**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:** 130 (1950)

**Teilband:** Wissenschaftlicher Teil

**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:** 18.03.2026

**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 130. Jahresversammlung in Davos, 26.—28. August 1950

Von

WALTER MÖRIKOFER (Davos)

## Zur Meteorologie und Meteorobiologie des Alpenföhns

Hochansehnliche Versammlung,
meine Damen, meine Herren!

Im Namen des Jahresvorstandes und der Naturforschenden Gesellschaft Davos heiße ich Sie alle, Mitglieder, Freunde und Gäste der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft, zu Ihrer 130. Jahresversammlung im Hochtale von Davos herzlich willkommen.

Ihr zahlreiches Erscheinen bietet uns Gewähr dafür, daß neben den größeren geistigen Zentren auch kleinere Orte nicht ungeeignet sind für die Abhaltung von Naturforschertagungen. Was uns hier abgeht an großen Institutshilfsmitteln und an reichhaltiger Konzentration geistiger Kapazität, wird ersetzt durch den direkteren Kontakt mit unserem Forschungsobjekt, der Natur, sowie durch die Fühlungnahme mit einigen Spezialforschungsgebieten.

Es ist heute nicht zum ersten Male, daß sich die schweizerischen Naturforscher zu ihrer Jahresversammlung in Davos treffen; schon zweimal ist die Naturforschertagung in unserer kleinen Stadt im Hochgebirge abgehalten worden. Das erstemal 1890, in einer Periode, wo das Leben, nicht nur im politischen Geschehen, sondern auch in den Wissenschaften, sehr viel ruhiger und behaglicher verlief als heute, wo man vermeinte, in allen wesentlichen Punkten endgültigen Anschauungen nahegekommen zu sein, und es wohl kaum ahnte, daß schon wenige Jahre später unser physikalisches und biologisches Weltbild eine vorher unvorstellbare Umwälzung durchmachen würde. Das zweitemal im Jahre 1929 – an diese Tagung werden sich wohl manche unter uns noch erinnern –, in der Zwischenkriegszeit, wo ein frischer Wind durch die Forschung ging und überall neue Initiative sich regte.

Wenn wir uns heute wiederum hier in Davos zu einer Naturforschertagung zusammenfinden, so geschieht dies in einer Zeit, wo die wissenschaftliche Forschung wieder auf viele neue Erkenntnisse zurückblicken kann, wo wir aber trotzdem erkennen müssen, daß nicht alles Neue

auch einen wirklichen Fortschritt der Menschheit zu ihren geistigen Zielen bedeutet. In der heutigen Periode der Entwicklung, wo keiner von uns mit dem Gefühl der Ruhe und der Sicherheit in die Zukunft blicken kann, müssen wir uns um so mehr bewußt bleiben, daß die Beschäftigung mit geistigen Problemen, wie sie gerade uns Naturforschern von der Natur selbst gestellt werden, zu den stärksten Kräften gehört, welche uns die Überlegenheit und Sicherheit verleihen, die uns die Sorgen um die Zukunft und die Auswirkung kulturfeindlicher Einflüsse überwinden helfen.

Die Zeitspanne von 60 Jahren, die uns heute von der ersten Davoser Naturforschertagung im Jahre 1890 trennt, bedeutet auch für Davos selbst eine Periode starker Entwicklung. Ich spreche hier nicht von der Wandlung des mondänen Kurorts mit seinen zahlreichen Privatsanatorien zur Heilstätte Europas, ich will auch nicht ausmalen, wie sich das äußere Bild dieses Ortes durch die enorme Entwicklung des Wintersports gewandelt hat. Ich möchte nur auf den Ausbau der Forschungsstätten hinweisen.

Im Jahre 1907 gründete der norddeutsche Forscher Carl Dorno hier aus eigener Initiative und mit eigenen Mitteln ein physikalisch-meteorologisches Observatorium, das sich die Erforschung der Heilfaktoren des Hochgebirgsklimas zum Ziele setzte und durch seine breite wissenschaftliche Fundierung eine dauerhafte Grundlage für die meteorologische Strahlungsforschung und die medizinische Klimatologie legte. Angeregt durch diese Tätigkeit, wurde 1922 in Davos auch ein medizinisches Forschungsinstitut gegründet, das zunächst unter Adolf Loewy sich mit den Problemen der Hochgebirgsphysiologie, seit 1934 unter Frédéric Roulet und seit 1938 unter Walther Berblinger mit den aktuellen Problemen der Tuberkuloseforschung befaßt. Da am Davoser Observatorium, das seit 1926 mit dem Tuberkuloseforschungsinstitut zu einer rein schweizerischen Stiftung verbunden ist, schon seit einiger Zeit den Problemen der Schneedecke eine gewisse Aufmerksamkeit zugewendet worden war, faßte die Eidg. Kommission für Schnee- und Lawinenforschung hier Fuß und konnte durch Eröffnung eines Spezialinstituts auf Weißfluhjoch Anfang 1943 ihre Tätigkeit in dieser Gegend stabilisieren; Physik, Mineralogie, Meteorologie, Baustatik und Forstwesen bilden die Hauptkomponenten in der Arbeit dieses Spezialinstituts, das heute unter der wissenschaftlichen Leitung von Marcel de Quervain steht; Verbauungswesen und Verkehr, Wintersport und Armee sind die Nutznießer ihrer Früchte. Nennen wir schließlich noch zwei einzelne Gelehrte, den Botaniker Wilhelm Schibler und den Hydrobiologen Otto Suchlandt, so dürften damit die systematischen Bestrebungen auf dem Gebiet der Naturwissenschaften in Davos umrissen sein.

Durch die Tradition unserer Gesellschaft fällt mir die Aufgabe zu, Ihnen heute zur Eröffnung dieser Tagung über ein Arbeitsgebiet des Davoser Observatoriums zu berichten. Während ich an der Naturforschertagung 1929 als junger Anfänger am Institut in meinem Haupt-

vortrag über die physikalischen Probleme der meteorologischen Strahlungsforschung gesprochen und damit ein durch seine physikalischen Grundlagen gesichertes Thema gewählt habe, möchte ich heute versuchen, Ihnen einen sehr viel problematischeren Komplex zu entwickeln, nämlich die Fragen der biologischen Wirkungen des Alpenföhns und der Versuche zu ihrer meteorologischen Erklärung.

Der *Föhn* zählt, zusammen mit den Lawinen und den Bergstürzen, zu den mächtigsten und eindrucksvollsten Naturerscheinungen unserer Schweizer Alpen; er hat daher seit jeher die Aufmerksamkeit der Fachleute und der Laien gefunden. Der Forschung bietet er die verschiedensten Aspekte dar. Die *Meteorologie* ist interessiert an der Frage nach seinem Ursprung und nach seinem räumlichen und zeitlichen Ablauf. Sein thermodynamisches Verhalten wirkt sich bis in die Mittelwerte der *Klimatologie* aus, indem in unseren nordalpinen Föhntälern nicht nur an Föhntagen, sondern sogar im Durchschnitt die Temperatur merklich höher, die Luftfeuchtigkeit niedriger ist als in den föhnarmen Nachbargebieten. Weitere Föhnwirkungen wie Windbruch, Brandkatastrophen, vermehrte Lawinengefahr und Überschwemmungen greifen in das Gebiet der *Katastrophenforschung* über.

In die Breite ganzer Bevölkerungsteile geht dagegen die Föhnwirkung durch die *meteorotropen Vorgänge*, die man in leichteren Fällen als *Föhnfühligkeit*, in schwereren als *Föhnkrankheit* bezeichnet. Diese Tatsache subjektiver und objektiver Störung unseres Befindens beobachtet man nicht etwa nur in den eigentlichen Föhntälern, sondern auch weit hinaus im Alpenvorland, so daß der geographische Bereich der Föhnfühligkeit den größten Teil unseres Landes umfaßt. Die Föhnfühligkeit befällt vor allem sensible Personen, weniger dagegen robuste Naturen und bildet weitgehend das Privileg der Intellektuellen. Obgleich die Föhnkrankheit, zahlenmäßig betrachtet, nur mit einer relativ geringen Prozentzahl zu schwereren Gesundheitsstörungen führt, bedeutet sie trotzdem für das Wohlbefinden, aber auch für die körperliche und geistige Arbeitsleistung weiter Bevölkerungsteile eine schwere Belastung. Die bei Föhnsituationen auftretende Verminderung der Leistung und die gleichzeitig zu beobachtende Frequenzsteigerung der Unfälle wie auch der Selbstmorde dürfen nach ihrer volkswirtschaftlichen wie nach ihrer moralischen Bedeutung nicht gering eingeschätzt werden.

Der Föhnkomplex umfaßt somit die verschiedensten Probleme, die sowohl aus rein wissenschaftlichen Gründen unser Interesse beanspruchen wie auch im Hinblick auf ihre gesundheitliche und volkswirtschaftliche Auswirkung. Aus diesen Überlegungen möchte ich nun versuchen, Ihnen einige neuere Gesichtspunkte zur Meteorologie und Meteorobiologie des Föhnproblems zu entwickeln, wobei ich mich weitgehend auf noch unveröffentlichte, eigene Untersuchungen des Davoser Observatoriums stützen kann. Ich muß Sie allerdings gleich von vorneherein bitten, Ihre Erwartungen nicht zu hoch zu spannen. Trotz allen Bemühungen und Versuchen können wir auch heute nichts Endgültiges aussagen: einerseits über die Frage, auf welche atmosphärischen Ele-

mente oder Vorgänge die Auslösung der Föhnkrankheit kausal zurückgeführt werden muß, und andrerseits über das Problem, an welchem Organ die äußeren Einflüsse angreifen und durch welche Funktionsstörung die subjektiven und objektiven Symptome der Föhnfühligkeit erzeugt werden.

Trotz dieser Einschränkung glaube ich, Ihnen eine Reihe neuer Gesichtspunkte über den Ablauf des Föhns und über die Möglichkeiten seiner biologischen Wirkung entwickeln zu können. Durch unsere Untersuchungen konnten wenigstens zahlreiche Einzelzüge im komplexen Bild des Föhngeschehens abgeklärt werden, und in der Frage der Erklärung der Föhnfühligkeit ist es uns gelungen, in dem Dickicht von Hypothesen das Mögliche vom Unmöglichen, das Wahrscheinliche vom Phantastischen zu scheiden. Sind wir auch noch nicht zur Lösung des Geheimnisses vorgedrungen, so glauben wir doch den *Weg*, der zu dieser Lösung führen muß, sehr viel klarer zu erkennen als noch vor wenigen Jahren.

Es ist in den letzten Jahrzehnten dem allgemeinen Problem der Wetterfühligkeit, zeitweise auch dem speziellen Teilproblem der Föhnfühligkeit, viel Aufmerksamkeit zugewendet worden, es ist darüber viel geschrieben, aber leider nur wenig systematisch gearbeitet worden. Als wir im Jahre 1933 daran gingen, uns am Davoser Observatorium intensiver mit diesen Problemen der Föhn- und der Wetterfühligkeit zu befassen, waren wir uns bewußt, daß die damaligen Methoden mit ihren vagen Vorstellungen nicht zum Ziele führen konnten und daß man sich nur von neuen Methoden auch befriedigendere Resultate versprechen konnte. Nach zwei Richtungen mußte etwas Neues versucht werden. Einmal war es uns klar, daß auf diesem komplexen und schwierigen Grenzgebiet zwischen Medizin und Meteorologie nur eine enge Zusammenarbeit zwischen Meteorologen, Physiologen und Klinikern zum Ziele führen kann. Im allgemeinen besitzt weder der Meteorologe noch der Mediziner genügend Spezialkenntnisse auf dem andern Fachgebiet; ebenso wie wir Meteorologen dem Mediziner die Kompetenz bestreiten, zu entscheiden, wann wir Föhn, wann wir Warmluft haben, so dürfen auch wir uns nicht anmaßen, mit unserer physikalischen Denkweise das richtige Sensorium für physiologische und pathologische Vorgänge zu besitzen. Aus diesen Überlegungen haben wir uns immer bemüht, auf diesem Arbeitsgebiet die Zusammenarbeit mit Physiologen und Klinikern zu suchen.

Noch ein zweiter Gesichtspunkt war uns bei unseren Föhnuntersuchungen maßgebend: Wir mußten auf unserem eigenen Fachgebiet viel stärker ins Detail gehen als früher. Wohl konnte die klassische, thermodynamische Theorie der Föhnentstehung als gesichert angesehen werden; aber sie enthielt noch verschiedene Lücken, und im Grunde genommen wußten wir ja noch so wenig Einzelheiten über den Föhnvorgang. Wir waren daher genötigt, über den zeitlichen und räumlichen Ablauf des Föhnvorgangs neues Beobachtungsmaterial in einem alpinen Föhntal zu sammeln und dabei auch den luftelektrischen Vorgängen

gesteigerte Aufmerksamkeit zuzuwenden. So standen wir durch den Wunsch, eine Erklärung für das *biologische* Föhnproblem zu finden, vor der Notwendigkeit, auch die rein *meteorologischen* Föhnerscheinungen genauer zu untersuchen. Und dabei haben wir in der Tat verschiedene neue Züge im Gesamtbild der Föhnvorgänge gefunden, die uns gestatten, der Erklärung der Föhnfühligkeit ein gutes Stück näherzukommen.

Auf Grund der skizzierten Überlegungen haben wir im Jahre 1933 die Zusammenarbeit mit einem an diesen Problemen interessierten Arzt in einem typischen Föhntal gesucht und haben sie bei Dr. Ernst Fritzsche, dem Chefarzt des Kantonsspitals Glarus, gefunden. In diesem Spital wurde von uns eine meteorologische Station I. Ordnung mit Registrierapparaten für Lufttemperatur, Feuchtigkeit, Windrichtung und Windgeschwindigkeit, Abkühlungsgröße und Luftdruck eingerichtet und während etwa 2½ Jahren von unserer Assistentin Dr. Hilda Schaumann betreut. Daneben wurden die schnellen Luftdruckschwankungen mit einem Variographen nach Wilhelm Schmidt registriert und regelmäßige Messungen der Zahl der leichten, mittleren und schweren Ionen beider Vorzeichen vorgenommen.

Diese systematische Analyse der atmosphärischen Bedingungen wurde durch zwei meteorologische Längsprofile von Ziegelbrücke bis Elm und Linthal ergänzt, indem an vier weiteren Stationen kontinuierliche Temperatur- und Feuchtigkeitsregistrierungen in Betrieb gehalten wurden, aus denen wir aufschlußreiche Einblicke in die räumliche Verteilung und den zeitlichen Ablauf der Föhnvorgänge erhielten.

Da es uns für die Erklärung der Föhnfühligkeit aus gewissen Überlegungen, auf die wir noch zurückkommen werden, wichtig erscheinen mußte, Genaueres über die Luftströmungsverhältnisse *vor* dem Föhndurchbruch und über die *Grenze* zwischen dem Höhenföhn und der darunter liegenden Kaltluft zu erfahren, stellten wir, teils im *Vorföhnstadium*, teils auch bei *Föhn*, Pilotballonaufstiege an, aus denen Richtung und Geschwindigkeit des Windes in verschiedenen Höhen über dem Tal bestimmt werden konnten. Diese aerologischen Doppelvisierungen erforderten einen beträchtlichen Mitarbeiterstab, wobei uns mehrere Glarner Naturforscher behilflich waren, an ihrer Spitze der nimmermüde Föhnforscher Dr. R. Streiff-Becker. Gleichzeitig legte Ernst Fritzsche eine klinische Statistik an, die den größten Teil der Krankheitsausbrüche und Befindensverschlimmerungen im Kanton Glarus umfaßte.

Es ist klar, daß die Durchführung dieses großen Untersuchungsprogramms beträchtliche Geldmittel erforderte, die erfreulicherweise durch das Zusammenwirken mehrerer Stellen aufgebracht werden konnten. Den Hauptanteil steuerte angesichts der volkswirtschaftlichen Folgen der Föhnkrankheit die Eidg. Volkswirtschaftsstiftung bei; die Schweizerische Naturforschende Gesellschaft wendete uns Mittel aus einem von dem Glarner Daniel Jenny gestifteten Spezialfonds zu; Spital und Naturforschende Gesellschaft des Kantons Glarus verschafften uns ebenfalls Erleichterungen, und nach einer durch die Zeitumstände be-

dingten längeren Unterbrechung konnte die Verarbeitung des umfangreichen Beobachtungsmaterials dank einer Beihilfe der Schweizerischen Akademie der Medizinischen Wissenschaften neuerdings dem Abschluß nahegebracht werden. Allen diesen Helfern sei auch an dieser Stelle gedankt.

An der Verarbeitung der Resultate haben mehrere Assistenten des Davoser Observatoriums mitgewirkt. So hat Fritz Prohaska die *Meteorologie* des Glarner Föhns bearbeitet, Georg Böhme die *aerologischen Aufstiege*. Hilda Schaumann hat die *Ionenzählungen* ausgewertet, und Walter Schüepp hat eine kritische Vergleichung der *klinischen Statistik* mit den Witterungsvorgängen und speziell mit den *Druckwellen* durchgeführt. Wenn ich nun versuchen will, Ihnen ein Bild von den Eigenschaften und dem Ablauf des Glarner Föhns zu geben, so stütze ich mich dabei weitgehend auf die Resultate meiner Mitarbeiter, gleichzeitig aber auch auf die gesicherten Anschauungen, die von anderen Föhnforschern entwickelt wurden.

In den letzten hundert Jahren haben die theoretischen Anschauungen über die Entstehung und den Ablauf des Alpenföhns eine beträchtliche Entwicklung durchgemacht. Um 1850 war in unserem Lande die Ansicht verbreitet, daß der Föhn aus der Sahara stamme, da er ja so warm und trocken sei; namhafte Forscher wie Escher von der Linth vertraten diese Ansicht, eigentliche Meteorologen gab es damals bei uns noch nicht. Da bedeutete es einen großen Fortschritt, als der österreichische Meteorologe Julius Hann darauf hinweisen konnte, daß Föhnwinde auch in Ländern auftreten, wo ein entprechendes Warmluftreservoir nicht zur Verfügung steht; auch mußte es dem aufmerksamen Beobachter auffallen, daß es bei Föhn auf den Alpenpässen oft schneit, daß somit die Föhnluft an sich nicht warm ist, sondern es erst beim Herabsteigen in die nördlichen Alpentäler wird.

Die thermodynamische Föhntheorie, die Hann nun aufstellte, beruht auf den Gasgesetzen. Danach kommt eine Luftmasse, die aufsteigt, unter niedrigeren Druck und dehnt sich dabei aus. Diese Expansion bedeutet eine Arbeitsleistung, die dafür notwendige Energie wird der Luftmasse selbst entzogen, da gleichzeitig keine Wärmezufuhr von außen stattfindet; die Temperatur der Luft muß sinken, da diese die Ausdehnungsarbeit aus ihrem eigenen Wärmegehalt bestreiten muß. In analoger Weise ergibt sich für absteigende Luft eine Erwärmung, da bei ihrer Kompression Wärme frei wird. Die Abkühlung beim Aufsteigen beträgt gerade einen Grad für 100 m, die Erwärmung beim Absteigen gleich viel. Luft, die z. B. von Lugano aufsteigt und etwa den Gotthardpaß überquert, wird sich dabei um 18° abkühlen und nachher beim Herabsinken in das schweizerische Mittelland um fast gleich viel wieder erwärmen. Durch den geschilderten Vorgang könnte man somit die Wärme und Trockenheit des Föhns noch nicht erklären.

In Wirklichkeit besteht nun aber ein systematischer Unterschied zwischen der Luv- und der Leeseite, im vorliegenden Fall zwischen der Süd- und der Nordseite der Alpen. Die auf der Südseite aufsteigende

Luft kühlt sich durch den geschilderten dynamischen Vorgang so stark ab, daß sie mit Feuchtigkeit übersättigt ist und diese durch Bildung massiver Wolkenmassen und heftiger Niederschläge ausscheiden muß. Es ist in der Tat eine Erfahrungstatsache, daß der Alpensüdhang von großen Niederschlagsmengen überschwemmt wird, während die Alpennordseite Föhn mit Aufhellung hát. Die Staubewölkung der Alpensüdseite erstreckt sich dann bis über die Alpenketten herüber und erscheint dem Beobachter der Nordschweiz als sogenannte *Föhnmauer*.

Bei dieser Ausscheidung der Feuchtigkeit aus der Luft beim Aufsteigen auf der Südseite wird nun aber, einem Gesetz der Thermodynamik folgend, ein Teil der Verdampfungswärme wieder frei, und dieser wird zur Erwärmung der Luftmasse benützt; oberhalb des Kondensationsniveaus erfolgt daher die Abkühlung bei weiterem Aufsteigen nicht mehr mit 1° pro 100 m, sondern nur noch mit etwa ½°. Die Luft kommt somit nicht so kalt auf dem Gotthardpaß an, wie oben angegeben wurde. Sinkt nun aber diese Luft auf der Alpennordseite in die Täler hinunter, so kann sie dabei die auf der Südseite verlorene Feuchtigkeit nicht mehr aufnehmen; infolgedessen erfolgt ihre Erwärmung nun nicht mehr längs der Feuchtadiabate von ½° pro 100 m, sondern längs der Trockenadiabate von 1° pro 100 m, und die gesamte Erwärmung auf der Nordseite ist ganz bedeutend größer, als die Abkühlung beim Aufsteigen auf der Südseite war. Daraus erklärt sich die hohe Temperatur der Föhnluft, und da diese zudem auf der Alpensüdseite einen großen Teil ihres Feuchtigkeitsgehalts verloren hatte, gleichzeitig auch ihre große Trockenheit. Die Luft kommt in den Tälern des Alpennordhangs um 6–10° wärmer an, als sie am Alpensüdfuß in gleicher Höhe gewesen war; ihr Wasserdampfgehalt, gemessen am Dampfdruck, ist etwa auf die Hälfte, ihre relative Feuchtigkeit auf 20–40% gesunken.

Aus dieser Darstellung des Föhnvorganges erkennen Sie, daß uns an der Föhnerscheinung gar nicht die Luftbewegung, der Wind, das Wesentliche ist, sondern die thermodynamischen Vorgänge, die damit verknüpft sind. Mit «*Föhn*» definiert man heute ganz allgemein eine Luftströmung, die *durch Absteigen dynamisch warm und trocken* wird. Mit dieser Definition umfaßt man die verschiedenen Ursachen für die Föhnentstehung, nämlich sowohl den *Zyklonalföhn*, der durch das Herannahen einer Depression über dem Kanalgebiet ausgelöst wird, wie den *Antizyklonalföhn*, der durch das Herabsinken und Abströmen der Luft aus einem über dem Alpengebiet lagernden Hochdruckgebiet entsteht, wie auch den sogenannten *freien Föhn*, dessen hohe Temperatur sich einfach durch das Absinken und die dynamische Erwärmung von Luft in der freien Atmosphäre erklärt, ohne daß hiebei eine aerodynamische Wirkung eines Gebirgszuges notwendig wäre.

Bekanntlich hat die Bezeichnung «Föhn» ihren Ausgang von unsern Nordalpentälern genommen. Die wissenschaftliche Terminologie wendet nun aber diesen gut schweizerischen Ausdruck auf alle Winde an, die dieser thermodynamischen Definition entsprechen. So kennen wir schon in den Alpen neben dem klassischen *Südföhn* der Alpennordseite den

*Nordföhn* des Alpensüdhangs. Aber auch andere Gebirge zeigen Föhnerscheinungen, und sogar das Klima des grönländischen Inlandeises ist durch Föhnvorgänge gekennzeichnet, denen bereits ALFRED DE QUERVAIN seine besondere Aufmerksamkeit zugewandt hat.

So einleuchtend und klar diese thermodynamische Föhntheorie ist, so blieb sie doch die Antwort auf *eine* Frage zunächst noch lange Zeit schuldig. Es ist nämlich aus rein physikalischen Überlegungen zunächst nicht recht verständlich, wieso der Föhn, der doch eine warme und infolgedessen leichte Luftmasse darstellt, auf der Leeseite in die Alpennordtäler herunterstürzt und nicht einfach in der Höhe weiterströmt. Dieses Problem hat am Ende des letzten Jahrhunderts die schweizerische Föhnforschung stark beschäftigt, und es hat damals eine lebhafte Kontroverse zwischen den beiden führenden Fachleuten unseres Landes stattgefunden, dem Direktor der Meteorologischen Zentralanstalt, ROB. BILLWILLER sen., und dem in Petersburg tätigen Schweizer HEINRICH WILD. BILLWILLER ging aus von der Tatsache, daß ein normaler Zyklonalföhn bei Annäherung einer Depression entsteht und daß die dadurch verursachte Aspiration der Luft zuerst in den unteren Luftschichten auftritt und dadurch die Luft aus den Tälern der Alpennordseite heraussaugt; da dadurch das Gleichgewicht gestört wird, strömt Ersatzluft als Föhn über die Alpen herüber. Demgegenüber machte WILD darauf aufmerksam, daß erfahrungsgemäß der Föhn zuerst nicht am Talboden, sondern in der Höhe, und nicht am Talausgang, sondern hinten im Tale auftritt, so daß in den hinteren und höheren Partien der Föhntäler bereits Föhn zu beobachten ist, während am Talausgang Luftruhe herrscht oder Nordwind weht. Diese Tatsachen suchte WILD durch die Hypothese zu erklären, daß eine starke Höhenströmung auf der Leeseite der Kämme aspirierend auf die unterhalb liegenden Luftmassen wirkt, diese in Wirbeln ansaugt und abtransportiert, wodurch die Höhenströmung immer tiefer in das leeseitige Tal herabsteigt.

Eine Verständigung zwischen den zwei einander widersprechenden Erklärungshypothesen konnte nicht erzielt werden, und so blieb es auch der heutigen Generation nicht erspart, sich erneut mit diesem Problem auseinanderzusetzen. So hat der österreichische Meteorologe H. VON FICKER die BILLWILLERsche Hypothese wieder aufgegriffen, ihr jedoch durch ein großes Beobachtungsmaterial und durch Vermeidung unklarer Annahmen manche Angriffspunkte genommen. Andrerseits hat R. STREIFF-BECKER, der über große Erfahrung beim Glarner Föhn verfügt, sich der WILDschen Anschauung zugewandt und sie durch die Vorstellung einer Injektorwirkung der Höhenströmung am Alpenkamm präzisiert. Auf diese theoretischen Anschauungen zur Erklärung des Herabsteigens des Föhns in die Täler werden wir nachher auf Grund der eigenen Untersuchungen nochmals zurückkommen. Obgleich der Föhn im Grunde seines Wesens eine eindeutige Erscheinung darstellt, bietet er nicht in jedem Alpentale genau dasselbe Bild. Orographische Unterschiede lassen den Ablauf in den einzelnen Tälern etwas verschieden in Erscheinung treten, und der Überbewertung solcher sekundärer

Unterschiede dürften manche der aufgetretenen grundsätzlichen Meinungsverschiedenheiten zuzuschreiben sein.

Wir wollen uns deshalb zunächst vom allgemeinen Bild weg und speziell dem Föhnablauf im Glarnerlande zuwenden. Auf die Voraussetzungen für das Auftreten des Zyklonalföhns unserer Alpentäler brauche ich nicht näher einzugehen. Ich darf diese als allgemein bekannt annehmen, nämlich die Annäherung eines Tiefdruckzentrums im Westen oder Nordwesten von Zentraleuropa, während gleichzeitig ein Keil höheren Druckes über Oberitalien liegt, was sich im Isobarenbild der Wetterkarte häufig als sogenanntes *Föhnknie* im Alpengebiet zu erkennen gibt.

