus von Süden her überschobenen Massen besteht. Es sind dies die sog. *helvetischen Decken,* an deren Aufbau die Schichtfolge Jura-Kreide-Alttertiär beteiligt ist. Die ältern Schichtglieder, im besondern die jurassischen Sedimente kennzeichnen den südlichen Teil dieser Decken; im nördlichen Anteil ist im wesentlichen nur Kreide und Alttertiär vertreten. Den ursprünglichen Ablagerungsort dieser Schichtfolgen müssen wir im Süden, im Gebiet südlich des Aarmassivs, suchen. Wie es aber kam, daß diese Massen weit nach Norden geschoben worden sind, darauf kann in den heutigen Ausführungen nicht eingetreten werden.

Die Alpenrandkette, die sich vom Pilatus zur Rigihochfluh verfolgen läßt, entspricht der *Stirnregion* der helvetischen Decken; sie ist von Süden her an den Südrand der aufgeschobenen Molasse angepreßt worden und wird von ihr nur getrennt durch eine schmale Zone von verschürftem Alttertiär, das den Namen *subalpiner Flysch* erhalten hat.

Für die Randkette ist noch hervorzuheben, daß sie beim Nordwärtsschub eine Streckung und Zerlegung in einzelne Teilstücke erfahren hat, und zwar vollzog sich dies längs *schief* zum Streichen der Kette verlaufenden *Querbrüchen,* die z. T. sich — wie oben bemerkt — bis in die «aufgeschobene Molasse» verfolgen lassen. Eine der wichtigsten dieser Querstörungen ist der schräg nach Nordwesten verlaufende Bruch, der den Pilatus vom Lopperberg trennt. Durch den Zusammen-

schub der Schichten im Pilatus-Teilstück ist der prächtige Querschnitt entstanden, den die in die Luft ausstreichenden Pilatusfalten beim Anblick von Nordosten, von Luzern aus, bieten.

Es ist nun aber noch ein weiteres Element im Bau der Vierwaldstätterberge zu erwähnen. Betrachten wir die helvetischen Decken als Ganzes, so zeigt sich, daß sie in ihren südlichen Teilen – am Urnersee und bei Engelberg – ein Abtauchen gegen Norden zeigen. Weiter gegen Norden zu aber steigen ihre Stirnfalten als Randkette in die Höhe, und es entsteht so eine Art Mulde, die wir von Schwyz gegen Brunnen und weiter gegen Beckenried und Sarnen verfolgen können. In dieser Senke aber liegen nun noch *Relikte höherer Überschiebungsdecken*, die einstmals in größerer Ausdehnung den helvetischen Decken aufruhten. Von ihrer helvetischen Unterlage, die vorwiegend aus Alttertiär und Kreidesedimenten besteht, unterscheiden sich diese Reliktberge durch das Vorhandensein älterer Formationen, namentlich von Trias und Jura. Sie erscheinen deshalb als etwas Fremdartiges und haben in der Folge den Namen *Klippen* erhalten. Am Vierwaldstättersee gehören zu ihnen das *Stanser-* und das *Buochserhorn* samt dem *Klewenstock*, ferner ob Schwyz die durch ihre markanten Formen von den übrigen Bergen sich unterscheidenden *Mythen*. Wo wir den Herkunftsort dieser Klippendecke zu suchen haben, ist heute noch nicht ganz abgeklärt; jedenfalls lag er südlich desjenigen der helvetischen Decken.

Anschließend an diese Ausführungen über die Geologie der Berge am Vierwaldstättersee sei noch kurz die Frage der *Entstehung des Sees* berührt.

Zwei Ansichten stehen sich hier hauptsächlich gegenüber: Einerseits wird die Schaffung des Seebeckens auf die *erodierende Wirkung der eiszeitlichen Gletscher* zurückgeführt; anderseits aber werden *Krustenbewegungen im alpinen Bereich* in Betracht gezogen. Im besondern hat Albert Heim die Ansicht vertreten, es habe in der Diluvialzeit eine Einsenkung des ganzen durchtalten Alpenkörpers stattgefunden, wodurch im nördlichen und südlichen Randgebiet der Alpen die Täler rückläufig wurden und sich in Seen verwandelten.

Daß der eiszeitlichen Gletschererosion große Bedeutung beigemessen werden muß, steht für viele Seen, im besonderen für die des schweizerischen Mittellandes, außer Frage. Aber auch am Vierwaldstättersee haben wir die Weitung des ganzen Beckens, die breite Lücke zwischen Roßberg und Rigi und im besonderen die Ausräumung der Molasse im Gebiet zwischen Hergiswil, Weggis und Luzern wohl im wesentlichen auf glaziale Erosion zurückzuführen. Es ist auch zu beachten, daß die ursprüngliche Ausdehnung des Sees sehr viel größer war als heute. Im Reußtal reichte er bis hinauf gegen Amsteg, im Engelberger Tal bis nach Grafenort, in der Richtung Brünig hing er mit dem Sarnersee zusammen und bei Schwyz mit dem Lauerzersee; der Bürgenstock und der Molasserücken der Birregg, östlich Horw, waren Inselberge. Erst durch die postglazialen Anschwemmungen der Zuflüsse hat der See seine heutige Gestalt erhalten.