Schon einen bis zwei Tage *vor* dem Einbruch des Föhns am Talboden weht in der Höhe ein kräftiger Südwind, dessen Temperatur bereits etwas erhöht ist, so daß wir diesen Wind als *Höhenföhn* ansprechen können. In welcher Weise der Durchbruch dieses Höhenföhns zum Talboden erfolgt, haben wir auf Grund unserer Temperatur- und Feuchtigkeitsregistrierungen längs des Talprofils des Glarnerlandes eindeutig abklären können. Es hat sich nämlich gezeigt, daß der Föhn durchwegs zuerst im Talhintergrund einsetzt und erst allmählich bis zur Talmündung durchgreift, während umgekehrt das Ende des Föhns vorne im Tal beginnt und erst zuletzt im Talhintergrund eintritt. Der Durchbruch des Föhns spielt sich hinten im Tal nur zögernd und kämpfend ab und erstreckt sich über mehrere Stunden, während er weiter vorne im Tal schlagartig und momentan einsetzt, allerdings gelegentlich auch hier durch eine scharf markierte *Föhnpause* unterbrochen werden kann. Der Zusammenbruch (Ende) des Föhns erfolgt vorne im Tal wiederum schlagartig, im Talhintergrund dagegen wesentlich langsamer.

Aus den gleichzeitigen Winduntersuchungen ergibt sich nun (vgl. Abb. 1), daß vor dem Durchbruch des Föhns im Glarner Tale nicht nur ein starker Höhenföhn herrscht, sondern während 10–20 Stunden auch am Talboden eine schwache Südströmung zu beobachten ist. Dieser leichte Südwind erfüllt zuerst den ganzen Talquerschnitt bis zur Gipfelhöhe, doch zeigen Temperatur und Feuchtigkeit dieser Luft keinerlei Föhneigenschaften. Die Grenze zwischen dem heftigen Höhenföhn und der leichten Südströmung im Tale selbst steigt immer tiefer hinunter, was sich einerseits am fortschreitenden Einbruch des Föhns vom höher gelegenen Talhintergrund bis zum Talausgang erkennen läßt, andrerseits auch mit Pilotballonaufstiegen nachgewiesen werden konnte. Da diese Südströmung am Talboden keine lokale Erscheinung ist, sondern mit dem Höhenwind zusammenhängt, kommen wir zu der Feststellung, daß auch im Linthtal während des Vorföhnstadiums regelmäßig ein langsames Abfließen der im Tal lagernden Kaltluft stattfindet, wie es von der Föhntheorie von Billwiller und Ficker gefordert wird.

Doch wird dieses Abströmen von einer andern Erscheinung überdeckt und maskiert, die unser ganzes Augenmerk verdient. Eine bis mehrere Stunden vor dem Durchbruch des Föhns zum Talboden schlägt nämlich die Südströmung in Bodennähe in Nordwind um. Dieser Nordwind ist nicht sehr stark, doch konnten wir ihn in Glarus *ausnahmslos*

vor jedem Föhneinbruch registrieren. Er tritt erst dann auf, wenn die Föhninversion, also die Grenzschicht zwischen dem warmen Höhenföhn und der unteren kälteren Südströmung, auf wenige 100 m über dem Talboden herabgekommen ist. Je näher diese Grenze herabsinkt, um so stärker wird am Boden der Nordwind; seine größte Intensität erreicht er direkt vor dem Durchbruch des Föhns zum Boden; doch ist allerdings diese Nordströmung durchwegs ziemlich schwach und erreicht nicht einmal die Hälfte der Windstärke des nachherigen Föhns (Abb. 2).

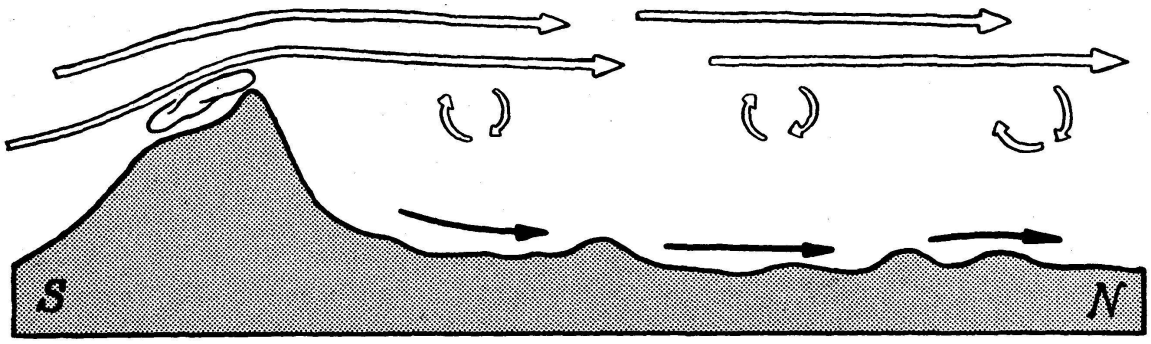



Abbildung 1
Entwicklung des Glarner Föhns:
I. Vorföhnstadium mit Höhenföhn.
⇨ Warmluft und Föhn, ➡ Kaltluft

Der ganze Ablauf dieses Windwechsels, den wir mit Windregistrierungen in Glarus und mit Pilotballonaufstiegen in Glarus sowie im Talabschluß hinter Elm nachweisen konnten, läßt uns zu der Auffassung gelangen, daß diese Nordströmung nur durch die darüber wehende Föhnströmung verursacht ist und nicht als das Einströmen von Kaltluft in das Tal interpretiert werden darf. Wir bezeichnen sie daher als *passiven Nordwind*. Diese Auffassung wird vor allem durch die Feststellung gestützt, daß vom Einsetzen dieses Nordwinds an der für die Föhnluft charakteristische Temperatur- und Feuchtesprung auftritt. Der Kampf an der Föhninversion zwischen der energiereicheren, wärmeren Höhenföhnströmung und der trägeren Bodenkaltluft verursacht somit einen Inversionswirbel, dessen unterer, rückkehrender Ast kurz vor dem Durchbruch des Föhns uns als Nordwind erscheint, während er in Wirklichkeit nichts anderes ist als ein um 180° abgelenkter Föhn. Das Zustandekommen einer solchen Gegenströmung an einer atmosphärischen Diskontinuitätsfläche ist der Aerodynamik und der Meteorologie seit langem bekannt.

Der weitere Ablauf des Föhnvorgangs stellt keine großen Probleme und bedarf daher keiner eingehenden Schilderung. Beim Durchbruch

des Föhns setzt ein heftiger Südwind ein, der den ganzen Talquerschnitt ausfüllt; mit starken Windstößen nimmt die Windgeschwindigkeit auf 10 m/s zu, gelegentlich bis auf 15 und 20 m/s; die Temperatur steigt um 5–8° an, die relative Feuchtigkeit fällt etwa auf die Hälfte des früheren Wertes, die Bewölkung ist meist gering, die Sicht klar. Dieser Föhn kann einige Stunden, er kann aber auch einige Tage dauern.

Das Ende des Föhns ist durch die Entwicklung der Großwetterlage bedingt. So wie der Föhn durch eine herannahende Depression verursacht wird, so bedingt der Durchzug ihrer Kaltfront den Zusammen-

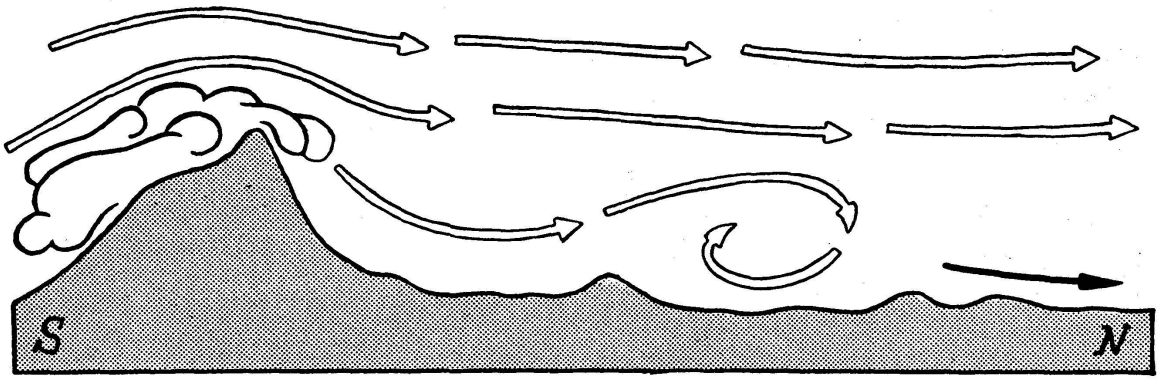



Abbildung 2
Entwicklung des Glarner Föhns:
II. Vorföhnstadium mit Höhenföhn und passivem Nordwind, Föhneinbruch hinten im Tal.

⇒ Warmluft und Föhn, ➡ Kaltluft

bruch des Föhns. Die aus dem Westen einströmende Kaltluft dringt auch in die Föhntäler ein und schiebt sich als feuchte, seichte Kaltluftmasse unter die Föhnströmung, die zunächst als Höhenwind abgehoben wird. Doch bald wird die Kaltluftmasse mächtiger und erstreckt sich dann über den ganzen Talquerschnitt und über eine hohe Atmosphärenschicht. «Der Föhn ist heimgegangen», wie der Glarner sagt.

An dem hier skizzierten Ablauf des ganzen Föhnvorganges scheinen mir drei Feststellungen besonders wichtig zu sein. Einmal die Tatsache, daß schon lange vor dem Durchbruch des Föhns zum Talboden in der Höhe ein starker föhnartiger Südwind weht; diese Erscheinung ist den Föhnforschern wohlbekannt. Doch ist sie sowohl bei der Theorie des Föhns wie bei der Erklärung der Föhnfühligkeit bisher viel zu wenig beachtet worden, und daher war es für uns besonders wertvoll, durch eigene Feststellungen mit dieser Tatsache vertraut zu werden.

Die zweite wichtige Feststellung betrifft die Tatsache, daß der Durchbruch des Föhns zum Talboden nicht, wie die alte Theorie Billwillers angenommen hatte, vorne im Tal beginnt, sondern in den hinteren, höher gelegenen Teilen des Tales. Auch diese Feststellung ist

nicht neu, nur hat sie bei der Theorie nicht durchwegs die Beachtung gefunden, die ihr zukommt.

Die dritte Feststellung, die wegen ihrer Bedeutung für den Ablauf des Föhns und für die Erklärung der Föhnfühligkeit unser besonderes Interesse gefunden hat, besteht im Nachweis des auffallenden Windwechsels vor dem Durchbruch des Föhns. Schon STREIFF-BECKER hat beobachtet, daß vor dem Föhndurchbruch am Talboden eine Nordströmung herrscht, hat sie jedoch als selbständigen Nordwind aufgefaßt. Wir vertreten jedoch auf Grund unserer aerologischen Untersuchungen und der Temperatur- und Feuchtigkeitseigenschaften dieser Luft die Ansicht, daß es sich dabei um den rückkehrenden Ast eines Turbulenzwirbels von der Untergrenze des Höhenföhns handelt, der Föhncharakteristik zeigt und am Boden nur scheinbar als passiver Nordwind in Erscheinung tritt.

Wir wollen nun kurz prüfen, wie sich unsere eigenen Resultate in die bisherigen Föhntheorien einfügen. Wir kommen dabei zu dem Ergebnis, daß den divergierenden Anschauungen zwar durchwegs richtige Beobachtungen zu Grunde liegen, daß aber auf Einzelheiten des Föhnablaufs zu großes Gewicht gelegt worden ist, unbekümmert, ob sie von grundlegender oder nur von sekundärer Bedeutung für das Zustandekommen des Föhns sind. Daher erklärt es sich, daß von den einzelnen Forschern und für die verschiedenen Föhntäler jeweilen eine andere Teilerscheinung als Hauptursache für das Herabsteigen des Föhns angesehen wurde, während die gemeinsamen Züge zu wenig beachtet wurden. Dazu kommt, daß meist nur nach der Ursache gefragt wurde, weshalb der Föhn in die Täler herabsteigt, während die umgekehrte, ebenso berechtigte Frage kaum beachtet wurde, wie es zu erklären ist, daß der Föhn oft tagelang in der Höhe wehen kann, ohne bis zum Talboden vorzudringen.

Hier hat nun die Basler Dissertation von KARL FREY,[1] die als wertvolle Frucht des schweizerischen Armeewetterdienstes entstanden ist, in den letzten Jahren einen großen und entscheidenden Fortschritt gebracht. Wie schon früher von FICKER festgestellt wurde, geht nämlich dem zyklonalen Alpenföhn stets ein Antizyklonalstadium voraus, wo eine Zone hohen Druckes über den Alpen liegt. In diesem Stadium erwärmt sich die Luft über den Voralpen und dem Mittelland stärker als über dem Alpenhauptkamm. Das damit verbundene antizyklonale Absinken wird auf den Voralpengipfeln als Südwind festgestellt. Dieser Südwind wird hervorgerufen durch die allgemeine Druckverteilung über den Alpen mit ihren von Süden nach Norden verlaufenden Isobaren. Er setzt sich unter Abschwächung bis zum Boden der Föhntäler durch, in denen infolgedessen ein allgemeines Abfließen von Luftmassen nach dem Tiefdruckzentrum hin festgestellt wird. Daß es sich dabei in den Föhntälern um das Abfließen von Kaltluft handelt, d. h. von Luftmassen,

[1] KARL FREY, Beiträge zur Entwicklung des Föhns und Untersuchungen über Hochnebel. Diss. Basel 1945.

die nicht durch irgendwelche Föhneffekte erwärmt sind, zeigen unsere Thermohygrogramme. Die durch die Großwetterentwicklung, nämlich durch die Annäherung des Tiefdruckzentrums, bedingte Ausbildung und Zunahme des Föhngradienten führt mit der Zeit zur Verstärkung des Südwindes in der Höhe.

Aber auch das Temperaturgefälle von den Voralpen zum Hauptkamm verstärkt sich, und KARL FREY hat die wichtige Feststellung gemacht, daß bei Höhenföhn ein Temperaturgefälle vom Pilatus zum gleich hohen Gotthardpaß von etwa 7° besteht, daß somit in gleicher Meereshöhe die Luft über dem Alpenhauptkamm 7° kälter und daher wesentlich dichter ist als über den Voralpen. Durch diese räumliche Verteilung von Dichte und Temperatur muß, wie durch thermodynamische Berechnungen gezeigt werden kann, auf der Leeseite am Alpennordhang eine Zirkulation entstehen, die eine absinkende Komponente zur Folge hat; so erklärt sich das Hinuntersteigen des Föhns in die Täler aus den Dichteunterschieden, was sich allerdings nur durch eine eingehende theoretische Betrachtung nachweisen läßt. Dabei muß nach den Berechnungen von FREY die Vertikalkomponente des Absteigens nur einen kleinen Bruchteil der horizontalen Windgeschwindigkeit betragen, um zu erklären, weshalb der Föhn dem absteigenden Geländeprofil der nordalpinen Föhntäler folgt und dabei die Kaltluft allmählich aus den Tälern ausräumt.

Die auf großräumige Betrachtung sich stützende Berechnung von FREY und unsere eigenen empirischen Untersuchungen in einem einzelnen Föhntal ergänzen sich aufs beste und führen zu denselben Vorstellungen über den Föhnvorgang. Bei unserer Darstellung des Föhnablaufs stützen wir uns daher ebensosehr auf FREYS Theorie wie auf unsere Beobachtungsergebnisse.

Aus unseren Glarner Untersuchungen geht hervor, daß das Herabsteigen des Föhns nur sehr langsam und kämpfend vor sich geht; der Föhn wird durch den langsamen Abfluß der Kaltluft gehindert, sich rasch nach unten durchzusetzen, und der Großteil der Zirkulationsenergie der Föhnluft muß darauf verwendet werden, die langsam abfließende Kaltluft beschleunigt wegzuschaffen. An der Grenzfläche dieser beiden in gleicher Richtung, aber mit ganz verschiedenem Energiegehalt und daher mit ungleicher Geschwindigkeit fließenden Luftmassen entstehen, zumindest in den tieferen Lagen, Turbulenz- und Wirbelbildungen, aus denen sich der knapp vor dem Durchbruch des Föhns auftretende passive Nordwind erklärt. Es hängt stark von der Orographie der einzelnen Föhntäler ab, ob und wie stark dieser Nordwind in Erscheinung tritt.

Ebenso wie in anderen Föhngebieten konnte auch im Glarner Tal eindeutig festgestellt werden, daß der Föhn nie zuerst am Talausgang weht, sondern daß er von oben nach unten vordringt und nur deshalb zuerst im Talhintergrund durchbricht, weil dieser höher liegt als der Talausgang. Das Herabsteigen geht im Verhältnis zur Windgeschwindigkeit sehr langsam vor sich, und die Hauptenergie der Föhnströmung muß dazu verwendet werden, die alte Kaltluft hinwegzuräumen.

Der an der Föhninversion zwischen der energiereicheren, heftigen und warmen Föhnströmung in der Höhe und der trägeren Bodenkaltluft der Föhntäler, die ebenfalls eine leichte Südströmung bildet, entstehende Inversionswirbel dürfte wohl den Anlaß zu den Föhntheorien von WILD und von STREIFF-BECKER gegeben haben. Diese beiden Forscher haben den Inversionswirbel richtig beobachtet, ihm aber eine viel zu weit gehende Bedeutung beigemessen, indem sie in dieser sekundären Randerscheinung die Hauptursache für das Herabsteigen des Föhns erblickt haben. Die Berechnungen von FREY und die Resultate unserer eigenen Beobachtungen und Messungen führen vielmehr zu dem Ergebnis, daß die FICKERsche Föhntheorie, die sich zwar an die alte BILLWILLERsche Auffassung anlehnt, ihre Mängel jedoch vermeidet, die Ursache für die Entstehung und das Herabsteigen des Föhns am einwandfreiesten zu erklären vermag. So sehr der Ablauf des Föhns in den einzelnen Föhngebieten ein verschiedenes Bild zu zeigen scheint, so erweisen sich diese Unterschiede doch meist als nur von sekundärer Natur, während der Kern der Erscheinung überall gleichartig auftritt. So dürften durch die Untersuchung von FREY und durch unsere eigenen Feststellungen die Anschauungen über den *meteorologischen Teil* des Föhnproblems eine wesentliche Präzisierung erfahren haben.

Schwieriger steht es um den *biologischen Aspekt* des Föhnproblems, dem wir uns nun zuwenden wollen. Sie alle kennen das Bild der Föhnfühligkeit, sei es aus subjektivem Erleben, sei es aus Beobachtungen an Personen Ihrer Umgebung. In ihren leichteren Symptomen ist sie durch eine eigentümliche Mischung von Mattigkeit und Beklommenheit mit Unruhe und Reizbarkeit charakterisiert; sie ist mit starker Arbeitsunlust und mit Unfähigkeit zu richtiger Konzentration verbunden, sie führt in schwereren Fällen auch zu Migräne, zu abnormalem Schlafbedürfnis mitten am Tage, zu Schwindelerscheinungen und Flimmerskotom.

Dazu tritt die Erfahrung der Ärzte, sowohl in den alpinen Föhntälern wie auch im Alpenvorland, daß bei Föhnsituationen der Ausbruch und die Verschlimmerung von Krankheiten gehäuft auftreten. Diese Gruppenbildung kann sich gleichzeitig auf ganz verschiedene Krankheitsbilder beziehen; gelegentlich kann die Verschlimmerung sogar auch zum Tode führen. In dieser Hinsicht sind die postoperativen Embolien besonders gefürchtet; in unserem Lande vermeiden daher bei Föhnsituationen manche Chirurgen die Vornahme aufschiebbarer Operationen, vor allem weil der Patient dann wesentlich embolieanfälliger ist, gelegentlich aber auch, weil der Operateur dann nicht über das Optimum seiner Fähigkeiten verfügt.

Es ist klar, daß es sich bei diesen Erscheinungen *nicht* um die Entstehung oder auch nur die Beeinflussung einer Krankheit durch Witterungsvorgänge handeln kann; beeinflußt wird vielmehr ausschließlich der Mensch in seiner ganzen Reaktionslage. Ist der Organismus durch irgendwelche pathogene Ursachen, evtl. auch durch seine Konstitution, an die Grenzen seiner physiologischen Anpassungsfähigkeit gelangt, befindet er sich sozusagen in einem prämorbiden Zustand, so

genügt schon ein geringer zusätzlicher Insult, wie er bei föhnfühligen Personen von der Föhnsituation ausgeht, um die Erkrankung zum Ausbruch oder zur Verschlimmerung kommen zu lassen.

Es ist übrigens bemerkenswert, daß kein einziges Symptom der Föhnfühligkeit bekannt ist, das nicht ebensogut auch aus anderen Gründen und ohne Wettereinfluß entstehen kann; es gibt somit *keine spezifischen Symptome* für die Föhnkrankheit, und es dürfte aus diesem Grunde schwer fallen, differentialdiagnostische Kriterien für diesen Krankheitskomplex aufzustellen.

Aber nicht nur beim pathologischen Fall, sondern auch schon beim Gesunden treten gewisse Variationen der normalen physiologischen Funktionen als Effekt der Föhnvorgänge auf. Dabei ist bemerkenswert, daß – wie STÄMPFLI und REGLI im Berner Physiologischen Institut festgestellt haben – ein derartiges Ansprechen auf meteorotrope Einflüsse *objektiv* bei allen Menschen nachgewiesen werden kann, daß jedoch nur labile, eben die sogenannten «föhnfühligen» Menschen, diese Reaktion auch *subjektiv* empfinden.

Wer sich mit Untersuchungen der Wetterfühligkeit befaßt, empfindet es leicht als unbefriedigend, daß sich die Signifikanz der meteoropathologischen Untersuchungsresultate nur selten durch strenge statistische Kriterien nachweisen läßt. Doch darf hier darauf hingewiesen werden, daß dieser Mangel unvermeidlich und begründet ist. Die Symptome der Föhnkrankheit sind, wie wir eben gesehen haben, unspezifisch und können daher unabhängig vom Wetter auch durch andere Ursachen ausgelöst werden. Da zudem die Reaktionsbereitschaft auch bei föhnfühligen Menschen offenbar starken zeitlichen Schwankungen unterliegt, so muß notgedrungen die Korrelation zwischen den meteorotropen Ursachen und der biologischen Reaktion sehr lose sein.

Aus dem ganzen vielfältigen Bild, das die Föhnfühligkeitssymptome bieten, können wir erkennen, daß die Föhnwirkung zwar häufig an einem einzelnen Organ in Erscheinung tritt, daß jedoch ihr primärer Angriffspunkt viel tiefer, nämlich in einer *Reaktionsänderung des vegetativen Nervensystems* gelegen ist. Diese Auffassung ist besonders geeignet, eine Erklärung für die Tatsache zu geben, daß eine Föhnsituation sich bei verschieden disponierten Personen in ganz verschiedener Weise manifestiert.

Diese Anschauung, daß die Pathogenese der meteorotropen Effekte in einer Tonusänderung des zentralen Nervensystems beruht, bietet die Möglichkeit zu einer synthetischen Auffassung dieses Symptomenkomplexes. Einzig über den Rezeptor dieser Wirkung können wir noch gar nichts aussagen und wissen nichts über die Fragen, durch welches Empfangsorgan sie das Nervensystem erreichen und über welche Funktion sie es beeinflussen.

Damit verlassen wir die biologische Fragestellung und wenden uns der meteorologischen Erklärung der Föhnfühligkeit zu. Es sind in den letzten Jahrzehnten zahlreiche Hypothesen entwickelt worden, um das meteorologische Element oder den atmosphärischen Vorgang zu finden,

dem die biologische Föhnwirkung zuzuschreiben ist. Sie sind alle nicht zu überzeugenden Resultaten gekommen, meines Erachtens vor allem, weil einige Grundtatsachen und Feinheiten dabei nicht genügende Beachtung gefunden haben. So wurde der Föhn stets als feststehender Begriff verwendet und weder den Unterschieden des räumlichen und zeitlichen Ablaufs noch den mikroklimatischen Gesichtspunkten Rechnung getragen. Zudem wurden manche Beobachtungstatsachen, die für den Föhnkenner wohl vertraut und gesichert sind, von den Theoretikern, die den Föhn vielfach nur aus der Literatur kennen, nicht genügend beachtet. Da jedoch gerade diese Grundtatsachen für die Brauchbarkeit einer Föhnfühligkeitshypothese von entscheidender Bedeutung sind, möchte ich sie zunächst kurz erörtern.

Da ist zuerst die eigentümliche Erscheinung der *Vorfühligkeit* gegenüber Föhn zu nennen. Es ist eine bekannte Erfahrungstatsache, daß in den Föhntälern die subjektiven Föhnbeschwerden am stärksten sind, bevor der Föhn im Tale durchbricht, während sie nach dem Föhndurchbruch nachlassen. Auf Grund unserer heutigen Vorstellungen über den Föhnablauf können wir nun sagen, daß die biologischen Föhneffekte dann am intensivsten sind, wenn oben der Höhenföhn bläst, unten dagegen die leichte Südströmung oder der passive Nordwind weht. Das Wesentliche ist dabei die Verschiedenheit der Luftströmung in den verschiedenen Schichten, an die die Existenz einer Diskontinuitätsfläche und Grenzeffekte irgendwelcher Art geknüpft sein können. Sobald jedoch der Föhn bis zum Boden durchgegriffen hat, ist die Grenzschicht hinweggeräumt, und *in der homogenen Föhnluft* lassen die Föhnbeschwerden nach.

Diese Feststellung, daß die Föhnkrankheit vor allem im Vorföhnstadium auftritt, findet man von verschiedenen Autoren angeführt, durchwegs jedoch im Sinne einer gefühlsmäßigen Erfahrungstatsache und ohne genaueres Beweismaterial. Es ist uns nun gelungen, auf Grund der klinischen Statistik von Ernst Fritzsche in Glarus den zahlenmäßigen Beweis für die Richtigkeit dieser Anschauung zu erbringen. Danach ist die Wahrscheinlichkeit von Befindensstörungen am größten im *Vorföhnstadium*, wo über einer Diskontinuitätsschicht eine starke Föhnströmung in der Höhe weht. Bezeichnen wir die normale Häufigkeit von Befindensstörungen, mit denen wir jederzeit, auch ohne Wettereinfluß, rechnen müssen, mit 100 %, so steigt dieser Wert bei Beginn der Föhnsituation zunächst auf 160 % und während der letzten Vorföhnphase mit passivem Nordwind am Boden bis gegen 200 %. Das Abklingen der Symptome nach dem Durchbruch des Föhns bis zum Talboden läßt sich an dem Rückgang dieser Häufigkeitsprozentzahl während des Föhns zunächst auf 140 %, später auf 110 % erkennen; nach Beendigung des Föhns fällt sie auf 100 %. Wir ersehen daraus, daß es gar nicht der Föhn selbst ist, der uns die stärksten meteorotropen Beschwerden verursacht, sondern die *Vorföhnphase*. Die bisherigen Mißerfolge der Föhnfühligkeitsforschung dürften sich zu einem guten Teil daraus erklären, daß die bisherigen Bearbeiter dieser Probleme fast stets nach den Eigenschaften der Föhnluft selbst gefragt haben, während

die zukünftige Forschung sich viel stärker mit den atmosphärischen Charakteristika des Vorföhnstadiums zu befassen haben wird.

Nun gibt es viele Orte im näheren und weiteren Alpenvorland, wo der Föhn nur selten bis zum Boden durchbricht, häufiger dagegen in der Höhe weht. Auch für solche Gegenden gilt somit die Tatsache einer Doppelschichtung von zwei verschiedenen Luftströmungen, die durch eine Grenzfläche getrennt sind. Im schweizerischen Mittelland, in Zürich, aber auch in Basel, wo man häufig unter Föhnbeschwerden leidet, ohne daß die üblichen meteorologischen Kriterien des Föhns am Boden zu beobachten sind, könnte auf diesem Wege eine Erklärung für den starken Meteorotropismus des Klimas gefunden werden. Bei solchen Situationen weht häufig in der Höhe eine kräftige Süd- oder Südwestströmung, gleichgültig, ob föhniger oder nichtföhniger Natur, während in der bodennahen Schicht eine träge, stagnierende oder wenig bewegte Luftmasse liegt. Für diese Fälle ist somit auch wieder eine Doppelschichtung mit einer Diskontinuität charakteristisch.

Da unser Organismus nicht etwas vorausspüren kann, was erst später eintritt, müssen wir zur Erklärung der geschilderten Erscheinungen annehmen, daß die dem Föhndurchbruch vorausgehende Luft bereits Modifikationen des atmosphärischen Milieus aufweist, die meteorotrop wirksam sind, oder aber daß von der Grenzschicht selbst Fernwirkungen ausgehen, auf die wir ansprechen. Auf jeden Fall ist es klar, daß wir bei Berücksichtigung dieser Vorfühligkeit nicht die Föhnluft selbst, sondern den atmosphärischen Zustand im Zeitpunkt des Maximums der biologischen Föhnsymptome, also im Vorföhnstadium, untersuchen müssen.

Ein weiteres Kriterium, das bei der Erklärung der Föhnfühligkeit unbedingt berücksichtigt werden muß, besteht in der Erfahrungstatsache, daß die biologischen Föhneffekte auch *im Hause*, sogar bei geschlossenen Türen und Fenstern, genau so stark zur Geltung kommen wie im Freien. Wäre dies nicht der Fall, so brauchten sich die Föhnfühligen bei Föhn einfach ins Haus zu begeben, sie könnten durch bloßes Schließen von Türen und Fenstern den Beschwerden ausweichen. Diese Tatsache der Auswirkung der Föhn- und Wetterfühligkeit im Hause ist von keiner Seite ernstlich bestritten worden; im Gegenteil wird von einzelnen Autoren sogar die Ansicht vertreten, daß die meteorotropen Symptome im Hause eher verstärkt auftreten, etwa in der Art einer Resonanzerscheinung.

Dieser Auswirkung des Föhns im Hause kommt für die Symptomatik und die Erklärung dieser Erscheinungen eine grundlegende Bedeutung zu. Zur Erklärung der Föhnfühligkeit können nämlich nur solche atmosphärische Vorgänge herangezogen werden, deren Verhalten sich im Hause ähnlich abspielt wie im Freien, wie etwa der Luftdruck oder gewisse luftelektrische Erscheinungen. Es erklärt sich daraus andrerseits der Umstand, daß die früheren Bemühungen, die Föhnfühligkeit durch die Schwankungen einzelner der herkömmlichen Elemente erklären zu wollen, zu einem vollständigen Mißerfolg verurteilt sein muß-

ten; im Hause verhalten sich ja Elemente wie Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit, Niederschlag und Strahlungsvorgänge ganz anders als im Freien, und ihre natürlichen Schwankungen werden durch die Einrichtungen unserer Behausungen weitgehend unterdrückt. Für die chemische Zusammensetzung und die Beimengungen der Luft wie etwa ihren Gehalt an Staub, Kondensationskernen und Elektrizitätsträgern, wobei neuerdings von gewisser Seite wieder das Ozon stark in den Vordergrund geschoben wurde, gelten ähnliche Überlegungen. Man sollte deshalb zur Prüfung atmosphärischer Einflüsse auf das Befinden, soweit es sich nicht um Elemente handelt, die sich vollkommen ungehindert ins Haus hinein fortpflanzen, nur meteorologisches Vergleichsmaterial verwenden, das unter den speziellen Lebensbedingungen der Versuchspersonen, somit ebenfalls im Hause, gewonnen worden ist.

Zum Abschluß möchte ich noch kurz diskutieren, wie sich die verschiedenen Hypothesen zur Erklärung der Föhnfühligkeit im Lichte der eben skizzierten prinzipiellen Kriterien präsentieren. Wenn auch die Forschung, wie ich Ihnen einleitend ausgeführt habe, den meteorologischen «Erreger» der Föhnfühligkeit noch nicht mit Namen nennen kann, so können wir heute doch einiges über seine charakteristischen Eigenschaften aussagen; vor allem aber können wir verschiedene ungeeignete Erklärungshypothesen ausscheiden und den Weg zur richtigen freilegen.

Die zahlreichen Hypothesen zur Meteoropathologie des Föhns lassen sich hinsichtlich der Angriffsweise des Föhns in die zwei Kategorien der Milieuwirkungen und der Fernwirkungen gruppieren. Bei den *Milieuwirkungen* wird der meteorotrope Effekt auf Änderungen des uns direkt umgebenden atmosphärischen Milieus zurückgeführt, etwa auf Schwankungen der chemischen Zusammensetzung der Luft oder der Beschaffenheit des Aerosols, also ihres Gehaltes an Staubteilchen, Kondensationskernen oder elektrischen Ionen. Während die Milieuwirkungen auf Vorgänge in unserer nächsten Umgebung beschränkt sind, gehen die *Fernwirkungen* auf Effekte zurück, die von einem in der Ferne gelegenen Ursprungsort ausgehen und sich in ihrer Auswirkung bis zu uns, sogar bis ins geschlossene Haus hinein fortpflanzen. Zu den Fernwirkungen zählen daher die elektrischen Potentialfelder zwischen Erde und Atmosphäre, eventuell auch elektrische Vorgänge solaren Ursprungs in der Ionosphäre. Daneben sind die vielfachen Schwankungen des Luftdrucks zu nennen, die im Luftmeer ständig beobachtet werden können. Alle diese Effekte, mit Ausnahme derjenigen, die von der Sonne in der Ionosphäre erzeugt werden, haben ihren Sitz oder Ausgangspunkt in den *Diskontinuitätsflächen* in der Atmosphäre.

Wenn wir uns schließlich noch für die physikalischen Vorgänge interessieren, die den einzelnen *Hypothesen* zur Erklärung der Föhnfühligkeit zu Grunde liegen, so lassen sich diese in drei Gruppen zusammenfassen, wobei sie teilweise Milieu-, teilweise Fernwirkungen darstellen.

Zu einer ersten Kategorie lassen sich die Anschauungen zusammennehmen, die die Föhnfühligkeit durch eine Änderung der Zusammensetzung und der Beimengungen der uns umgebenden Luft zu erklären versuchen. Wir haben bereits gesehen, daß derartige Milieuhypothesen auf zwei grundsätzliche Schwierigkeiten stoßen. Einerseits lassen sich mit Milieueffekten von dieser Art die Erscheinungen der Vorföhnfühligkeit und der Fernwirkung prinzipiell nicht erklären. Und wenn auch die landläufige Ansicht, daß durch das Schließen von Türen und Fenstern ein vollständiger Abschluß der Zimmer erzielt werden kann, durch die Erfahrungen der Wohnungshygiene widerlegt worden ist, so ist doch für alle Änderungen in der Zusammensetzung und den Beimengungen der Luft nur mit einem verzögerten und abgeschwächten Eindringen ins geschlossene Haus zu rechnen.

Den Erscheinungen der Fernfühligkeit und speziell der Fernwirkung von Diskontinuitätsflächen wird in viel besserem Maße Rechnung getragen durch eine zweite Art von Hypothesen, wonach die meteorotropen Effekte durch schnelle *Schwankungen des Luftdrucks* ausgelöst werden. Nachdem nachgewiesen worden war, daß in der Atmosphäre stets eine gewisse Unruhe des Luftdrucks herrscht, daß aber vor allem von Grenzflächen merkbare interne Druckwellen ausgehen, hat Ficker in Innsbruck 1911 als erster die Vermutung ausgesprochen, daß vielleicht gerade auf diese Wellen die Auslösung der Föhnfühligkeit zurückzuführen sei. Das Problem wurde dann lange Zeit nicht genauer verfolgt; Storm van Leeuwen, der es anpackte, ist 1933 gestorben, bevor er es abschließend behandeln konnte.

Seit mehr als einem Jahrzehnt beschäftigen wir uns am Davoser Observatorium mit den verschiedenen Problemen, die durch die meteorologische und die meteorobiologische Bedeutung der schnellen Druckschwankungen aufgeworfen werden. Wir haben zu diesem Zweck während Jahren Luftdruckvariographen nach Wilhelm Schmidt von sehr hoher Empfindlichkeit in Betrieb gehabt, nicht nur in Davos, sondern auch in Glarus, Zürich und Basel. Die Verarbeitung dieser Registrierungen hat ergeben, daß die internen Druckwellen der Atmosphäre sehr große Variationen zeigen können; dabei ist das Aussehen der Druckkurven in so hohem Maße charakteristisch für die Wettersituation, daß sich aus dem Kurvenverlauf weitgehende Schlüsse auf das meteorologische Geschehen ziehen lassen. Vor allem Diskontinuitätsflächen und Luftmassengrenzen in der Höhe lassen sich damit vorzüglich nachweisen, und es ist sehr wohl denkbar, daß solche Luftdruckvariographen in Zukunft auch der Analyse und der Prognose des Wetters dienstbar gemacht werden können.

An dieser Stelle interessiert uns aber die Bedeutung dieser Druckwellen für die Wetterfühligkeit. Da erscheint es nun wesentlich, daß diese Druckwellen sich in der Atmosphäre nach allen Richtungen und mit großer Geschwindigkeit fortpflanzen und sich ungestört auch im geschlossenen Zimmer auswirken. Ferner haben unsere Untersuchungen gezeigt, daß stets dann, wenn allgemein über subjektive Wetterbe-

schwerden geklagt wird, die Druckwellen vergrößert sind und ein charakteristisches Aussehen zeigen. Bei der Analyse des klinischen Beobachtungsmaterials aus Glarus, von dem schon die Rede war, hat sich sogar die überraschende Tatsache ergeben, daß eine engere Korrelation der Befindensstörungen zu den Druckwellen zu bestehen scheint als zu den äußerlich manifesten Wetterstörungen, daß somit, methodologisch betrachtet, die Trefferzahl bedeutend größer ist, wenn man die Befindensstörungen mit dem Aussehen der Variographenkurven in Beziehung setzt, als wenn man sie mit täglichen Wetteranalysen korreliert.

Man möchte deshalb versucht sein, in den schnellen Druckschwankungen wenn nicht eine Ursache, so doch ein wesentliches Kriterium für das Auftreten meteorotroper Effekte zu erblicken. Wie sollen nun aber Schwankungen des atmosphärischen Druckfeldes auf unseren Organismus und speziell auf das zentrale Nervensystem wirken? Wenn im Außenraum der Druck Variationen erfährt, so ändert sich auch der Druckunterschied zwischen außen und den Hohlräumen unseres Organismus, von denen hier wohl der Schädelraum besonderes Interesse beansprucht. Nun steht unser Ohr mit dem Schädel in direkter Verbindung und ist seinerseits auf Druckschwankungen sehr empfindlich. Es liegt daher nahe, eine Wirkung der atmosphärischen Druckschwankungen auf das Labyrinth und von diesem auf das vegetative Nervensystem anzunehmen.

Denken wir nun aber diese Vorstellung zu Ende, so gelangen wir zu neuen Schwierigkeiten. Mein Mitarbeiter Peter Courvoisier hat geprüft, was für Druckschwankungen in der Atmosphäre überhaupt auftreten und wie sie von unserem Ohr aufgenommen werden. Dabei hat sich gezeigt, daß alle Druckwellen, die langsamer verlaufen als etwa eine Schwankung pro Minute, in unserem Ohr nicht ungestört zur Auswirkung gelangen können, sondern durch den spontanen Schluckvorgang in Minutenteilwellen zerlegt werden. Umgekehrt können wir auch nicht annehmen, daß Wellen von mehr als 16 Schwingungen pro Sekunde eine meteorotrope Wirkung haben können; sonst müßte mit den Wetterfühligkeitssymptomen auch eine akustische Empfindung im Ohr verbunden sein. Verbleibt somit nur noch der mittlere Frequenzbereich zwischen 16 Hz und $10^{-2}$ Hz; dieser Bereich umfaßt in der Natur die Windstöße, doch widerspricht es der Erfahrung, anzunehmen, daß die einzelnen Windstöße, wie sie gerade für Schönwetterwinde charakteristisch sind, Störungen unseres Befindens sollten hervorrufen können.

Obgleich die äußeren Bedingungen, unter denen schnelle Druckschwankungen in der Atmosphäre auftreten, weitgehend identisch erscheinen mit den Voraussetzungen für das Auftreten meteorobiologischer Effekte, so fehlt uns doch noch einerseits ein strikter Beweis für einen kausalen Zusammenhang und andrerseits eine zwingende Vorstellung für den physiologischen Vorgang, der sich dabei abspielen soll. Die Hoffnung, die meteorotropen Vorgänge als eine Wirkung der schnellen Druckschwankungen erklären zu können, hat sich somit bisher noch nicht erfüllt.

Schließlich kommen wir noch zu einer dritten Gruppe von meteoro-

pathologischen Hypothesen, zu den *elektrischen Erscheinungen* in der Atmosphäre. Hier müssen wir verschiedene luftelektrische Elemente unterscheiden. Daß die *Luftionen*, also die Elektrizitätsträger, die entweder aus geladenen Luftmolekülkomplexen oder aus geladenen Suspensionspartikeln bestehen, bei der Berührung mit unserer Haut oder in unserer Lunge ihre Ladung abgeben und dadurch unseren Organismus beeinflussen können, dürfte nicht zweifelhaft sein, wenngleich diese Ladungsabgabe fein differenzierten Bedingungen unterliegt. Die Schwierigkeit der Annahme einer meteorotropen Wirkung liegt hier nicht auf dem biologischen, sondern viel mehr auf dem meteorologischen Gebiet. Unsere eingehenden Ionenuntersuchungen in Davos und in Glarus haben nämlich ergeben, daß die Schwankungen des Ionenhaushalts im normalen Tages- und Jahresgang viel größer sind als seine Veränderungen bei Frontpassagen oder beim Auftreten von Föhn, und doch ist ein derart starker Tages- oder Jahresgang unseres subjektiven Befindens, wie er sich daraus ergeben müßte, keineswegs bekannt. Im Gegenteil hängt der Ionenhaushalt und speziell der Quotient der positiven zu den negativen sowie der schweren zu den leichten Ionen in erster Linie von den zur Verfügung stehenden Suspensionen ab, so daß durch ein Heizungskamin oder durch den Rauch einer Zigarette der Ionenhaushalt viel gründlicher beeinflußt wird als durch Föhn oder andere Witterungserscheinungen. Schließlich ist die Ionenhypothese den Milieuwirkungen zuzuzählen, für die die Erklärung der Vor- und der Fernfühligkeit eo ipso auf große Schwierigkeiten stößt.

Diese letztgenannte Komplikation fällt weg, wenn wir zum zweiten luftelektrischen Element übergehen, zum *Potentialgefälle*, das auch bei ungestörtem Wetter zwischen Erde und Atmosphäre ständig herrscht. Es liegt nahe, anzunehmen, daß der Mensch in diesem Potentialfeld elektrischen Kräften unterliegt, da sein Kopf von Potentialflächen höheren Potentials umgeben ist als seine Füße. Doch gilt diese Überlegung nur im Freien; im Hause dagegen befindet sich der Mensch in einem Faradayschen Käfig, er ist geerdet und gegen das Potentialfeld abgeschirmt. Um ganz sicher zu gehen, haben wir diese Fragen experimentell geprüft und tatsächlich festgestellt, daß von den starken, langsamen Potentialfeldschwankungen, wie sie bei Wetterstörungen im Freien auftreten, im Hause nichts zu beobachten ist. Erinnern wir uns aber daran, daß die Wetterfühligkeit im Hause mindestens ebenso stark auftritt wie im Freien, so erkennen wir, daß wir sie mit der Hypothese der langsamen Potentialfeldschwankungen, wie es bisher vielfach versucht wurde, nicht erklären können, so gut diese anderseits geeignet wäre, die Fernfühligkeit gegenüber dem Höhenföhn wiederzugeben.

Die luftelektrische Hypothese der Meteoropathologie hat während mehrerer Jahrzehnte eine große Rolle gespielt. Unsere kritische Überprüfung zeigt nun aber, daß weder die Ionisation noch das Potentialgefälle, die beide von der klassischen luftelektrischen Forschung in den Vordergrund gestellt wurden, geeignet sind, alle Aspekte der Wetterfühligkeit zu erklären. Hier bietet uns nun die neuere Entwicklung der

Hochfrequenzphysik eine wesentliche Erweiterung des Blickfeldes, die uns möglicherweise einen Weg zur Erklärung der Wetterfühligkeit weist. Wohl werden die langsameren Potentialfeldschwankungen, wie sie die luftelektrische Forschung bisher untersucht hat, von unseren Gebäuden abgeschirmt und unwirksam gemacht, so daß sie im Innern der Häuser keine meteorotropen Wirkungen hervorzurufen vermögen. Nun macht aber PETER COURVOISIER[1] neuerdings darauf aufmerksam, daß diese Erfahrung nur für langsame Potentialfeldschwankungen gilt, während unsere normalen Häuser aus Holz und Stein für hochfrequente Feldänderungen von mindestens einer Million Wellen pro Sekunde durchlässig sind. Aus verschiedenen Untersuchungen, in der Schweiz vor allem von JEAN LUGEON, kann geschlossen werden, daß derartige hochfrequente elektromagnetische Oszillationen tatsächlich in der Atmosphäre auftreten und vorwiegend von Grenzschichten ihren Ausgang nehmen, teilweise sogar von der Sonne emittiert werden.

Wenn es nun der zukünftigen Forschung gelingt, einerseits das Auftreten und die Eigenschaften *hochfrequenter elektromagnetischer Schwingungen* in der Atmosphäre und ihre Beziehungen zu den meteorotropen Wettersituationen nachzuweisen und andrerseits physiologische Wirkungen solcher Oszillationen auf unser vegetatives Nervensystem zu finden, so dürfte die Türe zu einer Erklärung der Wetterfühligkeit geöffnet sein, die voraussichtlich alle bisherigen Schwierigkeiten überwinden kann; denn auf Grund dieser Hypothese würden sich die Erscheinungen der Vor- und der Fernfühligkeit, der simultanen Wirksamkeit über große Distanzen sowie das Eindringen der meteorotropen Wirkung ins Haus zwangslos erklären. Auch die Erfahrungstatsache, daß starke Befindensstörungen gelegentlich mit solaren Eruptionen koinzidieren, würde von dieser Hypothese umfaßt werden. Damit wäre aber auch das Rezept gefunden, wie wir uns, wenigstens im Hause, vor Wetterbeschwerden schützen können; wir müßten die Häuser gegen die hochfrequenten Feldschwankungen abschirmen, und dies geschieht in einfacher Weise durch Einbau eines gut geerdeten Drahtnetzes unter dem Dach oder durch enge Eisenarmierung in Eisenbetonhäusern.

Kehren wir jedoch zum Schlusse von diesen Zukunftsproblemen auf den Boden des gesicherten Wissens zurück, so kommen wir zu der Erkenntnis, daß wir zwar verschiedene Arbeitshypothesen, jedoch noch keine überzeugende Theorie zur Erklärung der Föhnfühligkeit besitzen. Einzelne mögen vielleicht versucht sein, diese Feststellung mit Resignation und Enttäuschung entgegenzunehmen. Es scheint mir aber, daß gerade eine Klarstellung der Begriffe und Zusammenhänge, wie ich sie heute zu geben versucht habe, uns zu neuer Initiative aufrufen sollte. Jeder Fortschritt der Forschung legt den Weg zu neuen Problemen frei.

In diesem Optimismus, der nicht nur für die Föhnbiologie, sondern für jede Forschung seine Berechtigung hat, erkläre ich die 130. Jahresversammlung der Schweiz. Naturforschenden Gesellschaft für eröffnet.

---

[1] P. COURVOISIER, Die Schwankungen des elektrischen Feldes in der Atmosphäre und ihre Beziehungen zur Meteoropathologie. Experientia 7 (1951).

# Die Trennung der Isotope und ihre Verwendung in der Forschung

Von

KLAUS CLUSIUS

Physikalisch-Chemisches Institut der Universität Zürich

Die Verwendung der Isotope für Forschungszwecke beginnt 1913, als v. HEVESY und PANETH die Untrennbarkeit des gewöhnlichen Bleis vom Radium D benutzten, um die Löslichkeit von Bleisulfid und Bleichromat zu bestimmen. Die allgemeine Entwicklung der Isotopentechnik kam aber erst in den dreißiger Jahren mehr und mehr in Gang, um im letzten Jahrzehnt einen früher wohl niemals erwarteten Aufschwung zu nehmen. Vor 20 Jahren war es noch möglich, die Isotopenliteratur auf wenigen 4°-Seiten unterzubringen; heute ist allein für den schweren Wasserstoff ein 350 Seiten starkes Buch gerade ausreichend, um den Literaturnachweis bis Ende 1949, nicht aber etwa eine Beschreibung dieses Elementes aufzunehmen. Ein 1948 erschienener Bericht v. HEVESYS über die Anwendung der Isotope auf biologische Fragen umfaßt gegen 1000 Arbeiten. Daraus kann man ermessen, welchen Umfang die gesamte Isotopenliteratur bereits heute erreicht hat. Dabei haben wir allen Grund zu der Annahme, daß es sich nicht um eine Modeerscheinung – denn auch das gibt es –, sondern um die echte Blüte eines neuen Zweiges am Baum der Wissenschaft handelt, deren Früchte schon an vielen Stellen sichtbar werden. Die isotope Technik wird in Zukunft kein isoliertes Arbeitsgebiet einiger weniger Spezialisten bleiben, sondern allmählich als eine Methode allgemeiner und häufiger Anwendbarkeit alle Gebiete der Chemie und Physik durchdringen, eine Tatsache, auf die bei der Ausbildung des Nachwuchses gebührend Rücksicht genommen werden muß.

## Das Atom und sein Aufbau

Was sind nun Isotope? Wir wissen, daß es insgesamt 92 chemische Elemente gibt, die bis auf wenige Ausnahmen in der Natur aufgefunden und gründlich untersucht worden sind. Die Elemente bestehen aus Atomen, die wir uns als sehr kleine Kugeln von $10^{-8}$ cm Durchmesser vorstellen können. Allerdings ist ein solches Atom keine homogene

Kugel. Es beherbergt vielmehr im Innern einen winzigen Kern, der eine positive elektrische Ladung trägt und fast die gesamte Masse des Atoms in sich vereinigt. Da der Durchmesser des Kerns nur $10^{-13}$ cm beträgt, steht er zum ganzen Atom in einem Größenverhältnis wie etwa ein Stecknadelknopf zu einem Haus. Um den Kern sind so viele negativ geladene Elektronen angeordnet, daß sie die positive Kernladung gerade kompensieren, denn das ganze Atom erscheint nach außen hin elektrisch neutral.

Der Atomkern ist trotz seiner Kleinheit selbst wieder zusammengesetzter Natur. Er enthält zwei Teilchensorten, die Protonen und die Neutronen. Die Protonen tragen eine positive Elementarladung und haben etwa die Masse eines Wasserstoffatoms. Die Neutronen haben ungefähr dieselbe Masse – in Wirklichkeit sind sie um 0,08% schwerer – besitzen aber keine Ladung. Der Kern eines Elementes, z. B. vom Sauerstoff mit dem Atomgewicht 16, ist aus 8 Protonen und 8 Neutronen aufgebaut; das Atom selbst hat noch 8 negative Elektronen als eine Art Hülle, die die 8 positiven Protonenladungen des Kerns neutralisieren. Der Umstand, daß der Sauerstoffkern gleich viele Protonen wie Neutronen enthält, ist für die leichten Elemente charakteristisch. Die Kerne der schweren Elemente haben dagegen einen Neutronenüberschuß, der um so größer wird, je schwerer das Element ist. So besteht der Kern des schwersten in der Natur gefundenen Atoms, des Urans mit der Masse 238, aus 92 Protonen und 146 Neutronen.

Alle *chemischen* Eigenschaften eines Elements werden durch das Verhalten der den Atomkern umgebenden Elektronen bestimmt, genauer gesagt durch das Verhalten der äußersten Elektronen. Die Chemie ist also physikalisch betrachtet eine Wissenschaft, die nicht besonders tief in das Atom eindringt, sie hängt eben von den Außenelektronen, ihrer Zahl, Verschiebbarkeit und Anordnung ab. Und doch ist der Atomkern auch für die Chemie wesentlich, da die Zahl der Elektronen in der Hülle eindeutig gleich der Zahl der Protonen im Kern ist. Somit ist die Protonenzahl entscheidend für den Chemismus des Atoms und legt als Ordnungszahl seine Stellung im periodischen System der Elemente fest.

Bei manchen Elementen sind die Kerne aller Atome untereinander identisch, so bei Beryllium, Fluor, Aluminium, Phosphor, Kobalt, Arsen, Jod, Gold, Wismut u. a. Beispielsweise besteht der Kern jedes in der Natur vorkommenden Phosphoratoms aus 15 Protonen und 16 Neutronen. Solche Elemente nennt man *Reinelemente*. Man kennt von ihnen 21. Die übrigen Elemente sind Mischelemente; bei ihnen stimmt zwar in den Kernen verschiedener Atome die Zahl der Protonen genau überein, aber die Zahl der Neutronen wird verschieden gefunden. So beim Kohlenstoff, Stickstoff, Sauerstoff, Chlor, Brom, Silber, Quecksilber usw. Beispielsweise haben von 100 Chloratomen zwar alle Atomkerne 17 Protonen, entsprechend seiner Ordnungszahl 17, aber 75 Kerne besitzen 18 Neutronen und die restlichen 25 deren 20. Diese beiden Sorten Chloratome mit den Massenzahlen 35 und 37 nennt man *Chlor-*

*Isotope* — $^{35}Cl$ und $^{37}Cl$. Die Isotope eines Elementes unterscheiden sich also nur durch die Zahl der Neutronen, aber nicht durch die Anzahl der Protonen. Da nun die Protonenzahl als Ordnungszahl das chemische Verhalten bestimmt, wird dieses für die beiden Atomsorten identisch; beide bekommen also im periodischen System denselben Namen, «Chlor», und denselben Platz (ἴσος τόπος), woher der Name Isotope rührt.

Während Chlor, Stickstoff, Silber usw. nur zwei Isotope haben, weisen andere wie Sauerstoff, Magnesium, Argon usw. deren 3, Schwefel usw. 4 auf, usf. Die größte Anzahl von Isotopen findet sich beim Xenon mit 9 und beim Zinn mit 10 Atomsorten. Das Häufigkeitsverhältnis zweier Isotope eines Elements wird in der Natur innerhalb sehr enger Grenzen konstant und unabhängig von der Herkunft gefunden. Dabei kommen ganz extreme Verhältnisse vor. So sind z. B. die beiden Bromisotope fast gleich häufig, während das Helium von der Masse 4 noch einen etwa 10millionenmal selteneren Begleiter der Masse 3 hat.

## Trennverfahren für Isotope

Es mag auf den ersten Blick seltsam erscheinen, daß die Isotope für die Chemie eine große Bedeutung gewinnen konnten, da ihre chemische Identität wenig Reiz zu bieten scheint, sich überhaupt näher mit ihnen zu befassen. Aber tatsächlich liegt in dieser Eigenschaft gerade ihr Wert. Arbeitet man mit chemischen Verbindungen, die aus getrennten Isotopen aufgebaut sind, so ist man sicher, daß dadurch das Verhalten eines chemischen Systems oder biologischen Organismus nicht beeinflußt wird. Auf der anderen Seite gewinnen wir den ungeheuren Vorteil, in diesem Organismus oder chemischen Reaktionssystem, ja sogar innerhalb eines Moleküls oder gar eines seiner Bruchstücke dieses Isotop nach Ablauf der Reaktion dank seiner unterschiedlichen Kerneigenschaften wiederzufinden. Man kann also mit getrennten Isotopen einen analogen Versuch machen wie der Ornithologe, der auf einer Vogelwarte einzelne durchziehende Tiere eines Schwarmes von Zugvögeln beringt, sie im Schwarm wieder freiläßt und später aus dem Fundort dieser Individuen sich ein Bild über die gesamte Zugstraße macht; oder wie ein Jäger, der einem Junghasen das Ohr schlitzt, worauf man beim Abschuß Auskunft über das Wohngebiet und das Alter des Tieres bekommt. Auf solche Verfahren läuft die Anwendung der Isotope letzten Endes hinaus: Einmal muß man sich die zur Markierung geeigneten Isotope verschaffen, und zum andern muß man diese Isotope später wieder auffinden und nachweisen können.