Aber gerade die wechselnde Richtung der verschiedenen Seearme, die vor der Zuschüttung durch junge Alluvionen noch mehr zur Geltung kam als heute, läßt sich durch Glazialerosion doch wohl kaum befriedigend erklären. Der Gedanke, es könnte – wie dies ALBERT HEIM annimmt – der vielgestaltige See einem *ertrunkenen Talsystem* entsprechen, hat deshalb auch den Vortragenden beschäftigt (siehe Erläuterungen zur geologischen Karte der Rigihochfluhkette, 1916, S. 64–68). Allein er dachte nicht an ein allgemeines Einsinken des Alpenkörpers, sondern an eine *Heraushebung des zentralen Alpengebietes*, aber verknüpft mit leichten *Einsenkungen der alpinen Randgebiete*, in welchen es dann, im Norden und im Süden, zur Entstehung der alpinen Randseen kam. Ob wir mit diesem Erklärungsversuch einer befriedigenden Lösung nähergekommen sind, sei ganz offen gelassen. Nach wie vor stellt die Entstehung der alpinen Randseen ein schwieriges Problem dar.

Sichere Anhaltspunkte besitzen wir dagegen über die *Zustände des Vierwaldstätterseegebietes während der Eiszeiten*. Sein östlicher Teil war vom Reußgletscher erfüllt, von Westen her aber drang über die Senke des Brünigs ein Seitenarm des Aaregletschers durchs Tal der Sarner Aa gegen Stans vor, vereinigte sich im Westteil des Bürgenstocks mit den Gletschern des Engelberger- und Reußtals und floß dann von dort gegen Nordwesten zu. Über den *Höchststand* der eiszeitlichen Gletscher geben uns die *erratischen Blöcke* zuverlässige Auskunft. Am Südhang der Rigihochfluh, da wo der Reußgletscher auf die Randkette stieß, liegen die höchsten von ihm hinterlassenen Erratiker bei 1370 m ü.M., und daraus resultiert in diesem Abschnitt eine Mächtigkeit des Gletschereises von ca. 1250 m, wenn wir annehmen, daß die jungen Seeablagerungen auf dem Boden des Gersauer Beckens eine Dicke von etwa 100 m aufweisen.

Endlich sei noch kurz auf einige Moränenablagerungen hingewiesen, die besonderes Interesse verdienen. Es entspricht z. B. der als Wiesengelände gekennzeichnete *Vorsprung von Kehrsiten* einer *Mittelmoräne*, die sich am Nordwestabhang des Bürgenstocks da bildete, wo Reußgletscher und Aare-Brünig-Gletscher sich vereinigten. Die Tiefenvermessung des Sees zeigt, daß sich dieser Moränenrücken noch über 1 km weit nach Nordwesten fortsetzt.

Eine *unterseeische*, gegen Norden bogenförmig vorspringende *Moräne* läßt sich *südwestlich Vitznau* zwischen den beiden Nasen feststellen. Der höchste Punkt des Walles liegt nur 27 m unter dem Seespiegel; der Wall aber überragt den Boden des Gersauer Beckens um etwa 180 m, den des Weggiser Beckens um etwa 120 m; diese gewaltigen Dimensionen zeigen, daß es sich um die Moräne eines jedenfalls sehr lange andauernden Rückzugstadiums des Reußgletschers der letzten Eiszeit handelt. Es ist anzunehmen, daß das Becken von Weggis damals schon eisfrei war, und es dürfte sich also zu dieser Zeit in der Bucht von Vitznau ein Bild geboten haben, wie wir es heute von grönländischen Gletschern, die sich in Fjorde ergießen, kennen, d. h. ein Kalben des Gletschers in schwimmende Eisberge.

Eine ähnliche, einem etwas spätern Rückzugsstadium angehörende *unterseeische Moräne* des Reußgletschers ist auch etwa *2 km östlich Gersau*, unweit der Kindlismord-Kapelle, durch Vermessung nachgewiesen worden. Ihr Rücken reicht am höchsten Punkt bis 53 m unter Seeniveau, und sie überragt die Sohle des Gersauer Beckens um etwa 160 m, so daß auch hier eine längere Dauer des Rückzugsstadiums anzunehmen ist.

Mit dem Rückzug der eiszeitlichen Gletscher hat dann die Zuschüttung des Sees durch all die Alluvionen der großen und kleinen Zuflüsse begonnen, und durch die später einsetzende Besiedlung ist allmählich das heutige Landschaftsbild entstanden.

Meine kurzen Ausführungen mögen zeigen, wieviel Interessantes die Berge am Vierwaldstättersee dem Geologen bieten, daß aber auch noch viele Fragen ihrer Lösung harren.