Es liegt zunächst nahe, sich der natürlichen Isotopengemische zu bedienen und sie zu trennen oder wenigstens ihr Häufigkeitsverhältnis zu verschieben. Nach dem Gesagten wird man dazu nur solche Eigenschaften benützen können, die von der unterschiedlichen Masse der Isotope beeinflußt werden. Sehr weit ist man bei gasförmigen Elementen und ihren Verbindungen gekommen, da hier die einschlägigen Theorien gut entwickelt sind. Geringere Erfolge hat man bei Flüssigkeiten gehabt,

die theoretisch viel weniger durchsichtig sind, während der feste Aggregatzustand mit seiner starren Fixierung der Atome im Gitter von vornherein ungeeignet ist. Die Aufgabe der Isotopentrennung kann heute im großen und ganzen als gelöst angesehen werden, wenn auch verschiedene Verfahren erst gewisse Anfangserfolge errungen haben und man noch mit einem mehrjährigen technischen Ausbau rechnen muß. Um das Problem ist jahrelang gerungen worden, und es hat sich als schwieriger und zäher erwiesen, als man ursprünglich gedacht haben mochte. In fast allen Fällen liefert die einzelne Trennoperation nur einen winzigen Effekt, so daß sie viele 1000mal wiederholt werden muß, was

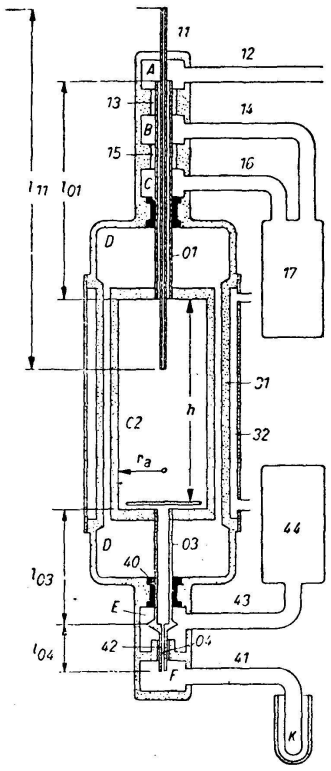



Abb. 1
Ultrazentrifuge für Gase
(schematisch nach Beyerle, Groth, Harteck und Jensen)

durch die Einführung von Gegenstrommethoden möglich ist. Die verschiedenen Verfahren haben ihre spezifischen Besonderheiten, und es wird in Zukunft kaum so sein, daß einmal ein «Universaltrennverfahren» alle anderen verdrängen wird, sondern einzelne Methoden werden sich für einzelne Elemente und Bedürfnisse als besonders geeignet erweisen und daher nebeneinander behaupten.

Einer der ältesten Vorschläge, der aber erst in den letzten Jahren greifbare Erfolge gezeitigt hat, läuft darauf hinaus, die schwereren Moleküle von den leichteren abzuzentrifugieren. Bei einer solchen im Physikalisch-Chemischen Institut der Universität Hamburg entwickelten *Zentrifuge* wird einer Trommel aus «Bondur», einer speziellen Aluminiumlegierung, das zu trennende Gas zugeführt und nahe der Achse, bzw. nahe am Rande der Trommel getrenntes Gas wieder entnommen (Abb. 1). Der Bau einer solchen mit 40 000 Touren pro Minute laufenden Maschi-

nerie, der die langjährige Erfahrung der Kieler Konstrukteure des Kreisel-Kompasses zugute kam, ist eine ingenieurmäßige Leistung ersten Ranges. Den hauptsächlichen Anreiz zur Überwindung der zahlreichen Schwierigkeiten bietet der Umstand, daß bei der Zentrifuge im Gegensatz zu anderen Verfahren die Trennung unmittelbar von der Massendifferenz der Molekeln abhängt, wodurch auch bei schweren Elementen noch gute Anreicherungen gewährleistet sein sollten. Erfolgversprechende Anfänge sind erzielt worden, da die Häufigkeit der Xenon-, Selen- und Uranisotope um Prozente verschoben werden konnte. Für eine eigentliche Trennung muß aber die Apparatur noch weiter ausgestaltet und wohl auch durch das Gegenstromverfahren vervollkommnet werden.

Hoffnungsvoll lassen sich in jüngster Zeit Versuche zur Trennung durch *Elektrolyse* an. Der Gedanke, die verschiedene Wanderungsgeschwindigkeit der Ionen in wässeriger Lösung heranzuziehen, war schon zeitig verfolgt worden, hatte aber zunächst kein rechtes Ergebnis, weil die Beweglichkeit der Ionen eher vom Volumen als der Masse abhängt. Washburn und Urey erbrachten dann 1932 den Nachweis, daß der schwere Wasserstoff beim Wegelektrolysieren einer großen Wassermenge im zurückbleibenden Rest angereichert und schließlich, wenn man das Verfahren weit genug treibt, rein erhalten wird. Dabei spielen neben der Beweglichkeit der Ionen die Vorgänge bei ihrer Dehydratation und Abscheidung am Elektrodenblech die ausschlaggebende, noch nicht ganz durchsichtige Rolle. 1 Kubikmeter Wasser liefert mit einem Energieaufwand von über 10 000 kWh erst 10 ccm 98% schweres Wasser. Da die Wasserelektrolyse großtechnisch ausgeübt wird, kann man sie mit der Gewinnung von schwerem Wasser koppeln und diese Verbindung zu einem Preis von etwa Fr. 2.– für das Gramm in den Handel bringen. Die Elektrolyse anderer Elemente in wässeriger Lösung hat bisher noch zu keinem auch nur annähernd so großen Erfolg geführt. Hier sind jedenfalls die Trennwirkungen so klein, daß nur ein Gegenstromverfahren den entscheidenden Fortschritt bringen wird. Günstigere Bedingungen liegen in Salzschmelzen vor, wie Klemm und seine Mitarbeiter gezeigt haben. Sie konnten die Isotopenverhältnisse bei Lithium, Kalium, Cadmium und Thallium merklich verschieben, womit die generelle und prinzipielle Brauchbarkeit des Verfahrens jedenfalls dargetan ist.

Ein anderer Prozeß nutzt den Umstand aus, daß die Isotope von Wasserstoff, Stickstoff, Sauerstoff, Neon und ihren Verbindungen, wie Kohlenoxyd und Wasser, einen kleinen, aber merklichen *Dampfdruckunterschied* zeigen. Die Ursache dieses Unterschiedes ist in einem von der Molekelmasse abhängigen Quanteneffekt zu suchen, der das Gleichgewicht zwischen dem flüssigen und gasförmigen Aggregatszustand bei leichten Molekeln ein wenig verschiebt. Der Chemiker trennt Gemische von Flüssigkeiten unterschiedlichen Dampfdruckes durch Rektifikation, d. h. eine kontinuierliche Destillation im Gegenstrom, ein Verfahren, das auch im vorliegenden Fall anwendbar ist. Wasser steht in beliebigen Mengen praktisch kostenlos zur Verfügung, so daß die Anreicherung der schweren Wasserstoff- und Sauerstoff-Isotope durch Rektifikation von

Wasser besonders eingehend geprüft wurde. Ihre an sich durchaus denkbare Reindarstellung ist auf dem genannten Wege allerdings noch nicht gelungen, aber für wissenschaftliche Versuche wurden die Isotope von Sauerstoff und Wasserstoff sowie von Neon verschiedentlich angereichert. Vielversprechend dürfte die technische Gewinnung der schweren Isotope von Kohlenstoff ($^{13}C$), Sauerstoff ($^{17}O$, $^{18}O$) sowie Stickstoff ($^{15}N$) im Zusammenhang mit einer Großanlage zur Luftverflüssigung sein. Ebenso sollte sich schweres Wasser, das heute zum Betrieb von Kernmaschinen tonnenweise gebraucht wird, durch Auswaschen und Rekti-

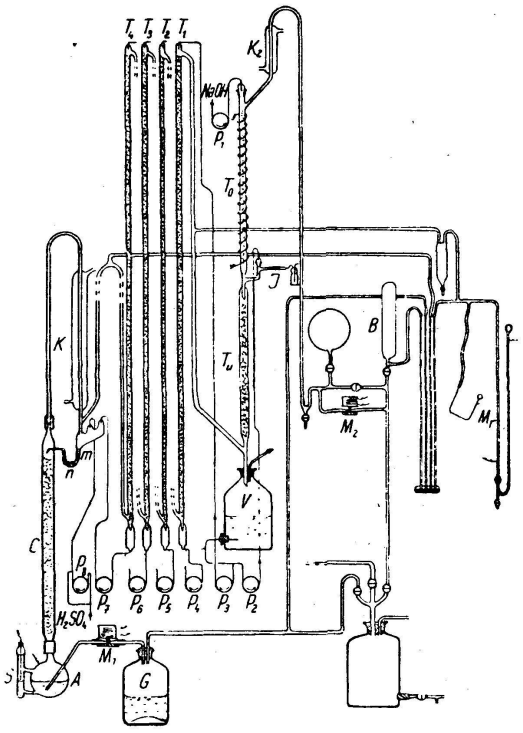


Abb. 2
Trennanlage für Isotope durch chemischen Austausch (nach Clusius und Haimerl)

fikation von Wasserstoff zu einem 25mal wohlfeileren Preise gewinnen lassen als durch Elektrolyse. Damit kommen wir zu Verfahren, die große Verschiebungen des ursprünglichen Massenverhältnisses und bei konsequenter Entwicklung eine wirkliche Reindarstellung von Isotopen ermöglicht haben.

Bei *chemischen Gleichgewichten* ist ebenfalls ein geringfügiger Masseneinfluß bei leichten Elementen und ihren Verbindungen festzustellen. Ein solches Gleichgewicht kann analog wie eine Rektifikation zur Anreicherung von Isotopen benutzt werden. Die Isotope von Kohlenstoff ($^{13}C$), Stickstoff ($^{15}N$), Schwefel ($^{34}S$) und natürlich auch wieder Wasserstoff (D) sind diesem Verfahren zugänglich. Dabei läßt man eine wasserlösliche Verbindung in einem Rieselturm herunterlaufen und verwandelt sie an dessen Fuß durch eine passende Operation in eine gasförmige Verbindung des Isotops, die man der Lösung nach oben entgegenschickt (Abb. 2). Gas und gelöster Stoff treten dabei miteinander in chemischen Austausch, wobei das schwere Isotop meistens am unteren Ende einer

solchen Anordnung, manchmal allerdings auch an ihrem oberen angereichert wird:

$$^{14}NH_{3\,Gas} + {}^{15}NH_{4\,Lösung}^{+} \leqq {}^{15}NH_{3\,Gas} + {}^{14}NH_{4\,Lösung}^{+}$$

Es ist bedeutungsvoll, daß dieser Prozeß gerade bei biologisch wichtigen Elementen durchführbar ist, so daß der großen Nachfrage halber schwerer Stickstoff und Kohlenstoff in Amerika in technischem Maßstab gewonnen und in den Handel gebracht werden. Der Preis dieser Isotope ist allerdings noch recht hoch, so kostet 1 g schwerer Stickstoff in 50%-iger Form etwa 300 $ und 1 g 50%iger schwerer Kohlenstoff etwa 400 $. Diese Elemente sind mehr als 100mal so teuer wie Gold und Platin, obwohl man sie noch nicht einmal in reiner Form kaufen kann. Doch liegt es in der Natur der Sache, daß stark angereicherte Isotope wegen des großen Energie- und Arbeitsaufwandes bei ihrer Herstellung stets verhältnismäßig kostbare Substanzen bleiben werden.

Ein einfaches und für viele gasförmige und flüssige Stoffe anwendbares Verfahren benutzt die Trennwirkung der sogenannten *Thermodiffusion*. Mit diesem Effekt wird jeder bekannt, der die Schwärzung über einem Ofen oder einem Dampfleitungsrohr betrachtet. In dem Temperaturgefälle, das in der heißen Luft nach der kalten Zimmerwand hin besteht, wandern die schweren Staubteilchen auf die kalte Wand zu, an der sie sich niederschlagen. Genau so diffundieren in einem Temperaturgefälle die Molekeln der schweren Isotope bevorzugt zur kalten Wand, während die leichten sich in der Nähe der Wärmequelle aufhalten. Auch hier ist die so erzielte Trennung zunächst winzig klein. Sie kann aber wieder durch das Gegenstromverfahren enorm verstärkt werden. Dies läßt sich dadurch herbeiführen, daß man die Heizfläche vertikal neben der Kühlfläche anordnet, wobei die leichten Molekeln nach der heißen Wand eilen und von dem an ihr konvektiv aufsteigenden Gasstrom nach oben mitgenommen werden, während die schweren Molekeln an die kalte Wand geraten und mit dem Konvektionsstrom absinken. Um wirksame Trennungen zu bekommen, muß eine solche Anordnung eine im Verhältnis zum Durchmesser große Länge haben, so daß Trennrohranlagen Höhen von 20 bis 80 Metern aufweisen, die aber bequem in mehrere Meter langen Abschnitten nebeneinander ins Laboratorium gestellt werden können (Abb. 3). Damit lassen sich manche Isotope in einer Reinheit von über 99% darstellen. Bereits 1938 wurden so erstmalig die Chlorisotope $^{35}Cl$ und $^{37}Cl$ bezwungen und später schwerer Sauerstoff $^{18}O$, Stickstoff $^{15}N$, die zwei Kryptonisotope $^{84}Kr$ und $^{86}Kr$ sowie die Neonisotope $^{20}Ne$ und $^{22}Ne$ in größerer Menge rein erhalten. Als ein Vorzug des Verfahrens muß erwähnt werden, daß es im Gegensatz zu den vorgenannten kaum eine Wartung verlangt und so kleine Apparaturen bedingt, daß ein chemisches Institut sich die für seine Untersuchungen notwendigen Isotope laufend selbst anreichern kann.

Ausgezeichnete Erfolge wurden auch durch die *Diffusion* von Gasen erzielt. Wegen des Satzes von der Gleichverteilung der Energie besitzen

die leichten und schweren Molekeln im Mittel dieselbe kinetische Energie; d. h. aber, daß die schweren Molekeln sich durchschnittlich etwas langsamer als die leichten bewegen. Diesen Umstand kann man ausnutzen, wenn man das Gas durch eine poröse Membran diffundieren läßt, wobei die leichten Molekeln etwas schneller durchtreten und die schweren bevorzugt zurückbleiben. Zuerst hat G. HERTZ 1932 nach diesem Prinzip unter Einführung des Gegenstromprinzips die Neon- und später auch die Wasserstoffisotope in kleinen Mengen rein gewonnen. Andere haben die Isotope von Argon, Kohlenstoff und Sauerstoff erheblich anreichern

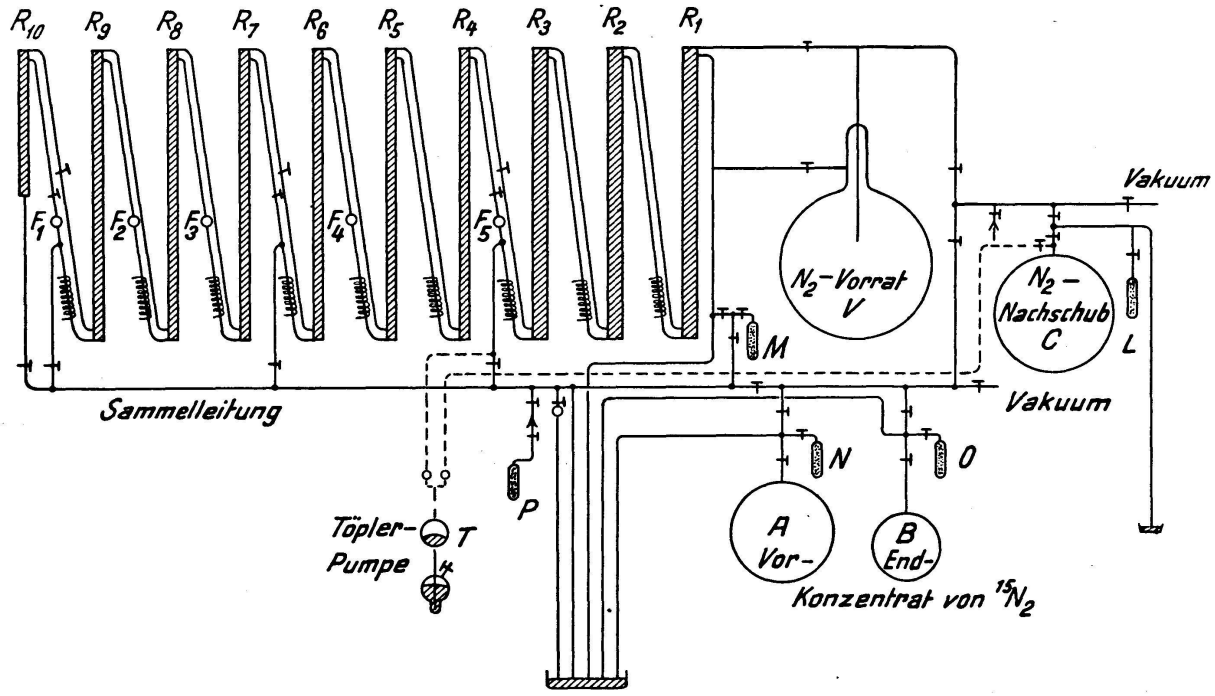



Abb. 3

Trennrohranlage des schweren Stickstoffisotops zur Reindarstellung von $^{15}N$ (nach Clusius)

können. Eine hauptsächliche Schwierigkeit besteht in der Verwendung geeigneter poröser Membranen, die nicht von eigentlichen Löchern, sondern nur von sehr feinen, möglichst engen Kanälen gleichmäßigen Durchmessers durchsetzt sein sollen. Die ursprünglich verwendeten keramischen Massen sind später durch dünne Metallbleche ersetzt worden. Weiter war die Entwicklung von korrosionsfesten Spezialpumpen notwendig, um das Gas im Umlauf zu halten. In Los Alamos wurden zur Abtrennung des leichten Uranisotops $^{235}U$ mit Uranhexafluorid als Trenngas viele Tausende solcher Pumpen und der dazu gehörigen Diffusionsdiaphragmen aufgestellt. Die betreffende Fabrik ist nicht nur die größte je gebaute Isotopentrennanlage, sondern die größte je gebaute Fabrik überhaupt. Eine Vorstellung von den Ausmaßen der Trennvorrichtung vermittelt die Angabe, daß eine einzelne Molekel in der Trenn-

anlage im Durchschnitt einen Weg von 20 000 km, d. h. den halben Erdumfang, zurücklegt, ehe sie das Rohrgewirr wieder verläßt. Auch mengenmäßig steht diese Fabrik an der Spitze aller Isotopenapparaturen, da das nur zu 0,7% in der Natur vorkommende Uranisotop kilogrammweise gewonnen wird. Über die Reinheit des Endproduktes sind begreiflicherweise keine Angaben bekanntgeworden.

Zur Messung des Häufigkeitsverhältnisses der inaktiven Isotope kann jede massenabhängige Eigenschaft der Molekel wie die Lage einzelner Linien und Banden im Spektrum, die Dichte der Substanz, ihre

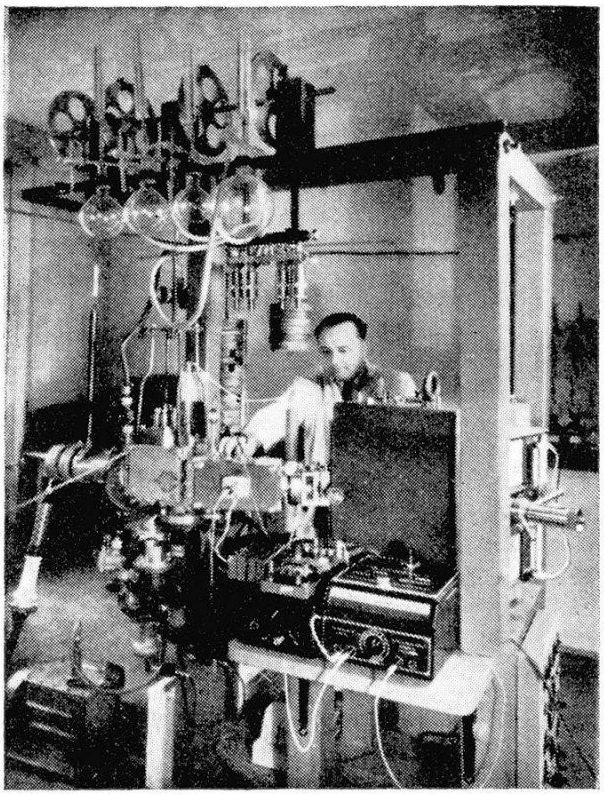


Abb. 4

Massenspektrometer (nach Mattauch) im Theodor-Kocher-Institut zu Bern

Wärmeleitfähigkeit als Gas oder Dampf und ähnliches mehr herangezogen werden. Am besten benutzt man aber den *Massenspektrographen*, bei dem die optischen Prismen und Linsen des üblichen Spektrographen durch geeignete magnetische und elektrische Felder ersetzt sind (Abb. 4). Genau wie ein Lichtstrahl im optischen Spektrographen zu einem farbigen Spektralband auseinandergezogen wird, so zerfällt hier ein Strahlenbündel von Ionen, d. h. elektrischen Teilchen verschiedener Masse in ein Massenspektrum seiner einzelnen Bestandteile. Dieses kann entweder unmittelbar auf einer photographischen Platte sichtbar gemacht oder auch mit einem Auffänger für die einzelnen Ionensorten elektrisch abgetastet werden. Dank der modernen Verstärkertechnik sind so Häufigkeitsvergleiche der einzelnen Isotope mit kleinsten Substanzen recht

bequem durchführbar. Im Prinzip ist jedes Massenspektrometer zugleich ein ideales Instrument zur Isotopentrennung, da es mit einem Schritt reine Endprodukte liefert. Leider sind jedoch die mit den üblichen Instrumenten erhältlichen Mengen nur äußerst gering und für experimentelle Zwecke viel zu klein. Durch Ausbildung geeigneter Ionenquellen und Verwendung ausgedehnter magnetischer Felder hat man aber gelernt, manche begehrten Isotope zunächst in Mengen von $\gamma$ und schließlich von Milligrammen zu gewinnen. Auch hier hat der Wunsch, das Uranisotop $^{235}U$ möglichst rein darzustellen, beflügelnd gewirkt. In derartigen riesigen elektromagnetischen Separatoren, von den Amerikanern Calutrons genannt, werden außer den Uranisotopen noch etwa 100 verschiedene Atomarten in einer Reinheit von 90% oder besser abgeschieden. Es ist wichtig, daß es sich dabei meist um Metalle (z. B. Li, Mg, K, Ca, Ti, Fe, Ni, Cu, Zn, Ge, Mo, Ag, Cd, In, Sn, Te, W, Tl, Pb) handelt, für die alle vorher genannten Verfahren nur schlecht anwendbar sind. Die elektromagnetische Trennung bietet also eine willkommene Ergänzung der für Gase und Flüssigkeiten gebräuchlichen Methoden.

Außerdem gibt es noch andere Möglichkeiten zur Isotopentrennung, wie z. B. die Benützung von photochemischen und reaktionskinetischen Eigenschaften der Molekeln, die wir hier übergehen. Man kann sagen, daß wohl kaum eine massenabhängige Eigenschaft der Materie existiert, die man nicht in irgendeiner Form mit mehr oder weniger Glück für den gedachten Zweck hat heranziehen wollen.

## Künstlich radioaktive Isotope

Haben schon die natürlich vorkommenden Isotope der Elemente große Bedeutung erlangt, so gilt dies für ihre radioaktiven Geschwister erst recht. Nachdem im Jahre 1932 Joliot und Curie die künstliche Radioaktivität entdeckt hatten, setzte geradezu explosionsartig eine großartige Entwicklung ein, in deren Verlauf man nicht nur sämtliche bekannten Elemente in radioaktiver Form kennenlernte, sondern sogar Isotope von Elementen künstlich herstellte, die im periodischen System noch fehlten. Die 4 Lücken unter dem Mangan, Jod, Cäsium und zwischen den Elementen Neodym und Samarium wurden so durch die künstlich radioaktiven Elemente Technetium (Tc), Astacin (At), Francium (Fr) und die namenlose Nr. 61 ausgefüllt. Dadurch wurde das chemische Studium dieser in der Natur fehlenden Atomsorten möglich. Daß solche Lücken im periodischen System auftreten, ist nach unserer heutigen Kenntnis vom Wesen des Atomkerns nicht mehr überraschend; eher wird man sich darüber wundern, daß sie nicht häufiger sind und daß in der Natur überhaupt so viele verschiedene Atomsorten noch angetroffen werden. Tatsächlich kennen wir im periodischen System eine ganze Reihe von Stellen, die durch instabile Isotope besetzt sind. So das $^{40}K$, $^{87}Rb$, $^{176}Cp$, $^{187}Re$, die als $\beta$-Strahler langsam unter Elektronenemission zerfallen, sowie eines der Samariumisotope, das Heliumkerne aussendet, also ein $\alpha$-Strahler ist. Man muß mit Sicherheit erwarten,

daß wir in dem Maße noch mehr instabile Atomsorten finden werden, wie sich unsere technischen Hilfsmittel verfeinern. In einzelnen Fällen kann man sogar angeben, wo man zu suchen hat. Diese durchweg sehr schwachen Radioaktivitäten sind ein letztes Wetterleuchten des einige Jahrmilliarden zurückliegenden Urgewitters, von dem die Schöpfung der chemischen Elemente begleitet wurde. Die heute leeren Plätze des periodischen Systems waren in kosmologisch entfernt liegenden Zeiten auch einmal besetzt, aber diese Elemente sind inzwischen durch radioaktive Umwandlungen ausgestorben, so daß wir sie in der Erdkruste nicht mehr antreffen.

Die Instabilität der Atomkerne nimmt mit steigender Masse und Ordnungszahl wesentlich zu, wie schon daraus erhellt, daß es oberhalb vom Wismut mit der Ordnungszahl 83 keine stabilen Isotope mehr gibt, worauf das periodische System beim Uran mit der Ordnungszahl 92 überhaupt abreißt. Daß die Radioaktivität auf verhältnismäßig breiter Basis seinerzeit erforscht und in wesentlichen Zügen schon vor der Entdeckung der künstlichen Radioaktivität klargestellt werden konnte, liegt einzig und allein daran, daß Thorium und Uran sehr langlebige Isotope haben. Diese schweren, dem Zerfall ausgesetzten Elemente sind daher der Forschung ebenso zugänglich wie stabile. Alle Bemühungen, Elemente noch höherer Ordnungszahl und Masse in der Natur aufzufinden, haben jedoch zu keinem greifbaren Ergebnis geführt. Von größtem Interesse ist es daher, daß man die Isotope von 4 oder 5 derartigen Transuranen wieder hat aufbauen können. Es sind dies die Metalle Neptunium (93), Plutonium (94), Americium (95), Curium (96) und Berkelium (97). Eines von ihnen, das Plutonium mit der Masse 239, wird sogar kilogrammweise gewonnen; es mutet mit einer Lebensdauer von 24 000 Jahren an menschlichen Verhältnissen gemessen recht stabil an und besitzt für Kernmaschinen und Atombomben große Bedeutung. Durch die Nachahmung der Schöpfung aller dieser instabilen Elemente ist der Physiker jedenfalls in einer glücklicheren Lage als sein paläontologischer Kollege, der leider keinem ausgestorbenen Tier mehr zu leiblichem Leben verhelfen kann.

Wie erhält man nun radioaktive Isotope? Wir haben zwei Möglichkeiten. Die eine, ältere, läuft immer darauf hinaus, daß man die Atomkerne mit Teilchen leichter Masse beschießt. So benutzt man positiv geladene Korpuskeln, Protonen, Deutonen und $\alpha$-Teilchen, die man als Kerne der Wasserstoff- und Heliumisotope durch Ionisierung dieser Elemente bequem erhält. In jedem Fall müssen die Teilchen stark beschleunigt werden, so daß sie eine große Energie mitbekommen. Dann können sie die abstoßenden, positiven Kernfelder überwinden und in den Kern wirklich eindringen. Dazu läßt man die Ionen ein Potentialgefälle von einigen Millionen Volt durchfallen, ehe man sie als Projektile verwendet. Mit dieser Notwendigkeit hängt die Ausbildung der modernen Hochspannungstechnik zusammen, die in elektrostatischen Beschleunigern, im Zyclotron, im Synchrozyclotron und ähnlichen Maschinen uns Teilchen bis zu 200 Millionen Volt Geschwindigkeit herauf

verschafft. Das Verfahren ist um so schwieriger durchzuführen, je schwerer die Elemente werden, da in dieser Richtung die abstoßenden Kernkräfte wegen der zunehmenden Ordnungszahl gleichfalls zunehmen.

Frei von dieser Beschränkung ist ein auf den italienischen Physiker FERMI zurückgehendes Verfahren, das Neutronen als Geschosse benützt. Da jeder Atomkern Protonen neben Neutronen enthält und da zwischen den Protonen wegen ihrer gleichsinnigen elektrischen Ladung bestimmt große abstoßende Coulomb-Kräfte herrschen, muß man annehmen, daß starke anziehende Kräfte zwischen Protonen und Neutronen und wohl auch zwischen den Neutronen unter sich wirken, die überhaupt erst den Zusammenhalt des Kernes ermöglichen. Diese Austauschkräfte sind von allen bekannten Kräften ihrem Wesen nach verschieden, und ihre Aufklärung steht im Mittelpunkt des derzeitigen Interesses der Kernforschung. Nun wirken diese anziehenden Kräfte zwischen Neutron und positivem Atomkern schon auf größere Entfernung, so daß Neutronen auch von schweren Kernen leicht aufgenommen werden, weil sie kein abstoßendes Coulomb-Potential durchlaufen müssen. Es ist sogar so, daß Neutronen, die bis auf die Geschwindigkeit der Gasmoleküle abgebremst sind, sogenannte thermische Neutronen, von vielen Atomen besonders gut eingefangen werden, zum Teil weil sie sich wegen ihrer kleinen Geschwindigkeit länger in Kernnähe aufhalten. Man kennt verschiedene geeignete Neutronenquellen. Sie entstehen bei der Bestrahlung von Beryllium mit $\alpha$-Teilchen, beim Beschuß von schwerem Wasser mit Deutonen, von Lithium mit Protonen, schließlich auch beim Kernphotoeffekt durch Absorption von $\gamma$-Strahlung in Atomkernen:

$$^{9}_{4}\mathrm{Be} + {}^{4}_{2}\mathrm{He} \rightarrow {}^{12}_{6}\mathrm{C} + {}^{1}_{0}\mathrm{n} + 5{,}3 \text{ MeV}$$

$$^{2}_{1}\mathrm{D} + {}^{2}_{1}\mathrm{D} \rightarrow {}^{3}_{2}\mathrm{He} + {}^{1}_{0}\mathrm{n} + 3{,}3 \text{ MeV}$$

$$^{7}_{3}\mathrm{Li} + {}^{1}_{1}\mathrm{H} \rightarrow {}^{7}_{4}\mathrm{Be} + {}^{1}_{0}\mathrm{n} - 1{,}65 \text{ MeV}$$

$$^{24}_{11}\mathrm{Na} \rightarrow {}^{24}_{12}\mathrm{Mg} + {}^{0}_{-1}\mathrm{e} + h\nu;\ h\nu + {}^{2}_{1}\mathrm{D_2O} \rightarrow {}^{1}_{1}\mathrm{H}\,{}^{2}_{1}\mathrm{DO} + {}^{1}_{0}\mathrm{n} + 0{,}22 \text{ MeV}$$

Dringt nun ein Teilchen in den Atomkern ein, so findet eine Kernreaktion statt. Dabei werden je nachdem $\alpha$-Teilchen, Deutonen, Protonen, Neutronen und auch $\gamma$-Strahlungen emittiert. Der zurückbleibende Kern ist meistens vom ursprünglich beschossenen verschieden und radioaktiv. Er geht durch Emission von Elektronen oder Positronen wieder in einen stabilen Kern über. Die Abtrennung des radioaktiven Isotops macht nur geringe Schwierigkeiten, da es infolge der zwischengeschalteten Kernreaktion im allgemeinen chemisch von dem bestrahlten Mutterelement verschieden ist. Ist es chemisch identisch, so sind gleichwohl gelegentlich Trennungen möglich, wie SZILARD und CHALMERS ge-

zeigt haben. Bestrahlt man Äthyljodid mit Neutronen, so wird aus $^{127}J$ das Atom $^{128}J$ gebildet, dessen Kern zunächst im angeregten Zustand anfällt und sich durch Emission eines $\gamma$-Quants stabilisiert:

$$C_2H_5\,{}^{127}_{53}J + {}^{1}_{0}n \rightarrow C_2H_5 + {}^{128}_{53}J^* + h\nu$$

Das gesternte, radioaktive Jodisotop wird dabei durch Rückstoß aus der organischen Verbindung herausgerissen und kann von ihr durch Ausschütteln mit Wasser abgetrennt werden.

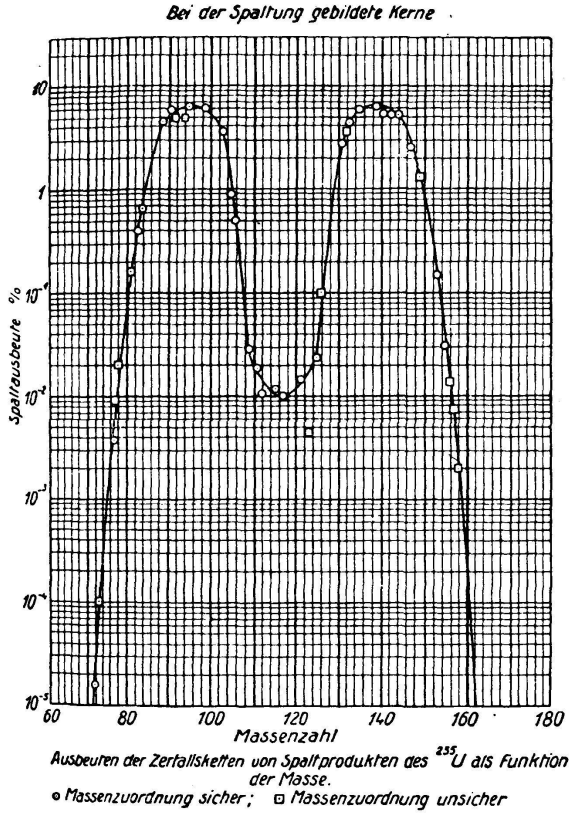



Abb. 5
Unsymmetrie der Spaltungskurve des Uranisotops $^{235}_{92}U$

Die zweite Möglichkeit zur Gewinnung radioaktiver Isotope geht auf die von HAHN und STRASSMANN Ende 1938 entdeckte Spaltung des Urankerns zurück. Bis dahin brachten alle radioaktiven Prozesse in dem betroffenen Atomkern nur eine verhältnismäßig geringe Änderung mit sich. Bei einem $\alpha$-Prozeß änderten sich Masse und Ladung noch am meisten, und doch nahm dabei die Masse nur um 4 und die Kernladung nur um 2 Einheiten ab. HAHN und STRASSMANN entdeckten aber, daß der Urankern, genauer der Kern von $^{235}_{92}U$, bei der Bestrahlung mit langsamen Neutronen auseinanderbricht. Die Bruchstücke sind ungefähr, aber nicht genau gleich schwer; sie gruppieren sich vorzugsweise um die Massen von Brom bis Ruthenium einerseits und Jod bis Neodym andererseits (Abb. 5). Die Tatsache, daß der Urankern lieber in zwei etwas ungleiche Massen als in symmetrische Hälften zerspringt, deutet darauf

hin, daß er selbst nicht genau kugelig, sondern eher länglich gebaut ist. Beim Einfang des Neutrons gerät der ganze Kern wie ein Flüssigkeitstropfen in Schwingungen, und das längliche Gebilde stabilisiert sich dadurch, daß es einen Teil abschnürt. Wir beobachten ähnliches an einem freifallenden, dünnen Flüssigkeitsstrahl, der meist nicht in gleich große, sondern öfter abwechselnd in größere und kleinere Tröpfchen zerfällt. Analog lassen sich bei der Kernspaltung noch so leichte Elemente wie Zink und so schwere wie Europium nachweisen, die durchaus primär entstanden sind. Der Spaltprozeß selbst ist nicht auf $^{235}_{92}U$ beschränkt; auch Plutonium, $^{239}_{94}Pu$, zeigt ihn, und Neutronen geeigneter Energie erzwingen ihn noch bei anderen Elementen, wie Thorium, Wismut, ja sogar noch beim Wolfram und Tantal.

Wie eingangs erwähnt, weisen die schweren Elemente zunehmend einen Neutronenüberschuß auf, der beim Uran seinen größten Wert erreicht. Die Neutronen werden eben als Kitt gebraucht, um die schweren Kerne mit den vielen auseinanderstrebenden Protonen zusammenzuhalten. Die Bruchstücke eines Urankerns bewahren zunächst diesen Neutronenüberschuß, so daß sie selbst instabil sind. Tatsächlich gehen sie vorwiegend durch $\beta$-Strahlung in Elemente höherer Ordnungszahl über, wodurch wir bei der Uranspaltung eine große Auswahl an radioaktiven Isotopen erhalten.

Wegen des Neutronenüberschusses werden bei der Spaltung auch Neutronen als Nebenprodukt in Freiheit gesetzt. Als typische Spaltprozesse können daher folgende Beispiele gelten:

$$^{235}_{92}U + ^{1}_{0}n \rightarrow {}_{39}Y^{*} + {}_{53}J^{*} + \text{einige } ^{1}_{0}n$$

$$^{239}_{94}Pu + ^{1}_{0}n \rightarrow {}_{40}Zr^{*} + {}_{54}X^{*} + \text{einige } ^{1}_{0}n \text{ usw.}$$

Hier drängt sich der Gedanke auf, diese Neutronen zur Spaltung neuer Urankerne zu benutzen. Dann werden wieder Neutronen frei, die wieder spalten usf. Man kennt den Typ solcher Reaktionen schon lange in der Chemie, z. B. bei Verbrennungen und Explosionen, und faßt sie unter dem Namen von Kettenreaktionen zusammen. In einem Stück Uran kann jedoch eine Kettenreaktion durch Neutronen nicht ohne weiteres ausgelöst werden, da dem zwei Hindernisse entgegenstehen. Das eine liegt darin, daß gewöhnliches Uran nur 0,7% $^{235}_{92}U$ enthält, während die Hauptmasse das Isotop $^{238}_{92}U$ bildet, wenn wir von einer kleinen Menge $^{234}_{92}U$ absehen, die hier keine Rolle spielt. Dieses schwere Isotop fängt nun die schnellen Spaltungsneutronen weg und geht in

$^{239}_{92}U$ über, das sich durch 2maligen $\beta$-Zerfall über Neptunium in Plutonium verwandelt:

$$^{238}_{92}U + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{239}_{92}U \xrightarrow[23\ \text{Min}]{\beta^-} ^{239}_{93}Np \xrightarrow[2{,}3\ \text{Tage}]{\beta^-} ^{239}_{94}Pu \xrightarrow[24\,000\ \text{Jahre}]{\alpha} ^{235}_{92}U$$

Die Spaltungsneutronen werden also verbraucht, ehe sie wieder auf $^{235}_{92}U$ treffen. Der zweite Grund ist darin zu sehen, daß $^{235}_{92}U$ nur von lang-

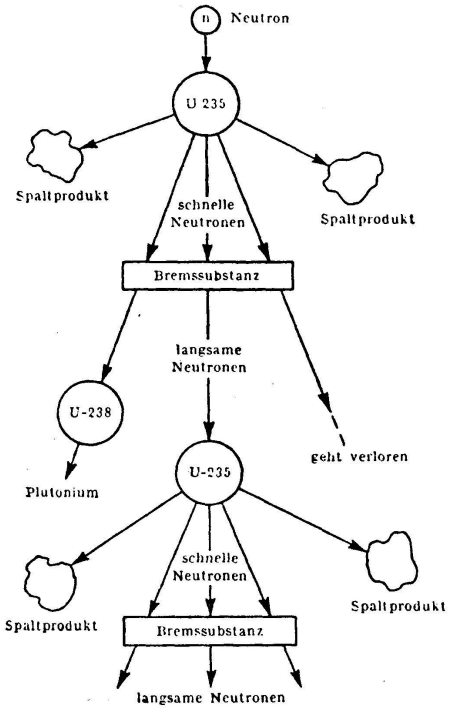



Abb. 6
Gesteuerter Kernspaltungsprozeß
(nach Hahn)

samen Neutronen gut gespalten wird, während die schnellen nicht so wirksam sind. Gelingt es also, die schnellen Spaltungs-Neutronen abzubremsen, ehe sie mit $^{238}_{92}U$ abreagieren, so steigt die Chance, daß die langsamen Neutronen dem $^{235}_{92}U$ zugute kommen. Infolgedessen wird man eine Kettenreaktion nicht etwa dann erhalten, wenn man eine möglichst große Menge Uranmetall einfach anhäuft, sondern wenn man es in einer Substanz räumlich verteilt, die die Neutronen abbremst, ohne sie wegzufangen (Abb. 6). Solche Bremssubstanzen sind das schwere Wasser und hochgereinigter Graphit, an deren Kernen die Neutronen beim wiederholten Stoß ihre Energie einbüßen, bis sie thermische Geschwindigkeit haben.

Eine Kernmaschine, Pile oder Meiler genannt, besteht also aus einem Graphitklotz von einigen 100 Tonnen Gewicht, in dem Höhlungen

ausgespart sind, die mit Uranstäben beschickt werden. Um das ganze gefahrlos aufbauen und später die Reaktion steuern zu können, sind in besonderen Kanälen der Bremssubstanz cadmierte Stahlstangen vorgesehen. Das Cadmiumisotop $^{113}_{48}Cd$ frißt die Neutronen sehr leicht weg, so daß eine Kernmaschine erst dann in Gang kommt, wenn die Steuerstangen ganz oder teilweise herausgezogen sind (Abb. 7). Die Strahlung einer solchen mittelgroßen Uran-Pile entspricht der radioaktiven Leistung von $10^4$ bis $10^5$ Zyclotrons und einer thermischen Leistung von ein paar 1000 Kilowatt, so daß man sich durch dicke Betonpanzer, Fernbedienung

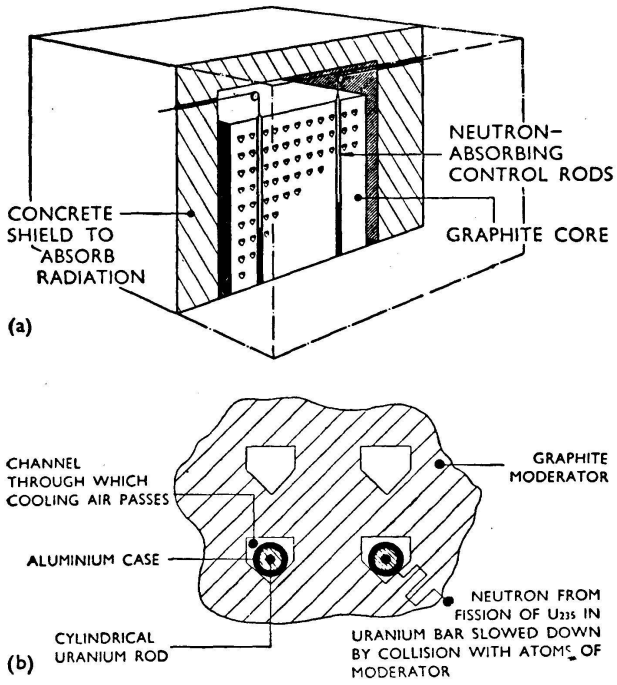



Abb. 7
Schema einer Uranpile
(nach Cockroft)

und andere Maßnahmen vor der Strahlenwirkung schützen muß. In dem Panzer sind an passender Stelle Löcher ausgespart, durch die man zu bestrahlende Substanzen in den Uranmeiler hineinschieben kann. Die Neutronendichte ist im Innern des Klotzes am größten und nimmt nach außen hin ab. Mit diesem mächtigen Hilfsmittel werden heute in den Vereinigten Staaten, Canada, England und Frankreich die radioaktiven Isotope vieler Elemente laufend dargestellt, so daß sie teilweise käuflich erworben werden können. Von $^{14}C$ und $^{35}S$ sind z. B. etwa je 20 Verbindungen erhältlich, die sich für organische Synthesen besonders eignen. Der Preis der englischen Produkte liegt zwischen 20 und 60 £ für ein Milligramm Radiumäquivalent.

## Einige Anwendungen von Isotopen

Stabile Isotope haben den Vorzug, daß man auch schwieriger zugängliche Verbindungen in aller Ruhe synthetisieren kann; diese Verbindungen sind dann beliebig lange haltbar, jede Strahlenschädigung im

Organismus fällt mit Sicherheit weg, und die Versuchsreihen lassen sich über große Zeiträume ausdehnen. Auf der anderen Seite ist der Verdünnungsgrad, bis zu dem stabile Isotope nachweisbar bleiben, um viele Zehnerpotenzen geringer als bei radioaktiven Isotopen, deren Nachweis sich zudem mit Zählrohren und Verstärkern recht bequem gestaltet. Freilich haben nicht alle Elemente radioaktive Vertreter geeigneter Lebensdauer. Beim Stickstoff ist man z. B. durchaus auf sein stabiles schweres Isotop angewiesen, da seine radioaktiven Atomsorten eine für die üblichen Versuche viel zu kurze Lebensdauer haben.

Die Anwendung der Isotopentechnik ist so umfangreich geworden, daß man mir gestatten möge, anstelle einer ermüdenden Aufzählung einige typische Beispiele herauszugreifen.

Eines der ältesten Probleme der Radiochemie war die Ermittlung des Alters des Gesteinsmantels der Erde. Uran zerfällt unter Heliumabgabe über verschiedene radioaktive Zwischenelemente schließlich in stabiles Blei. Kennt man die mittlere Zeit für das Durchlaufen dieser Zerfallsreihe, so läßt sich aus dem Verhältnis von noch vorhandenem Uran zu dem in geologischer Zeit gebildeten Blei die verstrichene Zeit seit der Entstehung des Minerals berechnen. Man findet recht übereinstimmend ein Alter von 2000 Millionen Jahren für das Urgestein. Diese ältere Methode ist in glücklicher Weise neuerdings durch das Strontiumverfahren von Hahn ergänzt worden, bei dem die Nachbildung des Strontiumisotops $^{87}_{38}Sr$ aus dem Rubidiumisotop $^{87}_{37}Rb$ durch $\beta$-Zerfall benutzt wird. Auch hier muß das Verhältnis von Rubidium zu Strontium analytisch genau bestimmt und die Häufigkeit des nachgebildeten Isotops $^{87}_{38}Sr$ mit derjenigen in gewöhnlichem Strontium verglichen werden. Für den Geologen ist es wichtig, daß dieses Verfahren auf Sedimente anwendbar ist, für die die Uran-Blei-Methode wegfällt. Sogar zu Altersbestimmungen in geschichtlicher Zeit lassen sich radioaktive Verfahren heranziehen. Unter dem Einfluß der Höhenstrahlen entstehen in der höchsten Atmosphäre Neutronen, die den Stickstoff $^{14}_{7}N$ unter Emission eines Protons in radioaktiven Kohlenstoff $^{14}_{6}C$ umwandeln. Dieser Kohlenstoff gelangt als Kohlendioxyd bis in die Troposphäre und wird schließlich von der lebenden Pflanze aufgenommen. Jedes Stück Holz ist infolgedessen schwach radioaktiv. Der Einbau von Kohlendioxyd hört auf, wenn der Baum abstirbt oder umgehauen wird. Da radioaktiver Kohlenstoff $^{14}C$ eine Halbwertszeit von $5568 \pm 30$ Jahren besitzt, wird ein Stück Holz dieses Alters nur halb so radioaktiv sein wie eine in unserer Zeit gewachsene Pflanze. Dies kann man dazu benutzen, um mit einem hölzernen Gegenstand aus einem Pharaonengrab die zeitliche Datierung der Archäologen zu überprüfen. Glücklicherweise hat radioaktiver Kohlenstoff gerade eine Lebensdauer, die ihn für die uns noch nahe-

liegenden geschichtlichen Zeiten, aus denen in vielen Fällen sichere Überlieferungen fehlen, geeignet macht.

Vorhin wurde ausgeführt, daß bei den leichten Elementen, wie z. B. Sauerstoff, die Lage chemischer Gleichgewichte für die Isotope sich etwas unterscheidet. Nun werden diese Gleichgewichte durch die Temperatur beeinflußt. Bildet sich ein Kalksediment, so wird in dem entstehenden Kalziumkarbonat das Isotopenverhältnis des Sauerstoffs ein wenig anders sein, wenn sich das Sediment bei 15°, als wenn es sich bei 25° C gebildet hat. UREY hat ein spezielles Massenspektrometer zur genauen Häufigkeitsbestimmung der Sauerstoffisotope entwickelt. Mit ihm konnte er nach passender Eichung rückwärts die Temperatur bestimmen, die auf unserem Planeten vor Jahrmillionen in den Meeren herrschte, aus denen die Sedimente ausgefallen sind. Es ergaben sich mit diesem eigenartigen, geologischen Thermometer im Durchschnitt Temperaturen, die denen unserer heutigen tropischen und subtropischen Meere entsprechen.

Meßtechnische Verwendung hat das Quecksilberisotop $^{198}$Hg bekommen. Bestrahlt man ein Goldblech mit Neutronen, so wird aus dem $^{197}_{79}$Au zunächst radioaktives Gold $^{198}_{79}$Au gebildet, das als $\beta$-Strahler in $^{198}_{80}$Hg zerfällt. Durch Erhitzen des Goldblechs läßt sich das Quecksilber austreiben und in eine Lampe füllen, die dann das Licht eines reinen Isotops in scharfen Spektrallinien ausstrahlt; alle Feinstruktur ist beseitigt und nur noch die Druck- und Temperaturverbreiterung der Linien übriggeblieben. Letztere kann man mit anderen reinen Isotopen, wie $^{86}$Kr und $^{136}$X, die in mit flüssiger Luft gekühlten Spektralrohren verwendet werden, noch weiter einschränken. Auf diese Weise wird das Urmeter aus Platin-Iridium, das als mechanischer Maßstab heutigen meßtechnischen Anforderungen ohnehin nicht mehr genügt, unmittelbar in Wellenlängen ausgedrückt. MICHELSON hatte diesen Vergleich nur unvollkommen mit der roten Cadmiumlinie durchgeführt, die aber bei der komplexen Zusammensetzung des Cadmiums, das aus 8 Isotopen besteht, wegen ihrer Hyperfeinstruktur dafür prinzipiell ungeeignet ist.

Durch Verabreichung von radioaktiven Eisenpräparaten kann man die roten Blutkörperchen einer Versuchsperson radioaktiv machen. Spritzt man derartiges Blut bekannter Aktivität einem anderen Menschen in die Blutbahn ein und entnimmt man ihm nach kurzer Zeit ein bestimmtes Quantum Blut, so läßt sich aus der Verdünnung der Aktivität sofort die kreisende Blutmenge genau angeben, ein Verfahren, das zur Beurteilung der nötigen Blutmenge bei Transfusionen herangezogen wird. Mit radioaktivem Phosphor ist die Geschwindigkeit des Stoffwechsels in verschiedenen Organen, auch in den Knochen, Zähnen und der Nervensubstanz, genau verfolgt worden. Die Funktion der Schilddrüse kann mit radioaktiven Jodpräparaten kontrolliert, die Durchlässigkeit der Magen- und Darmwände mit radioaktivem Natrium, das man als Kochsalzlösung einnimmt, untersucht werden.

Die Anwendungen in der Chemie sind Legion und müssen übergangen werden. Hat man doch sogar mit Hilfe der inaktiven H-, C-, O- und N-Isotope Schnellverfahren zur organischen Verbrennungsanalyse entwickelt. Technisches Interesse bietet die Untersuchung der Schmiermittelwirkung von Ölen in Lagerschalen. Der Transport unsichtbarer, auch mikroskopisch nicht erkennbarer Metallspuren war lange von den Metallurgen vermutet worden, konnte aber erst jetzt durch radioaktive Isotope bewiesen werden.

Ein Uranmeiler produziert neben den radioaktiven Isotopen und Neutronen noch eine große Wärmemenge, die letzten Endes davon her-

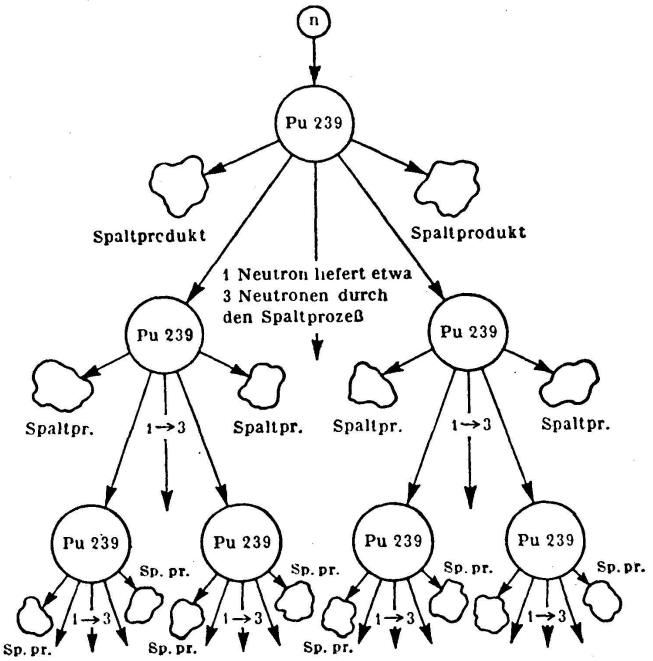



Abb. 8
Explosive Kernkettenreaktion
(nach Hahn)

rührt, daß beim Zerfall ein Teil der Uranmasse verschwindet und als Energie wieder zum Vorschein kommt. Da der Umwertungsfaktor das Quadrat der Lichtgeschwindigkeit enthält, entspricht einem kleinen Massenschwund eine gewaltige Energiemenge. Die Temperatur des Meilers muß deshalb durch eine Luft- oder Wasserkühlung sorgsam reguliert werden. Der Zerfall von 1 kg $^{235}$U bzw. $^{239}$Pu liefert rund denselben Heizwert wie die Verbrennung von 2500 Tonnen Kohle. Daraus ersieht man, daß beide Isotope Sprengstoffe von ungeheurer Wirkung darstellen, wenn man die beim Zerfall entstehende Energie in kurzer Zeit, etwa Bruchteilen von Sekunden, in Freiheit setzt. Dazu darf man die Kettenreaktion nicht mäßigen und lenken, sondern muß sie sozusagen «durchgehen» lassen (Abb. 8). Dies ist möglich, wenn man das $^{235}_{92}$U von seinem schwereren Begleiter abtrennt, so daß der Einfangsprozeß für Neutronen durch das schwere Isotop wegfällt. Oder man trennt das in der Pile gebildete Plutonium von den übrigen Spaltprodukten und dem unverän-

derten Uran chemisch ab. Ein kleines kugelförmiges Stück dieser reinen Isotope ist harmlos, da seine Oberfläche im Verhältnis zum Volumen um so größer ist, je kleiner wir die Kugel machen. Infolgedessen können aus einem kleinen Stück $^{235}_{92}U$ bzw. $^{239}_{94}Pu$ die Spaltungsneutronen durch die Oberfläche wegdiffundieren, ehe sie im Innern neue Spaltungen auslösen. Macht man die Kugel aber größer, so wird das Volumen mit der 3. Potenz des Radius, die Oberfläche aber nur mit seiner 2. Potenz zunehmen. Schließlich erreicht die Kugel eine kritische Größe, bei der gerade ebenso viele Neutronen entstehen wie durch die Oberfläche abströmen. Jetzt ist das System labil, und jede weitere Vergrößerung muß zu einem rapiden Anwachsen der Spaltungen, d. h. zur Kettenverzweigung und zu einem explosionsartigen Umsatz der Kernenergie führen. Die kritische Menge beträgt etwa 10–20 kg, und da die Dichte dieser metallischen Isotope um 20 herum liegt, stellt ein Raum von etwa 1 Liter das ursprüngliche Reaktionsvolumen einer im Umkreis von vielen Kilometern wirksamen Atombombe dar. Halbiert man diese Menge, so liegen die getrennten Hälften unter dem kritischen Volumen und können verhältnismäßig gefahrlos gehandhabt werden. Vereint man sie aber schnell, etwa indem man das eine Stück als Geschoß in einem allseitig geschlossenen Geschützrohr in die andere Hälfte hineinschießt, so findet der ungesteuerte Kettenprozeß und die Explosion statt.

Ich hielt es für richtig, diese wenig tröstliche Anwendung spezieller Isotope hier doch zu erwähnen und sie nicht zu unterdrücken, obwohl von einer Verwendung in der Forschung wirklich nicht mehr gesprochen werden kann. Sie hängt als Drohung über der Welt und hat die von der großen Menge sonst wenig beachtete Arbeit des Gelehrten ins Blickfeld der Öffentlichkeit gerückt.

Zu allen Zeiten, besonders aber wenn die Geister gären, alte Vorstellungen zu Grabe getragen werden sollen und neue Erkenntnisse sich Bahn brechen wollen, stößt der Naturwissenschafter auf den kritischen Widerspruch seiner Zeitgenossen. Dann erhebt der fachfremde Moralist warnend seinen Finger und erinnert daran, daß es der Verführer Mephisto war, der dem Scholaren ins Stammbuch schrieb: «Eritis sicut deus, scientes bonum et malum.» Wenn nun heute dem ewigen Schüler Mensch angesichts der Entfesselung dämonisch anmutender Kräfte vor seiner Gottähnlichkeit wirklich bange wird, so hat er doch nicht den mindesten Grund, ausgerechnet die Naturforschung anzuklagen. Gut und Böse liegen nicht in ihr, sondern in des Menschen eigener Brust beschlossen. Die Naturwissenschaft hat ein volles Recht, den an sie gerichteten Vorwurf mit dem Hinweis auf jenen anderen «sonderbaren, aber ungeheuren» Spruch abzutun: «Nemo contra deum nisi deus ipse!»

# Modelé glaciaire et relief alpin

Par

Henri Onde (Lausanne)

Il y a plus d'un siècle que la glaciologie a pris rang parmi les sciences, grâce à la contribution décisive d'un groupe de pionniers suisses; Venetz, de Charpentier, Agassiz, dont les travaux s'échelonnent entre 1833 et 1841 (1). Or, chose curieuse, ce n'est que cinquante ans plus tard qu'on en est venu sérieusement à considérer les glaciers comme des agents d'érosion assez puissants pour modifier la face de la terre. La morphologie glaciaire n'est donc devenue un thème de discussion scientifique qu'un bon demi-siècle après la glaciologie. Les fondateurs de cette dernière ne croient pas au pouvoir des organismes qu'ils étudient. De Charpentier attribue bien aux glaciers les «surfaces frottées», à leurs eaux de fusion des lapiés et des cuves, ou marmites torrentielles (2; pp. 101, 283, 285); de son côté, Agassiz inventorie les «roches moutonnées» – de Saussure avait depuis longtemps parlé des «montagnes moutonnées» –, mais rejette l'idée d'un enfoncement du glacier dans son lit puisque les glaciers «se meuvent sur des pentes inclinées» et que «les limites de leurs bords oscillant continuellement, ils ne sauraient occasionner d'amples dépressions» (3; p. 188).

A l'encontre d'Alphonse Favre, toutefois, Tyndall admet le creusement glaciaire, et avec lui Ramsay (1862), Helland (1877), McGee (1883). A la fin du siècle, l'idée a si bien fait son chemin qu'on s'y intéresse en Amérique comme en Europe, et qu'en 1899, au Congrès international de géographie de Berlin, Penck lance le terme d'«Übertiefung», heureusement traduit en français par «surcreusement» (Kilian). Dès ce moment l'érosion glaciaire est devenue une notion courante. Alors qu'en 1894 Penck ne se préoccupait que des formes d'accumulation glaciaire et fluvio-glaciaire (4), on le voit diriger en 1903 une excursion dans les Alpes autrichiennes pour démontrer la réalité du surcreusement (5). En dix années les travaux se multiplient, ceux de Penck et Brückner, de Davis, Johnson, Hobbs, Richter, Hess, Brunhes, Kilian, de Martonne, etc.: ils suscitent, entre partisans et adversaires de l'érosion glaciaire, une controverse qui ne s'est plus éteinte depuis. Alors que l'école dite autrichienne, l'école américaine, l'école géographique de Grenoble, se prononçaient en faveur de la puissance érosive de la glace, Heim et Forel en Suisse, Johann Sölch

en Autriche, prenaient une position sinon purement «antiérosionniste», du moins «antiexcavationniste», se refusant à admettre le surcreusement de cuvettes avec contrepente (6). Un groupe de savants français, enfin, avec BRUHNES et DE MARTONNE principalement, manifestaient leur répugnance à admettre une explication unilatérale du modelé dans les régions, actuellement, ou jadis englacées.

### La controverse à propos de l'érosion glaciaire

Se fondant sur l'étude des terrasses alluviales, PENCK et BRÜCKNER (7) supposent l'existence, au début de l'époque glaciaire, d'une pénéplaine à l'issue des Alpes, d'un *Vorland*, dans lequel les glaciers ont surcreusé leur lit bien en contre-bas d'un réseau de vallées séniles. HESS croit même pouvoir retrouver, sur les flancs du lit glaciaire, les entailles correspondant aux différentes glaciations de PENCK et BRÜCKNER, et identifier des auges quadruples. Pour HEIM, par contre, les cuvettes lacustres périalpines s'expliquent, non par le surcreusement, mais par des mouvements tectoniques, des déformations du sol. BRUNHES soutient une théorie plus nuancée et fait intervenir le creusement conjoint du glacier et de ses eaux de fusion (8). Celles-ci, évacuées non par un émissaire unique mais par deux torrents sous-glaciaires au moins, isolent une échine centrale que le glacier moutonne, et contribuent, par sapement, à raidir le profil transversal du lit, à lui imposer sa forme d'U: «En associant ces deux forces: actif creusement par les eaux courantes et rabotage par la glace, on explique toutes les formes essentielles des vallées dites glaciaires» (8; p. 174). Enfin, M. DE MARTONNE a jeté dans la discussion deux théories, dont l'une, celle du rajeunissement pliocène des Alpes, tend à ramener à des proportions plus modestes le travail glaciaire, et l'autre, une théorie physique, à exposer le mécanisme de ce dernier. On prête beaucoup trop aux glaciers en leur attribuant les auges actuelles excavées dans une topographie mûre. En réalité ils se sont installés dans des vallées déjà rajeunies, donc fortement encaissées, et ils n'ont eu qu'à les mettre en forme, à exagérer certaines irrégularités de leur profil en long, suivant une technique qui leur est propre (9). Le glacier agissant par adhérence à son lit, laquelle varie avec l'épaisseur et la vitesse du flot plastique, son efficacité doit être maxima dès que son cours se ralentit, minima partout où son cours se précipite, son épaisseur diminue, sa surface s'accidente de séracs. Le contact glace-rocher devient plus intime à chaque atténuation de la pente, il se relâche à chaque augmentation de celle-ci: dès lors, entre ombilics d'amont et d'aval, un gradin doit naître et grandir (10).

La controverse suscitée par l'érosion glaciaire n'est pas close, et il semble même que les observations les plus récentes tendent à la ranimer. La glace est malléable en profondeur. Sa température reste voisine de zéro et elle se décompose en petits grains sous une charge de rupture à la compression correspondant à une épaisseur de 240 m. (11; p. 18). Une planche abandonnée dans une galerie de recherche forée à travers la

langue terminale du glacier de Tré-la-Tête, dans le massif du Mont-Blanc, s'est incrustée, sans fléchir, dans le plafond en voie d'abaissement rapide (12). Parce que la glace est malléable, les crevasses qui l'accidentent et à la faveur desquelles l'air extérieur pourrait provoquer l'éclatement par gel des roches imbibées d'eau, ne doivent pas descendre très profondément: elles se referment sans doute au voisinage d'une surface limite séparant ce que l'on a appelé la glace «ouverte» et la glace «fermée» (13). Malléable, hétérogène de surcroît, le glacier ne saurait être qu'«un burin de plomb appliqué à une fonte ou un acier».

Mais nous ignorons tout de la glace aux grandes profondeurs, à plus forte raison sous les centaines, le millier de mètres qu'elle mesurait dans les appareils quaternaires. Déjà en interprétant la formule de Somigliana pour la prédétermination de l'épaisseur de la glace, on a pu conclure à l'existence d'un «cœur» dans le glacier, d'une zone où l'écoulement n'est plus celui d'un corps plastique-visqueux mais d'un corps élastique, et l'on en a tiré des conséquences pour l'aménagement du lit (14).

Par ailleurs, des variations de pression paraissent susceptibles de provoquer, sous le glacier, des alternances de gel et de dégel sans aucune intervention de l'air extérieur (expériences de Blümcke et Finsterwalder). Dans la région du bassin terminal, le «cône» du glacier en expansion, bien différent du «bec» des glaciers dégénérés actuels, est capable de puissants effets de soc, de «bull-dozer». Enfin on ne saurait limiter le travail du glacier à une simple action de polissage, d'usure par frottement. Par sa masse énorme, la pression qu'il exerce sur son lit, la fissuration qu'il y peut provoquer, par sa formidable capacité d'arrachement, les mouvements irrésistibles de son flot dans tous les plans, par l'intensification, à son voisinage, dans une atmosphère desséchée à son contact, de la désagrégation mécanique des parois, le glacier s'affirme comme un agent d'érosion dont l'immense travail est aussi efficace que mystérieux.

Le paysage alpin semble précisément témoigner en faveur d'une érosion glaciaire intense et universelle. Dans les parages abandonnés de fraîche date par les glaciers, surgissent des formes qui sont indiscutablement leur œuvre. Loin des fronts actuels, on peut observer des formes analogues, bien que plus amples: entre les unes et les autres l'échelle diffère, non la nature et la filiation. Ces formes, immédiatement identifiables, font précisément défaut dans les massifs que les glaces n'ont pas touchés. Dans les lieux encore occupés, ou jadis parcourus par des appareils notables, il paraît exister une proportionnalité entre les formes attribuées aux glaciers et les courants dont elles seraient issues. En un mot, il est possible d'établir une concordance entre un certain modelé et la glaciation. Parce qu'elle n'est pas fortuite, cette concordance s'impose à l'esprit comme l'expression d'un rapport de cause à effet. Les formes dites glaciaires sont trop visiblement liées aux glaciers pour que l'on ne soit pas tenté de les attribuer à ces derniers, de découvrir en eux l'outil puissant qui les a façonnées.

## Les formes dites glaciaires

Parmi ces formes, trop nombreuses pour être toutes mentionnées et étudiées, *les roches moutonnées*, *les cirques*, *les auges* et *les verrous* sont les plus représentatives.[1]

*Les roches moutonnées* (Rundhöcker) et les polis qui les accompagnent ont de longue date retenu l'attention. AGASSIZ les considérait, à juste titre, comme autant de témoins vénérables de l'extension ancienne des glaciers. Les Helleplatten du Haut-Hasli en sont de fort beaux exemplaires dans ces roches granitoïdes si particulièrement favorables au développement et à la conservation de ce type de modelé. Si les polis ne peuvent servir, dans tous les cas, de limite (Schliffgrenze) pour fixer le niveau supérieur de la glaciation de vallée, ils ont du moins le mérite d'illustrer deux modalités bien différentes du travail glaciaire: l'abrasion (ou polissage) du côté amont, l'arrachement (plucking), avec ou sans désagrégation mécanique, du côté aval. C'est ce que montre le lit fraîchement découvert du glacier du Mulinet en Maurienne (Savoie) et ce qu'ont signalé les observations faites sous la glace à la faveur des crevasses marginales, des *Gletscherrandklüften* (15). Enfin ces roches moutonnées s'opposent, avec une extrême franchise, aux *gezackter Formen*, aux formes déchiquetées, le paysage arrondi ou *Rundling*, au paysage des montagnes à cirques ou *Karling*.

Le *cirque* (Kar), demi-cuvette si apparente dans la nature et sur de bonnes cartes topographiques, qu'il soit vide ou non, est une autre forme élémentaire du modelé glaciaire. Les discussions à son sujet datent déjà de loin. Mais, qu'il dérive d'un entonnoir torrentiel ou d'une niche de nivation, que le recul de ses parois par désagrégation mécanique s'effectue au-dessus de la surface de la glace ou du névé, ou plus bas déjà, dès le pied du mur de rimaye (Bergschrund), il est comme une image synthétique de la morphologie glaciaire. Le cirque se caractérise en effet par la raideur de ses parois, la douceur relative de son fond, de son *Boden*, moutonné et aplani, donc par une rupture de pente accentuée à la base de son périmètre inférieur, par la présence d'un verrou ou d'un gradin de débouché, enfin par son profil en auge, en U largement évasé. Ainsi, entre une forme naissante – le cirque est souvent encore occupé par la glace – et une forme adulte, achevée, l'auge proprement dite dès longtemps libérée, la filiation s'affirme avec évidence. Mais les cirques ne sont pas seulement comme un abrégé morphologique: ils apparaissent comme de redoutables rongeurs de montagnes, qu'ils s'adossent, ou se juxtaposent en escalier (Kartreppe). La désagrégation, spécialement active en raison de l'altitude, s'exerce sur des surfaces que l'entraînement des matériaux par les avalanches et la glace elle-même contribue à entretenir toujours fraîches: ainsi les parois s'amincissent, des cols s'esquissent, des captures glaciaires deviennent possibles. En face du Gornergrat, le cirque de la Schwärze finira par se vider latéralement

[1] Cette conférence était accompagnée de nombreux clichés dont on ne peut donner ici qu'une très brève analyse.

vers le Grenzgletscher, alors que sa direction naturelle, indiquée par une belle moraine frontale, est celle du Gornergletscher. Bien des épaulements et replats (Schultern, Ebenen), regardés à tort comme des vestiges de la topographie préglaciaire, résultent d'un simple effacement de cloisons entre cirques mitoyens, d'une mise en communication de glaciers primitivement isolés dans leurs alvéoles. Le glacier de la Marmolada, dans les Dolomites italiennes, pourrait bien ne pas avoir d'autre origine. Quant à la Tschingelalp, au S.-E. d'Elm (Glaris), elle montre comment une succession de cinq cirques étagés, séparés par quatre gradins, aboutit à une forme complexe: l'auge.

L'*auge*, l'*U* glaciaire, le *Trog* de RICHTER, le *canyon glaciaire* de MCGEE, est remarquable par son profil transversal. A vrai dire celui-ci s'observe dans certaines vallées non glaciaires, aménagées dans un bâti hétérogène, lorsqu'une couche dure couronne, en chapiteau, un soubassement tendre, et quand des éboulis raccordent les versants à un fond remblayé. Mais ces fausses auges sont limitées à un type de structure, l'auge glaciaire, elle, est indifférente à la nature des roches. Elle est taillée, «calibrée» à la mesure d'un fleuve puissant, profond, progressant, imperturbable, droit devant lui. L'unité de l'auge, sensible dans le profil en travers comme dans le tracé, distinguent d'emblée les lits glaciaires des vallées fluviatiles, infiniment plus tourmentées. L'auge, enfin, est une forme ubiquiste, répandue aussi bien dans les parties élevées que dans les parties basses de la montagne.

Au voisinage des centres d'émission des glaces, dans les sections qui ont subi une occupation de très longue durée, l'indifférence de l'auge a la nature des terrains encaissants est souvent saisissante. On le constate à Bonneval, en Maurienne, où l'on voit le profil transversal passer, sans broncher, des gneiss aux schistes lustrés et aux serpentines (16; p. 245). L'U se réalise, d'ailleurs, dans n'importe quelle roche. L'auge du Rappental, en Haut-Valais, se creuse au contact des schistes lustrés et des gneiss: s'il en résulte une légère dissymétrie, le dessin général ne diffère pas sensiblement de celui du val Giuf, dans les Grisons, sculpté en pleine pâte cristalline. L'auge, il est vrai, s'aiguise parfois au point qu'on peut être tenté de la prendre pour une forme fluviatile, et non plus glaciaire. Mais un examen attentif des profils transversaux menés par des points assez rapprochés prouve que le passage de l'U au V se fait d'une manière insensible, si bien que la permanence du calibre exclut l'intervention de deux outils différents. Il y a des auges en U et des auges en V, celles-ci provenant d'une cause purement dynamique, d'une accélération du courant glaciaire dans une section plus déclive. Ainsi en va-t-il de l'auge du Doron de Termignon, en Maurienne, dans un talweg si bien dominé par les glaciers de Chasseforêt que le profil en V des gorges ne saurait avoir d'autre origine que l'U du secteur amont (16; p. 242).

Parfois enfin se manifeste une nette tendance à l'emboîtement des versants: dans une auge supérieure, largement dessinée, s'emboutit une auge plus basse et plus exiguë. Ainsi en Valais, dans le Fieschertal. Un tel profil suggère un creusement en deux étapes, effectué par des appa-

reils successifs et de puissance décroissante: il renforce, plus qu'il n'affaiblit, l'hypothèse de l'unité du modelé glaciaire.

Cette unité s'exprime, au reste, dans le tracé de l'auge. Celle-ci est peu sinueuse. On devine qu'elle a été aménagée pour assurer un écoulement bien différent d'un écoulement torrentiel. Par la régularité de son ouverture qui ne se modifie que par larges plans de transition, par son déploiement direct, l'auge se distingue autant d'une vallée fluviatile qu'une route moderne d'un sentier de chèvres. Si le glacier est médiocrement encaissé, il franchit, par diffluence (Gletscherverzweigung, «Bifurkation»), celui de ses versants situé dans le prolongement de son axe de marche, plutôt que de se plier à un coude prononcé. Ainsi ont fait le glacier de la Reuss, dans la région de Brunnen, lorsqu'il s'est écoulé, en partie au moins, en direction des lacs de Lauerz et de Zoug, le glacier de l'Aar, lançant un bras par le Brünig vers les lacs de Lungern et de Sarnen (17). Au contraire, si le glacier est étroitement contenu dans sa vallée, force lui est d'en épouser les contours, mais l'auge ainsi burinée conserve, de bout en bout, un calibre harmonieux: tel le Klöntal, dans les Alpes de Glaris. Vu du Jungfraujoch, le glacier d'Aletsch déploie sa nappe éblouissante en un vaste croissant très ouvert, et son voisin, le glacier de Fiesch, quoique plus sinueux, se décompose néanmoins facilement en quelques alignements raccordés par de larges courbes.

Les auges sont comme un épiphénomène de la glaciation. Même vides, elles évoquent le flot disparu. L'auge de la mer de glace, en amont du Montenvers, et l'auge de Bessans (Savoie) sont identiques, à cette nuance près que le niveau, constitué là par le glacier, est ici remplacé par une terrasse alluviale. Dans la majeure partie des Alpes, le premier plan monumental de l'U glaciaire donne de la profondeur aux vues axiales de vallées, sa silhouette familière se découpe dans la lumière. Le profil caractéristique de l'auge se rencontre à toutes les altitudes, au long du Valais, dans le Conches en particulier, dans l'Urserental, à Meiringen et Innertkirchen sur l'Aar, en amont de Flüelen sur la Reuss, comme dans la région des cols, au Petit-St-Bernard, à la Furka, à la Vanoise, entre 2200 et plus de 2500 m.

L'auge enfin n'est pas seulement remarquable par son profil en travers et son tracé: son profil longitudinal se déprime parfois en ombilics, surcreusés au-dessous du profil d'équilibre des cours d'eau actuels, voire en crypto-dépressions évidées au-dessous du niveau de base marin. L'ombilic de Tignes (Savoie), sur la Haute-Isère, est si merveilleusement dessiné que le plus haut barrage d'Europe s'y édifie sur plus de 150 m. dans la gorge des Boisses, pour retenir plus de 200 millions de $m^3$. Bien que partiellement comblé, le lac Majeur s'enfonce encore de 175 m. sous le niveau de la mer, et près de Grenoble, dans le Grésivaudan, un sondage poussé à 400 m. sous le plan alluvial, à 177 m. au-dessous du niveau de la mer, n'a pas rencontré la roche en place. L'existence des crypto-dépressions atteste l'énorme puissance de l'érosion glaciaire. On a certes invoqué, pour les expliquer, des affaissements du

sol; mais, outre que ces mouvements sont rarement confirmés par des failles, il est difficile de concevoir des fléchissements limités à quelques axes, perpendiculaires et non parallèles aux chaînes, le long du lac Majeur, du lac des Quatre-Cantons par exemple. L'érosion glaciaire rend infiniment mieux compte de ces anomalies du relief que de prétendus mouvements épéirogéniques «dont la preuve est précisément tirée des faits à expliquer» (9; p. 124, 139).

La belle unité de l'auge est parfois rompue par un accident aussi authentiquement glaciaire que l'auge elle-même: le *verrou* (Riegel). L'obstacle peut être si brutal qu'il fait alors songer à une pierre obstruant un chêneau. A quelque type qu'il appartienne, le verrou se compose naturellement d'une barre, mais d'une barre échancrée d'encoches, et c'est là un fait essentiel. La barre est transversale, oblique ou longitudinale, d'origine structurale ou non. Le verrou classique est transversal et structural, il coupe l'auge d'un versant à l'autre et se situe au contact de deux formations inégalement résistantes. Ainsi le Castelet en Ubaye, dans les Alpes françaises méridionales, le Pas du Roc en Maurienne, le Kirchet de Meiringen dans la vallée de l'Aar. En ce dernier point toutefois, il semble étrange que le calcaire du Malm ait été déchaussé en verrou tandis que le granit d'Innertkirchen, immédiatement en amont, était excavé en ombilic. La structure n'explique pas tout en effet, la dynamique glaciaire joue aussi son rôle. Une barre peut ainsi surgir à l'intersection de deux ombilics et subir un déchaussement sur l'une ou l'autre de ses faces, lors d'une pulsation ultérieure. Le Kirchet se déploie précisément entre deux ombilics de confluence glaciaire, celui d'Innertkirchen (Unterwasser – Urbachwasser – Aar) et celui de Meiringen (Reichenbach – Aar). Le verrou-gradin de Termignon, en Maurienne, a été déchaussé le long de sa face aval par le glacier du Doron de Termignon, et à un moindre degré, en amont, par le glacier de l'Arc en stationnement sur sa ligne de repli.

Mais de même qu'il y a des auges en V, il y a des verrous obliques et longitudinaux. La barre, dans ce cas, perd de sa valeur d'obstacle, encore que le verrou oblique et marginal de Sion, modelé dans une structure isoclinale plaquée contre le versant droit de la vallée du Rhône, fasse grand effet. Le verrou longitudinal relève de plusieurs causes. En dehors du cas d'un pédoncule de confluent aigu (verrou de Suse), il peut résulter d'un double écoulement sous-glaciaire, ou même glaciaire. A l'extrémité de maints appareils actuels, au glacier de Fiesch, par exemple, un rocher moutonné médian est étroitement embrassé par deux lobes de glace et deux émissaires torrentiels. Deux glaciers cheminant côte à côte après une confluence et travaillant chacun pour son compte, doivent parvenir aussi à individualiser une échine longitudinale. Un tel processus est conforme à ce que l'on sait de l'indépendance dont témoignent les appareils accolés du Karakorum (18). A ce type de verrou longitudinal façonné par un double écoulement semble appartenir le Belpberg, dans la section extra-alpine de la vallée de l'Aar, et son pédoncule méridional vers Seftigen et Zwieselberg.

Quelle que soit d'ailleurs son orientation, la barre ne mérite son nom de verrou que si elle est pourvue d'encoches. Celles-ci, fruit du travail simultané ou alterné des eaux et de la glace, tranchent la barre à des niveaux et à des profondeurs variables. Les écoulements sous-glaciaires multiples les expliquent assez bien, les eaux s'enfonçant dans la roche au fur et à mesure de son déchaussement par le glacier, puis finissant par se rassembler dans un chenal unique, sous la langue recroquevillée à l'ombre, par exemple (19), pour y forer l'encoche la plus profonde. Les eaux sous-glaciaires en charge, semblables à celles qui surgissent des profondeurs du glacier de Corbassière dans la vallée de Bagnes (20) contribuent à coup sûr à la formation des encoches, de même que les eaux et les glaces issues de deux glaciers juxtaposés à des niveaux différents, dans le cas d'un verrou de pédoncule de confluent, par exemple. Certaines encoches, enfin, ne datent vraisemblablement pas du même épisode glaciaire et relèvent d'un creusement épigénique favorisé par la présence d'un manteau morainique ou alluvial (surimposition) (21).

Comme les auges, les verrous se rencontrent à toutes les altitudes. Il y a des verrous hauts et des verrous bas, aussi des verrous complexes, combinaison des uns et des autres. Les verrous hauts sont des verrous d'expansion ou de déperdition glaciaire, c'est-à-dire qu'ils correspondent à une dilatation brusque, et en surface, du glacier, ou au départ d'un bras diffluent de celui-ci. Un tel verrou s'observe le long de la rive gauche du glacier d'Aletsch, dans la crête moutonnée de Riederalp. Le col du Brünig, seuil de diffluence du glacier de l'Aar, est également un bon spécimen de verrou élevé, contrastant avec le verrou bas du Kirchet. Parfois les deux formes se superposent: ainsi dans le grand verrou complexe de Moûtiers, en Savoie. Le glacier de l'Isère à son maximum se dilatait ici à l'extrême, dans un secteur où confluent le bassin de l'Isère supérieure et le bassin très ramifié du Doron de Bozel. Au voisinage de sa surface, sous une épaisseur réduite, il a travaillé par érosion sélective sur les pédoncules de confluents, notamment sur l'écaille isoclinale d'Hautecour, lardée de quartzites, de calcaires, de schistes, de gypses, de roches cristallines. Plus tard, le glacier moins gros et mieux canalisé, a buriné en contre-bas un verrou de fond d'auge. Il en est résulté un étrange paysage de bosses et d'ombilics, un surgissement de collines cernant des dépressions où se lovent villages et cultures.

### Rapports entre les formes glaciaires et les anciens glaciers

Les formes décrites et classées comme glaciaires sont absentes des massifs qui n'ont pas ou n'ont que peu subi l'action des anciens glaciers. C'est une preuve *a contrario* qui ne manque pas de valeur. Dans les Vosges cristallines, plus élevées que les Vosges gréseuses, on découvre une empreinte glaciaire qu'on chercherait en vain dans ces dernières. La comparaison des cartes oro-hydrographiques à 1 : 50 000 de Gérardmer et de Cirey est à cet égard des plus instructives (22). Le bassin de Remiremont comporte des verrous, des cirques, des vallées suspendues.

Des auges se dessinent dans la vallée de la Meurthe en amont du Rudlin, dans celle de la Vologne entre Retournemer et Longemer. Dans les Vosges gréseuses, au contraire, dans un matériel à vrai dire plus décomposable, les formes glaciaires se réfugient dans la zone des sommets et font défaut partout ailleurs. Le contraste entre la topographie des Vosges gréseuses, «fouillées au canif», et celle des Vosges cristallines, travaillées «au pouce et à l'ébauchoir», apparaît bien comme le trait distinctif d'un développement très inégal des anciens glaciers.

Le cas des Alpes-Maritimes, dans le Sud-Est de la France, est aussi très frappant. Ici les glaciers quaternaires n'ont point envahi toute la montagne comme ils l'ont fait dans les Alpes françaises du Nord. Ils se sont arrêtés à une ligne jalonnée par Vaucluse sur le Verdon, Marie sur la Tinée, Lantosque sur la Vésubie, Saorge sur la Roya. De là des contrastes topographiques entre secteurs englacé et non englacé. Sans doute des gradins de confluence ont été signalés dans la partie non visitée par les glaces, mais une telle forme n'appartient pas, en exclusivité, au modelé glaciaire, et s'observe partout où une fluctuation du niveau de base amène un tronc fluvial à travailler plus vite et plus fort que ses affluents. Quant aux faux verrous, également signalés dans la partie des Alpes du Sud non englacée, celui de la Mescla par exemple, au confluent du Var et de la Tinée, il leur manque et les roches moutonnées et les encoches latérales, de sorte que si le nom de barre leur convient, celui de verrou ne saurait en aucun cas leur être appliqué (9; p. 123).

Il existe une relation d'un autre ordre entre formes glaciaires et anciens glaciers: une certaine proportionnalité entre le calibre des auges et la puissance des appareils qui les ont occupées. Les vallées sont si exactement calibrées que tout accroissement ou tout fléchissement de la capacité érosive de l'agent glaciaire s'est traduit par une modification corrélative des profils longitudinaux et transversaux des auges. Le calibrage en largeur et en profondeur croît normalement d'amont en aval, avec le volume du courant. A chaque gros confluent glaciaire correspond un ombilic. Mais, de même qu'un cours d'eau peut subir des pertes par infiltration souterraine, le glacier peut s'appauvrir dans ses parties élevées, par diffluence. Alors, sous l'appareil anémié, l'auge se rétrécit, son fond s'exhausse, tandis que, grâce au renfort du flot dérivé, un glacier voisin approfondit et élargit son lit. Le jeu des confluences, des diffluences est donc un facteur décisif, et si le modelé se modifie à chacune d'elles, c'est bien qu'en définitive le glacier est un agent d'érosion. L'auge de l'Arc, en Maurienne, n'est pas seulement plus ample que celle de la Haute-Isère, en Tarentaise, parce que son bassin d'alimentation est à la fois plus vaste, plus haut, mieux revêtu de glaces: elle est également fort différente par son calibre, généralement régulier et croissant. Cela provient de la conformation du réseau de l'Arc, composé d'un tronc médiocrement ramifié, fortifié à intervalles réguliers par des affluents beaucoup plus courts et inclinés que la section du cours principal en amont de chacun d'eux. Dans ces conditions, le glacier collecteur croît progressivement, son auge se montre rarement coupée de verrous et de

gradins. A ce type mauriennais ou valaisan, s'oppose le type tarin, également réalisé dans le Haut-Hasli, avec un collecteur ramifié, garni d'affluents disposés en bouquets et de peu inférieurs au tronc principal. De là de brutales confluences glaciaires, de subites dilatations d'auge séparées par des verrous et des gradins.

En Maurienne, l'auge de Bonneval, de dimensions déjà respectables, s'élargit encore en aval de Bessans après les confluents de l'Avérole et du Ribon. Elle se réduit quelque peu et s'aiguise en aval de Lanslebourg parce que, d'une part, le glacier de l'Arc a perdu une partie de son flot par le Mont-Cenis, d'autre part en raison de l'attraction exercée par le berceau déprimé de Termignon. A Termignon, un gradin-verrou, le seul accident notable d'origine glaciaire sur quelque 30 km., coïncide avec un secteur où dominent les gypses affouillables et la confluence du Doron, riche en glaciers. A l'autre bout de la Maurienne, au contraire, le glacier de l'Arc à son maximum s'évadait par-dessus son versant gauche, et le fond de l'auge, moins surcreusé, remontait. De ce fond, en partie détruit par suite de l'encaissement d'une auge plus récente, œuvre d'un appareil moins puissant mais mieux contenu, un témoin subsiste: le beau replat des Hurtières. Le Valais appartient au même type que la Maurienne, et le réalise avec une ampleur digne d'un outil infiniment plus puissant, si l'on en juge par le rapport des glaciers actuels aux surfaces (5,5% en Maurienne, 18% en Valais). A part le verrou transversal de St-Maurice, le verrou oblique et marginal de Sion, aucun grand accident glaciaire n'interrompt la noble ordonnance de l'auge valaisanne jusqu'en amont de Brigue. Mais dans la région de Lax, Ernen et Fiesch, un type à ombilics s'esquisse avant que l'auge majestueuse se déploie à nouveau dans le Conches. C'est que, dans ces parages, convergent les deux puissants glaciers de Fiesch et d'Aletsch dont les bassins comptent à peine moins de surfaces englacées que le bassin du Rhône en amont d'eux. Cette convergence s'opérait en outre dans un espace restreint, le glacier d'Aletsch diffluant par-dessus la crête de Riederalp. De là deux gradins: l'un au débouché du Conches, l'autre entre Lax et Grengiols. Ces gradins ont été lacérés plus tard par les glaces et les eaux issues du Fiescher Tal et du Binnental, ce dernier alimenté par une diffluence du glacier de Conches. Ainsi monte-t-on de 880 m. à Grengiols à 1196–1249 m. à Ernen-Mühlebach, par un talweg éventré par les canyons du Rhône et de la Binna, bossué par le long replat d'Ernen.

### Le modelé glaciaire dans le relief alpin

Les glaciers se sont élevés très haut dans les Alpes. On le constate grâce à l'erratique, aux roches moutonnées, aux cirques. En Maurienne, le burinement de l'auge principale approche de 2700 m. En Valais, les courants glaciaires généraux ont sans doute franchi l'Eggerhorn, par plus de 2500 m., si l'on en croit le modelé de ce sommet entre Binnental et Rappental. A Martigny, le glacier atteignait encore 2100 m. (24). Quant à la glaciation de cirque, elle a tout envahi, les versants et les

crêtes. En fait, la montagne entière a reçu la visite des glaciers et subi leurs atteintes. C'est bien l'impression que laisse le paysage alpin, qu'on le découvre de la langue terminale de la Mer de Glace, par exemple, ou du Grimsel. Partout bâillent les auges, s'étagent les replats, s'arrondissent les épaules moutonnées au-dessous des murs déchiquetés des cirques, émergent des verrous chauves ou boisés. Et l'on a peine à comprendre pourquoi les tenants les plus décidés de l'érosion glaciaire, et tant d'autres après eux, ont voulu retrouver des traces du modelé préglaciaire dans des massifs à ce point labourés et travaillés. Un cas extrême aidera à saisir l'intérêt de la question ainsi posée. Le Cervin érige son obsédante pyramide au-dessus d'un socle aplani qui se poursuit, par delà le glacier de Gorner, au Riffelberg et à Riffelalp. Ces deux formes antithétiques suscitent des hypothèses non moins radicalement opposées. Le Cervin, issu de l'adossement de plusieurs cirques, pour les partisans de l'érosion glaciaire, repose sur un plateau regardé par d'autres comme préglaciaire. Une montagne géante, d'origine glaciaire, peut-elle donc s'élever au-dessus d'un piédestal d'origine fluviatile et miraculeusement conservé ?

Si le Cervin est une cloison résiduelle de cirques (25; p. 237), si les glaciers ont été capables de dégager, dans une crête, un monolithe de cette taille, son piédestal ne saurait être l'œuvre d'un autre agent d'érosion. Mais, précisément, l'origine glaciaire du Cervin n'est pas évidente. Splendidement isolé, vu du côté suisse, il l'est beaucoup moins contemplé du Breuil, sur le versant italien. Dans le Valtournanche, il apparaît flanqué vers l'ouest de cimes altières, Testa del Leone, Dent-d'Hérens (4171 m. contre 4476 m. au Cervin), et plus au sud de cette dernière, par les Grandes Murailles. Une érosion par cirques adossés, ouvrant le col de Tournanche (3484 m.) entre le Cervin et la Dent-d'Hérens, est concevable à la rigueur en ce point; elle l'est moins à l'est du Cervin. De ce côté règne en effet une longue épaule dont l'altitude atteint péniblement 3500 m. à la Testa Grigia et au Theodulhorn. Pour retrouver un 4000 mètres, il faut pousser jusqu'au Breithorn. Un créneau de cette taille, la destruction de 8 km. de paroi sur une hauteur d'un millier de mètres, cela dépasse sans doute les moyens de l'érosion glaciaire. L'isolement du Cervin sur son flanc oriental paraît, en fait, antérieur à l'époque glaciaire. Deux nappes se soudent ici, celle de la Dent-Blanche dont le Cervin fait partie, celle du Mont-Rose à laquelle appartient le Breithorn. Entre les deux s'intercale une enveloppe de terrains plus tendres que les gneiss, ou du moins plus hétérogènes, donc plus vulnérables, schistes lustrés et micacés, plus ou moins armés de serpentines, d'amphibolites. Dans ce bâti, l'érosion préglaciaire avait dû travailler déjà avec vigueur.

Mais alors, faut-il admettre l'âge pliocène de la surface du Gornergrat et penser que le glacier protège le relief, qu'il le «ménage» mais ne l'«aménage» pas ? Les coupes géologiques (26) prouvent que toute cette zone déprimée est modelée en surface structurale, c'est-à-dire qu'elle est grossièrement accordée au pendage général des nappes vers le N.-N.-O.

En outre, une surface d'érosion fluviatile ne dévalerait pas ainsi de 3000 à 2200 m., à moins d'admettre sa déformation par un gauchissement quaternaire. Enfin, ce qui frappe l'observateur le moins averti, c'est que cette prétendue surface est le royaume des roches moutonnées et des ombilics. On a ainsi le sentiment d'un vaste *Boden* aménagé par des glaciers de cirque rayonnants, dans lequel les glaciers actuels se sont encaissés. Dans ces conditions on ne voit guère ce qui pourrait subsister d'une surface préglaciaire, sinon un emplacement.

L'érosion glaciaire, dans l'état actuel de la science, relève pour une large part de l'hypothèse. Mais cette hypothèse, la morphologie alpine la postule avec insistance. C'est l'érosion glaciaire qui rend compte de la façon la plus harmonieuse, la plus claire et la plus simple, du relief des Alpes, c'est elle qui s'accorde le mieux avec ce que l'on connaît des formes topographiques mineures observables dans les laisses des glaciers actuels. On ne saurait toutefois attribuer aux glaciers, si grands qu'ils aient été, la paternité des lignes directrices du relief, du tracé des vallées, de certaines cimes de premier rang. Cette réserve faite, il reste que les formes glaciaires revêtent à la façon d'un épiderme, de la tête aux pieds, la quasi-totalité de la grande chaîne européenne, que modelé glaciaire et relief alpin sont deux termes synonymes, ne sont qu'une seule et même notion.

**Ouvrages cités**


(1) Onde H. Observations glaciologiques en Suisse et en Savoie il y a un siècle. Revue de Géographie alpine, Grenoble, 1948; p. 399–409.

(2) de Charpentier J. Essai sur les glaciers et sur le terrain erratique du bassin du Rhône. Lausanne, 1841.

(3) Agassiz L. Etudes sur les glaciers. Neuchâtel, 1840.

(4) Penck A., Brückner Ed. et du Pasquier L. Le système glaciaire des Alpes. Bull. Soc. Sc. Nat. Neuchâtel, XXII, 1894.

(5) Brunhes J. et Gobet L. L'excursion glaciaire du IXe Congrès géologique international; La Géographie, Paris, 1903; p. 357–376.

(6) Forel L.-A. Etudes glaciaires. Archives des Sc. phys. et nat., Genève; XXX, 1910, p. 229–254.
Sölch J. Fluß- und Eiswerk in den Alpen zwischen Oetztal und St. Gotthard. Petermanns Mitt. Ergänzungshefte Nrn. 219 u. 220, 1935.

(7) Penck A. et Brückner E. Die Alpen im Eiszeitalter. Leipzig, 1901–1909.

(8) Brunhes J. Le problème de l'érosion et du surcreusement glaciaires. Actes de la Soc. helvétique Sc. Nat., 90e session, Fribourg, 1907; I, p. 155–175.

(9) de Martonne Emm. Quelques données nouvelles sur la jeunesse du relief préglaciaire dans les Alpes. Rec. Trav. offerts à J. Cvijic, Belgrade, 1924.

(10) de Martonne Emm. L'érosion glaciaire et la formation des vallées alpines. Annales de Géographie, Paris, XIX, 1910 et XX, 1911.

(11) Koechelin R. Les glaciers et leur mécanisme, Lausanne, 1944.

(12) Waeber M. Observations faites au glacier de Tré-la-Tête à l'occasion de l'aménagement d'une prise d'eau sous-glaciaire. Rev. de Géographie alpine, Grenoble, 1943; p. 319–343.

(13) Haefeli R. Entwicklung und Probleme der Schnee- und Gletscherkunde in der Schweiz. Experientia, Basel; II, Nr. 1, 1946, p. 1–7.

(14) Udeschini P. Moto plastico-viscoso dei ghiacciai. Boll. del Comitato glaciologico italiano, Torino, no 25, 1948; p. 25–46.

(15) Carol H. Beschreibung einer Gruppe von Gletscherranklüften am Obern Grindelwaldgletscher. Mitt. Geographisch-Etnographisch Ges. Zürich, 1943/1945
id. Beobachtungen zur Entstehung der Rundhöcker. «Les Alpes», 1943, 6.
(16) Onde H. La Maurienne et la Tarentaise. Etude de Géographie physique. Grenoble, 1938.
(17) Beck P. Eine Karte der letzten Vergletscherung der Schweizer Alpen. Mitt. Nat. Ges. Thun, Bern, 1926.
(18) Visser Ph. C. Gletscherüberschiebungen im Nubra- und Schyockgebiet des Karakorum. Zeitschr. für Gletscherkunde, 1932 (März).
(19) Bénévent E. Sur les encoches du verrou glaciaire. C. r. Académie des Sciences, Paris; t. 158, 1914; p. 743–744.
(20) Mariétan I. Un cas d'épigénie au glacier de Corbassière dans la vallée de Bagnes (Valais). Bull. Soc. Vaudoise Sc. Nat., Lausanne, 1923; p. 91–94.
(21) Lugeon M. Sur la fréquence dans les Alpes de gorges épigénétiques et sur l'existence de barres calcaires de quelques vallées suisses. Bull. Soc. Vaud. Sc. Nat., Lausanne, 1901.
(22) Géographie lorraine, publiée par la Soc. lorraine des Etudes locales dans l'Enseignement public. Nancy, Berger-Levrault 1937.
(23) Blanchard R. Les Alpes Occidentales. V: les Grandes Alpes françaises du Sud. Grenoble et Paris, 1949.
(24) Favre Alph. Texte explicatif de la carte du phénomène erratique... Matériaux Carte géol. Suisse, XXVIII, 1898.
(25) Hobbs W.-H. Les glaciers de montagnes et les formes de terrain correspondantes. Trad. A. Allix. Rev. de Géographie alpine, Grenoble, X, 1922.
(26) Güller A. Zur Geologie der südlichen Mischabel- und der Monte Rosa-Gruppe. Eclogae Geol. Helvetiae, vol. 40, 1947.

# Fünfzig Jahre Vererbungsforschung

Von

Ernst Hadorn (Zürich)[1]

Nur selten kann für ein großes Wissenschaftsgebiet ein Geburtsdatum angegeben werden. In der Regel entwickelt sich ein Lehrgebäude aus zahlreichen Ansätzen allmählich. In der Geschichte der Genetik kommt nun aber dem Jahre 1900 eine so ungewöhnlich große Bedeutung zu, daß wir heute ein eigentliches Jubiläum begehen können. Drei Botaniker: C. Correns, H. de Vries und E. Tschermak berichteten über die Wiederentdeckung der Mendelschen Gesetze. Sie haben damit das Aufblühen einer Wissenschaft eingeleitet, die seither mit größter Intensität und ständig wachsender Ausbreitung wohl die grundlegendsten Erkenntnisse in der Lebensforschung unseres Jahrhunderts förderte. Ihre Experimente bestätigten Gesetzmäßigkeiten, die Gregor Mendel schon im Jahre 1866 festgestellt und mit genialer Klarheit gedeutet hatte. Wir wollen den Ursachen, die dazu führen mußten, daß Mendels Arbeit bis 1900 unbeachtet und vergessen blieb, nicht im einzelnen nachgehen. Offenbar war jene Zeit noch nicht reif für die besondere Art analytischen Denkens, wie sie Mendel in der Lösung der Vererbungsprobleme anwandte, und außerdem spielte wohl auch der Umstand eine Rolle, daß Mendel bei Untersuchungen an einem anderen Objekt, an Habichtskräutern, die an Erbsen erhobenen Befunde nicht bestätigen konnte, weil – wie erst später bekannt wurde – diese Pflanzen sich nicht normal geschlechtlich fortpflanzen.

Aus den Ergebnissen der Erbsenkreuzungen Mendels ging hervor, daß das Erbgut partikulär organisiert ist, also aus diskreten Elementen besteht und daß einfache Erbmerkmale, wie Unterschiede in Farben und Formen von Samen und Früchten, durch Faktorenpaare bestimmt werden, die aus je einem Erbelement mütterlicher und väterlicher Herkunft bestehen. Dabei kann der eine Erbfaktor über die Wirkung des andern dominieren. Mendel bewies sodann, daß im Bastardorganismus die Erbfaktoren selbst rein bleiben und als unveränderte Einheiten für die Bildung jeder neuen Generation ausgesondert und neu kombiniert werden. Mendel fand schließlich durch Auszählen der in den Bastard-Nachkommenschaften mit verschiedener Häufigkeit auftretenden Form-

[1] Auszugweise Wiedergabe eines Vortrages, gehalten an der Jahresversammlung 1950 der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft in Davos. Da zahlreiche zusammenfassende und dokumentierte Darstellungen der Vererbungslehre zur Verfügung stehen, wird hier auf Literaturhinweise verzichtet.

und Farbtypen jene fundamentalen Spaltungsgesetze, die uns die Wahrscheinlichkeit für die Frequenz der in jeder Generation zu erwartenden Genotypen angeben.

Wenn im folgenden aufgezeigt wird, wie sich die von MENDEL begründete Genetik in unserem Jahrhundert entwickeln konnte, so möchten wir auf jede Vollständigkeit verzichten. Wir müssen zudem stark schematisierend vorgehen und können die Vorgeschichte mancher Probleme nicht berücksichtigen. Außerdem werden aus der ständig wachsenden Zahl, der um die Förderung der Genetik verdienten Forscher, unter denen in unserem Lande vor allem A. LANG und A. ERNST hervortraten, nur wenige genannt. Wir wollen die zu betrachtende Zeitspanne recht willkürlich aufteilen und nachweisen, wie jedes der fünf Jahrzehnte grundlegende Entdeckungen brachte und zu Erweiterungen des Geltungsbereiches genetischer Forschung führte.

*Im ersten Jahrzehnt* wurde zunächst MENDELS Versuchsanordnung bei zahlreichen Organismen angewandt und dabei bewiesen, daß die «Erbsen-Gesetze» *allgemeinste Gültigkeit* haben. Derselbe Grund-Mechanismus regelt die Verteilung und Kombination der Erbfaktoren bei Pflanze, Tier und Mensch.

Die zweite entscheidende Leistung führte zu der Einsicht, daß zwischen dem Erbgang der abstrakten Faktoren der mendelistischen Genetik und dem Verhalten der sichtbaren Bauelemente der Zellkerne, eine bedeutungsvolle Beziehung besteht. TH. BOVERI vor allem wies im Jahre 1902 darauf hin, daß Chromosomen bei der Keimzellreifung genau so ausgesondert und bei der Befruchtung ebenso kombiniert werden, wie dies für die Einheiten des Erbgutes postuliert werden müßte. Die Chromosomen selbst «mendeln», und sobald wir die Gen-Symbole ihnen zuordnen, ergibt sich das erklärende Schema zu den Ergebnissen der Kreuzungsexperimente. Obschon damit klar wurde, daß sich Erbfaktoren bis in alle Einzelheiten so verhalten, als ob sie fest in den Chromosomen verankert wären, konnte der schlüssige Beweis für diese Zuordnung erst später erbracht werden.

Die dritte Erkenntnis führte zur Aufdeckung des *Geschlechtsbestimmungs-Mechanismus*. C. CORRENS zeigte 1906 am Beispiel der Zaunrübe *(Bryonia)*, daß die Geschlechtsunterschiede nach einem einfachen MENDEL-Schema vererbt werden. Das in jeder Generation auftretende 1:1-Verhältnis von Weibchen zu Männchen kommt dadurch zustande, daß ein Geschlecht reinerbig (homozygot), das andere gemischterbig (heterozygot) für geschlechtsbestimmende Faktoren ist. Da kurz vorher C. E. MCCLUNG (1902) und E. B. WILSON (1905) entdeckt hatten, daß bei vielen Tieren die beiden Geschlechter sich so unterscheiden, daß das eine Geschlecht für ein besonderes Chromosomenpaar «homozygot», das andere «heterozygot» ist, war nun auch für das Spezialgebiet der Geschlechtsvererbung die Brücke zwischen Faktorenarithmetik und Zellsubstrat geschlagen.

Schließlich führten Untersuchungen des dänischen Botanikers W. JOHANNSEN (1903–1909), dem wir übrigens auch den Terminus «Gen»

verdanken, zur Klärung grundlegender Begriffe. Wird ein Gemenge von Bohnensamen biometrisch erfaßt, dann können die Frequenzen der verschiedenen Größenklassen mit einer GAUSSschen Normalverteilung übereinstimmen. Werden sodann Folgegenerationen je aus Minus- respektive Plusvarianten gezogen, so führt ein solches *Selektionsverfahren* nur dann zum Erfolg, wenn verschiedene Erbtypen im Ausgangsmaterial vertreten sind. Geht man dagegen von einem reinerbigen Einzelsamen aus, so zeigt die Nachkommenschaft allerdings wiederum eine Normalverteilung, von extrem-klein bis extrem-groß. Nun aber bleibt jeder Selektionserfolg aus. Wir operieren innerhalb einer «reinen Linie», d. h. die Population besteht aus identischen *Genotypen*. Was hier an Größenvarianten auftritt, sind lediglich umweltbedingte *Phänotypen*. Ihre *erworbenen Eigenschaften* aber vererben sich nicht. JOHANNSENS Feststellungen bilden die Grundlage nicht nur für jede züchterische Maßnahme, sondern wurden auch wegweisend für den Ausbau einer modernen Evolutionslehre.

Mit dem zweiten Jahrzehnt tritt die Fruchtfliege *Drosophila melanogaster* in die Geschichte der Erbforschung ein. Das unscheinbare Insekt, das in seiner Wildform überall verbreitet ist, wo Früchte gären, hat zur Entwicklung der theoretischen Genetik mehr beigetragen als irgendein anderes Lebewesen. Noch heute nach 40 Jahren sind über 100 Institute in der *Drosophila*-Forschung tätig und an die 500 Genetiker arbeiten mit Fruchtfliegen. Es wurden von dieser Art im Laufe der Jahre gegen 800 verschiedene Rassen (Mutanten) bekannt und in ihrem Erbverhalten studiert.

Ums Jahr 1910 konnte der Professor für Experimentalzoologie an der Columbia University, THOMAS HUNT MORGAN, die ersten Mutanten der Drosophila untersuchen. Da bei dieser Fliege alle 14 Tage eine neue Generation entsteht und ein Elternpaar einige hundert Nachkommen liefert, standen bald zahlreiche neue Erbtypen zur Verfügung, und es wurde möglich, den Erbgang verschiedenster Merkmale der Form und Farbe zu studieren. MORGAN hatte das Glück, drei ungewöhnlich begabte junge Männer: A. H. STURTEVANT, C. B. BRIDGES und H. J. MULLER als engste Mitarbeiter zu finden. Damit beherbergte das New-Yorker Institut eine Gruppe von Forschern, die als hervorragende Experimentatoren, klare Theoretiker und unermüdliche Arbeiter in rund 10 Jahren die klassischen Fundamente zur modernen Genetik legten.

Wir haben bereits ausgeführt, daß sich MENDEL-Gene so benehmen, als ob sie in den Chromosomen der Zellkerne gelagert wären. Da man andererseits fand, daß die Zahl der Erbfaktoren weit höher als die Zahl der Chromosomenindividuen ist, mußte angenommen werden, daß die Gene paketweise, in größeren Gruppen vereinigt im Chromosomensubstrat verankert sind. Nun muß wohl die Beziehung im Erbgang zwischen zwei gegebenen Genen verschieden sein, je nachdem die beiden Faktoren je verschiedenen oder je gleichen «Paketen» angehören. Im ersten Falle werden sie frei kombinierend mendeln, im zweiten Falle sollten sie gegenseitig fester gebunden sein.

Tatsächlich hatte der Engländer W. BATESON schon 1906 gefunden,

daß bestimmte Erbmerkmale der Platterbse *Lathyrus* nicht den Regeln der freien MENDEL-Kombination folgen, sondern in einem zunächst völlig unverständlichen Ausmaße aneinander gekoppelt sind. MORGANS Kreuzungsanalyse zeigte dann für zahlreiche Gene der Drosophila, daß sie gegenseitig teils frei kombinierbar sind, teils aber mehr oder weniger stark gekoppelt übertragen werden. Die Gesamtheit der geprüften Erbfaktoren ließ sich sodann auf vier *Koppelungsgruppen* verteilen. Da sich nun die Zellkerne von *Drosophila melanogaster* aus vier Chromosomenpaaren aufbauen, war damit eine weitere entscheidende Übereinstimmung zwischen einem Befund der Faktorenanalyse und der Zellmorphologie hergestellt. Übereinstimmungen zwischen der unterschiedlichen Faktorenzahl der Koppelungsgruppen und der verschiedenen mikroskopischen Größe der Chromosomen, sowie das besondere Verhalten der einen, «geschlechtsgekoppelten» Gruppe, ermöglichten einen weiteren Schritt: die Zuordnung bestimmter Gengruppen zu bestimmten Chromosomenindividuen. Solche Parallelismen mochten noch so überzeugend sein, eine direkte Beweisführung erst konnte die Chromosomentheorie der Faktorenkoppelung zum Range einer unbestrittenen Wahrheitsaussage erheben. Dies gelang C. B. BRIDGES (1914). Ein bestimmtes Erbmerkmal, weiße bzw. rote Augenfarbe, trat gelegentlich bei Tieren auf, die nach den MENDELschen Regeln niemals so hätten aussehen dürfen. BRIDGES konnte und mußte auf Grund der bisherigen Erkenntnisse fordern, daß bei den betreffenden Ausnahmetieren ein Chromosom zu viel bzw. zu wenig vorhanden sei. Er untersuchte Kernteilungsstadien und fand die vorausgesagte Abnormität im mikroskopischen Bild. Solche und ähnliche Verifikationen wurden seither in zahlreichen Fällen möglich. Immer dann, wenn ein Erbmerkmal die Regeln nicht befolgt, konnten Chromosomen oder Chromosomenstücke auf absonderlichen Wegen ertappt werden.

Gekoppelte Gene sind nicht dauernd aneinander gebunden; bei der Bildung der Keimzellen können sie sich trennen. MORGANS Arbeitsgruppe fand nun, daß die prozentuale Häufigkeit, mit der die Koppelung durchbrochen wird, für je ein gegebenes Genpaar eine charakteristische Zahlengröße darstellt. Dieser «Rekombinationswert» kann klein sein, nur wenige Prozente betragen und damit eine enge Koppelung anzeigen, oder gegen 50% ansteigen und mit einer solch lockeren Koppelung sich den Verhältnissen bei freier Kombination nähern. Was bedeuten diese Zahlenwerte? Nach der genialen Konzeption, die A. H. STURTEVANT im Jahre 1913 entwickelte, sollen die verschieden großen Rekombinationswerte die Maßzahlen darstellen, die den linearen Abstand der Gene im Chromosomenfaden angeben. Diese Theorie setzt voraus, daß die Gene materielle Teilchen sind, von denen jedes seinen festen Platz (Locus) im Chromosom besetzt. Sie verlangt von den Chromosomen, daß sie während der Keimzellreifung, wenn sich entsprechende väterliche und mütterliche Individuen paaren, sich überkreuzen und an den «Crossing-over»-Stellen durchbrechen und hier Teilstücke austauschen. Je größer der lineare Abstand zweier Gene, um so größer ist die Wahrscheinlichkeit, daß ein Bruch zwischen die beiden Genloci fällt und damit ihre Koppe-

lung löst. Aus dieser Theorie ergibt sich schließlich folgendes Postulat: Kennt man die beiden Austauschwerte eines Gens *a* zu einem Gen *b* und zu einem Gen *c*, so muß der dritte Austauschwert *bc* gleich der Summe *ab* + *ac*, oder der Differenz *ab* — *ac* sein. Wir können heute kaum ermessen, mit welcher Spannung man die ersten derartigen Verifikationen verfolgte und mit welch hoher Befriedigung es registriert wurde, als Augenfarben, Borstenzahlen und Flügelformen der Fruchtfliege die *Theorie von der linearen Anordnung der Gene* bestätigten. Gleichzeitig entstand die erste topographische Karte einer Erbsubstanz. Heute besitzen wir gut markierte und ständig sich verbessernde *Genkarten* für zahlreiche Tiere und Pflanzen. Selbst menschliche Erbfaktoren konnten kartiert werden, zunächst allerdings nur jene Gene, die der Koppelungsgruppe des X-Chromosoms angehören.

Aber bleiben denn nicht solche Genkarten lediglich graphische Darstellungen von Zahlenwerten, die Kreuzungsexperimente und Stammbäume liefern? Sind sie überdies auch wirkliche Abbildungen der räumlichen Architektonik der Erbsubstanz? Wiederum war es nötig, die Beziehung zwischen der Faktorenarithmetik und der Chromosomenmaterie aufzuzeigen. Tatsächlich bilden die Chromosomen während der Reifeteilungen die von der Theorie geforderten Überkreuzungsstellen. Dieses cytologische Phänomen (Chiasmatypie) kannte MORGAN, als es darum ging, den Austausch gekoppelter Faktoren zu deuten. Es dauerte aber bis zum Jahre 1924, bevor C. STERN an *Drosophila* und B. MCCLINTOCK an Mais beweisen konnten, daß ein Austausch von Erbfaktoren auf einem mikroskopisch nachweisbaren *Chromosomenstückaustausch* beruht. Damit kam die Lehre von der linearen Anordnung der chromosomalen Gene zu einem ersten glänzenden Abschluß.

Das dritte Jahrzehnt der Erbforschung führte aber nicht nur zu einem breiten Ausbau der MORGANschen Lokalisationslehre, sondern brachte eine Entdeckung, die ein neues Arbeitsgebiet eröffnete. Im Jahre 1927 berichtete H. J. MULLER am Internationalen Genetikerkongreß in Berlin, daß es ihm gelungen sei, *durch Röntgenstrahlen Änderungen von Erbfaktoren*, d. h. *Mutationen* in großer Zahl und mit voraussagbarer Häufigkeit zu erzeugen. Ein Grundvorgang der organischen Evolution, die Entstehung neuer Erbtypen, wurde damit der experimentellen Analyse erschlossen. Vor MULLER hatten zwar zahlreiche Genetiker und Züchter versucht, durch Außeneinwirkungen – wie Strahlen, Temperaturschocks und Chemikalien – die Erbsubstanz zu ändern. Die Erfolge blieben aber unsicher und umstritten. MULLERS überraschender Fortschritt wurde vor allem möglich, weil er eine Nachweismethodik entwickelt hatte, die erlaubt, auftretende Genänderungen annähernd vollständig zu erfassen. Er konnte auch gleich zeigen, daß die Mutationsereignisse quantitativ gesetzmäßig sich einstellen, indem die Mutationsrate proportional mit der Strahlendosis ansteigt.

Zahlreiche Experimentatoren wandten sich jetzt *strahlengenetischen Untersuchungen* zu. Dabei wurde vor allem der heute in Rußland verschollene N. W. TIMOFEEFF-RESSOVSKY führend. Beziehungen zwischen

Strahlendosis, Wellenlänge, Ionisationsdichte und Mutationsrate gaben Aufschlüsse über die Größe der strahlenempfindlichen Genbereiche und über die Zahl der Gene eines Organismus. Es ließen sich dabei die Prinzipien der allgemeinen *Treffertheorie* auf den Mutationsvorgang anwenden, und so führte die biophysikalische Analyse zur modernen *Gentheorie*.

Außer ihren theoretischen Einsichten brachte die Strahlengenetik bedeutsame praktische Erkenntnisse. Erstmals konnten die erbbiologischen Folgen jener Bestrahlungen beurteilt werden, die in der medizinischen Therapie und Diagnostik zur Anwendung kommen. Da die neu-mutierten Genzustände in der überwiegenden Mehrheit zu ausgesprochenen Verschlechterungen, zu Mißbildungen und todbringenden Entwicklungsstörungen führen, muß für einen ausreichenden Schutz der Keimzellen, für eine eigentliche *Mutationsprophylaxis* gesorgt werden. So ist die biologische Wissenschaft, dank der Pionierarbeit der Strahlengenetiker, auf jene Gefahren vorbereitet, die uns das Atomzeitalter bringen kann.

Wenden wir uns nun den beiden letzten Jahrzehnten zu. Das Jahr 1933 überraschte mit einer völlig unerwarteten Entdeckung. E. Heitz und H. Bauer in Deutschland, sowie T. S. Painter in Amerika fanden, daß die Kerne der Speicheldrüsenzellen bei Fliegen und Mücken riesenhaft vergrößerte Chromosomen enthalten. Anstelle der winzigen, homogen erscheinenden Stäbchen, Schleifen und Kügelchen, mit denen man sich bisher abmühen mußte, standen jetzt lange Zylinder von ansehnlichem Durchmesser zur Verfügung, die ein wunderbar differenziertes und *artspezifisches Bandenspektrum* zeigen. Damit war auf einen Schlag ein der Genkarte adäquates Substrat gefunden, und es wurde möglich, die Genorte je bestimmten Bändern zuzuordnen und Aussagen über die Intimstruktur der Erbsubstanz zu verifizieren, die von den Genetikern der Morganschen Schule viele Jahre zuvor gemacht worden waren. So hatte A. H. Sturtevant u. a. für eine Drosophilarasse mit bandförmigen Augen angenommen, daß hier ein winziger Chromosomensektor verdoppelt sein müsse. Das Speicheldrüsenbild zeigte nun genau an der vorausgesagten Stelle eine Duplikation weniger Bänder. In anderen Fällen hatte man Inversionen innerhalb des Chromosomenfadens oder kleinste Stückausfälle postuliert; alles dies konnte jetzt «gesehen» werden. Die Art und Weise, wie die räumliche Ordnung des Gengefüges ohne sichtbare mikroskopische Stütze, rein indirekt und rechnerisch erschlossen wurde und wie dann später das augenfällige Substrat jede vorausgesagte Einzelheit bestätigte, dies wird als eine ungewöhnlich glänzende Leistung wissenschaftlicher Forschung in die Geschichte eingehen.

Zellforschung und Faktorenanalyse sind seit den dreißiger Jahren im Fache der *Cytogenetik* endgültig vereinigt. Wir haben nun zweier weiterer Teilgebiete der Erbforschung zu gedenken, deren Problematik zwar einzelnen Forschern stets gegenwärtig war, die aber doch erst in den beiden letzten Jahrzehnten die entscheidendste Förderung erfuhren. Es sind dies die Querverbindungen der Genetik zur Entwicklungsphysiologie und zur Evolutionslehre.

Die *physiologische Genetik* untersucht die Frage, wie bestimmte Erbfaktoren die ihnen zugeordneten Merkmale bewirken. Solchen Bemühungen stehen aber drei große Schwierigkeiten entgegen. Erstens kennen wir wohl sehr genau den Ort eines Gens im Chromosom und können annähernd seine Größe abschätzen; aber wir wissen nichts über die chemische Natur, die seine Spezifität ausmacht. Es steht zwar fest, daß die Gene Nukleoproteinmoleküle sind; aber wie sich ein bestimmter Erbfaktor *a* von einem Gen *b* unterscheidet, ist unbekannt. Wir kennen somit lediglich Eigenschaften des «allgemeinen Gens». Zweitens spielen sich die Wirkungen, die vom Gen zum Merkmal führen, im intimen Mikroraum einzelner lebender Zellen ab, und es ist nur ausnahmsweise möglich, eine analytische Apparatur zwischen Gen und Merkmal aufzubauen. Drittens kann die merkmalbildende Aktion eines Einzelgens durch die Mitwirkung von hunderten oder tausenden anderer in der gleichen Zelle lokalisierter Gene und von zahlreichen nichtgenischen Faktoren des Organismus und der Umwelt mitbeeinflußt werden.

Trotz dieser Schwierigkeiten konnte man tiefere Einsichten in die Wirkungsweise der Erbfaktoren gewinnen. Grundlegend wurde die Erkenntnis, daß nicht fertige Merkmale, sondern mehr oder weniger begrenzte *Reaktionsmöglichkeiten* vererbt werden und daß sich damit für jede Entwicklungs- und Lebensleistung das *Erbe-Umwelt-Problem* als Spezialaufgabe stellt. Es gibt Erbfaktoren, die sich relativ starr und umweltstabil durchsetzen; die Wirkungen anderer Gene reagieren äußerst labil auf Umwelteinflüsse. Es wurde ferner an zahlreichen Beispielen gezeigt, wie die Manifestation eines bestimmten Erbfaktors durch die Mitwirkung der Gesamtheit der übrigen Gene, d. h. durch das sogenannte *genotypische Milieu* und durch nicht-genische, cytoplasmatische Zellkomponenten beeinflußt werden kann.

Man erkannte und wies nach, daß ein Gen in der Regel nicht nur ein Mendel-Merkmal bedingt, sondern im ganzen Körper in zahlreichen Zellsystemen tätig ist und so *komplexe Erbsyndrome* entstehen läßt (Pleiotropie). Andererseits weiß man heute, wie auch einfachste Merkmale, wie Farb- oder Formelemente unter dem Einfluß zahlreicher Chromosomenorte zustandekommen. Durch das Studium von mendelnden *Letalfaktoren*, die zum Absterben von Embryonen, Larven, Keimpflanzen und Jungtieren führen, lernte man sodann eine Kategorie von fundamental wirkenden Erbfaktoren kennen, und damit wurde erstmals eine eigentliche *Erbpathologie der Entwicklung* und gleichzeitig eine genetisch begründete Mißbildungslehre möglich. Der Ausbau der physiologischen Genetik ist heute noch in vollem Gang. Noch warten zahlreiche Probleme der Lösung, die vor Jahrzehnten schon von genetisch orientierten Entwicklungsphysiologen, wie TH. BOVERY, R. GOLDSCHMIDT, F. BALTZER und A. KÜHN, aufgezeigt wurden.

Doch wenden wir uns nun jenen Fortschritten der Genetik zu, die zu einem vertieften Verständnis der *Evolutionsvorgänge* führten. DARWINS großartige Konzeptionen begeisterten und beherrschten die Biologie in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts. Die exakte Erbfor-

schung führte zunächst zu einer allgemeinen Ernüchterung. Manche allzu kühne Spekulation fiel in sich zusammen, und eine heilsame Skepsis setzte sich durch gegenüber den darwinistischen Prinzipien. So zeigten die erwähnten Versuche von JOHANNSEN, daß die Selektion nur in bestimmten Grenzen wirksam ist, und führende Biologen erkannten, daß jetzt durch unvoreingenommene Laboratoriumsarbeit die Mechanismen der stammesgeschichtlichen Wandlung neu zu überprüfen seien. Zunächst wurde klar, daß man viel zu wenig wußte über die Entstehung neuer Erbtypen. Zwar hatte die von H. DE VRIES um 1900 entwickelte *Mutationslehre* gezeigt, wie durch sprunghafte Änderungen der Erbsubstanz stets neues Rohmaterial für evolutive Vorgänge entsteht. Erstmals konnte nun das von DARWIN postulierte Variieren der Organismen genauer beurteilt werden. Doch dauerte es annähernd drei Jahrzehnte, bevor man über den Mutationsvorgang soweit Informationen gesammelt hatte, daß man es wagen konnte, die in freier Natur vor sich gehende Artbildung erneut zu deuten. Und eigentlich erst in den beiden letzten Jahrzehnten «verließen» zahlreiche Genetiker ihre Laboratorien, um das Studium der *Evolution von Wildpopulationen* in Angriff zu nehmen. Man kannte jetzt die unter natürlichen Bedingungen wirksame Mutationsrate; man wußte, daß «kleine» Mutationen, die meist nur unscheinbare morphologische und physiologische Änderungen bewirken, zur Entstehung neuer Arten führen können. Mathematisch begabte Genetiker wie S. WRIGHT, R. A. FISHER und J. B. S. HALDANE zeigten, mit welcher Geschwindigkeit und unter welchen Bedingungen sich in natürlichen Fortpflanzungsgemeinschaften neue Erbtypen unter dem Drucke der Selektion durchsetzen können. Genetisch orientierte Paläontologen, so vor allem G. G. SIMPSON, deuteten das fossile Urkundenmaterial im Lichte der Experimentalgenetik. E. MAYR, B. RENTSCH und J. HUXLEY befreiten die Systematik aus einem etwas verstaubten Museumsdasein und zeigten, wie sich Arten in dynamischen Untergruppen gliedern und wie sich in verschiedenen geographischen und ökologischen Regionen neue und angepaßte Erbtypen stabilisieren.

Auch an dieser zeitgenössischen Evolutionsforschung ist die *Drosophila* entscheidend beteiligt. Es sind heute von dieser Gattung über 700 gute Spezies bekannt. Davon in der Schweiz rund 30 Arten, darunter auch eine *Drosophila grischuna*, über die an unserer Tagung erstmals berichtet wurde. Da man bei Fliegen die Intimstruktur der Erbsubstanz in den Speicheldrüsenchromosomen studieren und von Art zu Art vergleichen kann, wird es hier möglich, eine Art «beweisende Geometrie» der phylogenetischen Wandlungen aufzubauen.

Die Gesamtheit all dieser Erkenntnisse führte zu einer Neufassung der Evolutionslehre. Sie gründet sich nach wie vor auf darwinistische Prinzipien, auf Mutation und Selektion. Doch sind im *Neo-Darwinismus*, dem heute die Mehrzahl der Genetiker zustimmen, die Begriffe schärfer gefaßt, die Mechanismen durch Laboratoriumsexperimente und Freilandbefunde genauer studiert und die theoretischen Deduktionen begründeter. Wir sind uns dabei klar, daß unsere Kenntnisse allzu bruch-

stückhaft und unsere Theorien kaum hinreichend sind, zur Erklärung der Vorgänge, die zur Entstehung der großartigen Mannigfaltigkeit an Lebewesen führten. Solange uns aber keine anderen verifizierbaren Prinzipien und Mechanismen zur Verfügung stehen und solange mit diesen rein naturwissenschaftlichen Forschungs- und Denkmöglichkeiten fruchtbarste Fortschritte erzielt werden können, möchten wir darauf verzichten, die Evolutionsvorgänge mit Hilfe von vitalistischen, psychistischen oder unter Zuzug von irgend welchen anderen Elementen zu deuten, die sich einer naturwissenschaftlichen Analyse entziehen.

Lassen Sie mich nun noch davon berichten, was unser *letztes Jahrzehnt* für Fortschritte brachte. Es wurde die *mutationsauslösende Wirkung von Chemikalien* entdeckt. Trotz zahlreicher Versuche mit den verschiedensten Stoffen, die bei den verschiedenartigsten Lebewesen verfüttert, injiziert oder sonstwie angewandt wurden, konnte bis zum Jahre 1944 niemand über erfolgreiche Mutationsexperimente mit Chemikalien berichten. Die entscheidende Wendung trat ein, einerseits nachdem man neue Stoffe prüfte, andererseits weil neue Behandlungsmethoden entwickelt wurden.

Ch. Auerbach und J. M. Robson in Edingburgh wiesen nach, daß der Kampfstoff Senfgas (Yperit) die Erbsubstanz ähnlich trifft und zum Mutieren bringt, wie man dies für ionisierende Strahlungen kennt. Dem Zoologischen Institut der Universität Zürich gelang es, durch eine besondere Technik die Chemikalien in direkten Kontakt mit den nackten Keimdrüsen zu bringen und auf diese Weise zahlreiche Mutationen mit Phenollösungen zu bewirken. In den letzten fünf Jahren nun hat das Studium «mutagener» Substanzen einen gewaltigen Aufschwung genommen. Geprüft wurden u. a. auch krebserregende Stoffe. Wie weit allerdings die positiven Ergebnisse die Lehre stützen können, wonach primär ein Mutationsereignis zum bösartigen Geschwulstwachstum führt, läßt sich heute noch nicht beurteilen.

Mit chemischen Mitteln kann man heute wohl Chromosomen brechen und Gene ändern – doch sind die bis jetzt gefundenen Schlüssel zur Erbsubstanz grober und unspezifischer Art. Noch ist es nicht gelungen, sichere Mittel zu finden, die, hoch spezifisch, nur bestimmte Einzelgene angreifen und ändern. Verschiedene Ansätze, die für locusspezifische Wirkungen sprechen, ergeben sich allerdings aus den Phenolversuchen und aus verschiedenen Experimenten an Mikroorganismen. Doch bleibt auch hier die Hauptarbeit noch zu leisten.

Wir haben bereits ausgeführt, daß zur Zeit noch kein Einzel-Gen so bekannt ist, daß man das Wesen seiner chemischen Spezifität angeben könnte. Trotzdem weiß man heute, dank neuester Fortschritte der physiologischen Genetik und ihrer Verbindung mit der Biochemie, von einer ständig wachsenden Zahl von Genen, worin ihre *spezifische biochemische Funktion* besteht und welche Stoffwechselvorgänge sie im Organismus beeinflussen. So besorgt ein Gen, das am Locus 33 im X-Chromosom von *Drosophila melanogaster* sitzt, die Umwandlung der Aminosäure Tryptophan in einen Stoff Kynurenin, der eine Vorstufe zum Aufbau eines

Augenpigmentes darstellt. Zahlreiche weitere Chromosomenstellen greifen überdies mit spezifischen Beiträgen in die Synthese dieser Farbstoffe ein. In jüngster Zeit hat der Amerikaner G. W. BEADLE mit einer großen Zahl von Mitarbeitern den Schimmelpilz *Neurospora* studiert und gezeigt, wie hier verschiedene Stoffwechselvorgänge von spezifischen Genleistungen abhängen. So sind mindestens 4 Gene an der Synthese der Aminosäure Ornithin beteiligt. Die Umwandlung von Ornithin in Citrullin verlangt die Sonderarbeit von mindestens 2 weiteren Genen und schließlich entsteht Arginin nur dann, wenn ein 7. Gen eingreift. Solche Synthesen sind bekanntermaßen enzymatisch gesteuerte Prozesse. Ob die Gene selbst als Enzyme wirken, oder ob unter ihrem Einfluß erst im Cytoplasma die spezifischen Fermente entstehen, darüber ist man sich noch nicht einig. Wichtig aber ist jedenfalls, daß Wirkungen von Einzelgenen biochemisch erfaßt werden konnten und daß damit eine neue, große und für die Zukunft vielversprechende Forschungsrichtung erschlossen ist.

Neue Problemstellungen rufen häufig nach neuen Untersuchungsobjekten. Die Grundlagen unserer Wissenschaft wurden an hochorganisierten Pflanzen und Tieren erarbeitet. Im letzten Jahrzehnt haben sich zahlreiche Genetiker dem *Studium der Mikroorganismen* zugewandt. Dabei hat sich die Erwartung bestätigt, daß die Erbsubstanz einfach organisierter Systeme, die sich auf synthetischen Nährböden leicht züchten und überwachen lassen, einer biochemischen und biophysikalischen Analyse besonders günstige Angriffsmöglichkeiten bieten. Und so gibt es heute eine Genetik der Hefen, der Bakterien und sogar der Viren. In einem unerwarteten Ausmaße zeigte sich nun, daß die Erbsubstanz aller Lebewesen nach übereinstimmenden Prinzipien organisiert ist. Faktorenaustausch und Genkoppelung konnte selbst bei Bakterien nachgewiesen werden, für die man bisher keine Anzeichen von Sexual- und Befruchtungsvorgängen kannte. Von größter theoretischer Bedeutung und grundlegend für den Ausbau der Gentheorie verspricht die *Vererbungsforschung an Viren* zu werden. Die zunächst nur versuchsweise geäußerte Vermutung, daß Viren und Gene wesensverwandte, wenn nicht wesensgleiche Naturkörper sein könnten, scheint sich immer mehr zu bewahrheiten. Viren sind, wie Gene, Nukleoproteinmoleküle von hoher Spezifität. Sie mutieren spontan und unter äußern Eingriffen, wie dies Gene tun. Sie entstehen nur aus ihresgleichen und vermehren sich nur im lebenden Zellsubstrat genau so wie Gene. Kleinste Viren bestehen offenbar nur aus einer genischen Einheit. Da Viren isoliert und kristallisiert werden können, bietet sich vielleicht hier die erste Möglichkeit, die individuelle Sondernatur von Erbeinheiten kennenzulernen. Schließlich ergeben sich aus der Genetik der Mikroorganismen und der Viren neue Gesichtspunkte zur Diskussion der bisher hoffnungslos schwierigen Frage nach der Entstehung des Lebens aus der nichtbelebten Materie.

Wir haben versucht, aufzuzeigen, wie eine Wissenschaft, die mit scheinbar harmlosen Erbsenversuchen eines unbekannten Mönches ihren Anfang nahm, sich in 50 Jahren entfalten konnte. Es war dabei nur die

Rede von der Entwicklung der theoretischen Genetik. Wir alle wissen, wie wichtig der Einfluß der Vererbungsforschung für Pflanzen- und Tierzucht wurde und welche Bedeutung die Genetik auf Medizin, Hygiene und Erziehung gewinnen konnte. Daß eine Wissenschaft, die an fundamentale Eigenschaften des Lebendigen herangeht und damit unser Weltbild mitformt, durch Mißdeutung und Vergewaltigung gefährdet werden kann, ist unvermeidlich. Möge es uns in unserem Lande und mit uns all unseren ausländischen Kollegen, mit denen wir uns verbunden wissen, und die, wie wir, heute noch der freien Forschung leben dürfen, möglich bleiben, das Werk fortzusetzen, einzig geleitet durch ein Gewissen, das sich der wissenschaftlichen Wahrheit und der Humanität gegenüber verpflichtet weiß.

# Symposium
# Die Biologie des Bodens
# Untersuchungen im Schweizerischen Nationalpark

Vorsitz: J. DE BEAUMONT (Lausanne), Präsident der Kommission zur wissenschaftlichen Erforschung des Nationalparks

## Introduction

par **Jacques de Beaumont** (Lausanne)

La Commission d'études scientifiques au Parc national a jugé qu'il serait intéressant, à l'occasion de la 130e assemblée de la S. H. S. N., à Davos, de mettre à l'honneur les recherches entreprises dans notre grande Réserve, en organisant un symposium d'un intérêt général. Nous avons choisi comme thème la biologie du sol, sujet souvent peu connu des zoologistes et des botanistes, et dont l'étude pose une foule de problèmes.

Les recherches dans ce domaine ne peuvent être fructueuses que par l'étroite collaboration entre naturalistes des diverses disciplines. C'est le grand mérite du Dr W. LÜDI (Zurich), alors président de la sous-commission botanique de la C. S. P. N., de l'avoir compris et d'avoir créé, en 1940, la «Bodenbiologische Arbeitsgemeinschaft im Schweizerischen Nationalpark». Ce groupement réunit tous les collaborateurs des recherches au Parc dont les travaux ont trait à la biologie du sol. Ont fait partie, ou font encore partie de cette association: Prof. H. PALLMANN, Dr E. FREI, Dr F. RICHARD (pédologie), Prof. M. DÜGGELI (bactéries), Dr S. BLUMER (champignons), Prof. W. VISCHER (algues), Dr A. STÖCKLI (zoologie), Dr F. HEINIS (microfaune), Prof. T. WIKÉN (bactéries et champignons), Dr H. GISIN (arthropodes), Dr ED. ALTHERR (nématodes).

D'après le programme primitif, le but poursuivi était l'étude de la biologie du sol dans les forêts subalpines, principalement en deux points de la région du Fuorn, dont la végétation avait déjà été étudiée par le Dr BRAUN-BLANQUET et E. CAMPELL, et les sols par le Prof. PALLMANN et ses élèves. Des échantillons prélevés aux diverses saisons de l'année et dans les divers horizons des principales associations végétales devaient permettre aux collaborateurs d'en étudier la faune et la flore, et de noter les variations de celles-ci au cours de l'année. Pour diverses rai-

sons, ce programme n'a pas pu être suivi de façon aussi complète, mais un important travail a déjà été réalisé.

Les collaborateurs se sont réunis trois fois, sous la présidence du Dr Lüdi, le 13 avril 1940, pour mettre sur pied le programme d'études, le 6 février 1944 et le 13 novembre 1949, pour confronter leurs résultats et pour envisager l'avenir des recherches. Lors de la dernière de ces réunions, la discussion a mis en lumière les difficultés rencontrées, mais a montré aussi que les résultats obtenus étaient encourageants et que les travaux devaient être poursuivis, dans certains cas avec des méthodes un peu différentes.

Il est important de relever une fois de plus l'utilité de notre Parc national pour les recherches scientifiques. Des travaux tels que ceux dont il est question ici nécessitent en effet une permanence dans l'état des lieux qui ne peut être garantie que si la région reste à l'abri de toute influence humaine.

## 1. Die Böden des Schweizerischen Nationalparks

von **Roman Bach** (Zürich)

Von den Böden des Schweizerischen Nationalparks liegen verschiedene Untersuchungen vor. Hier sollen nur jene kurz dargestellt werden, die von den Bodenkundlern des Agrikulturchemischen Institutes der Eidgenössischen Technischen Hochschule in Zürich ausgeführt worden sind. Die Forschungen der Botaniker und Zoologen werden in besonderen Referaten behandelt werden.

### Böden der subalpinen Stufe

#### Böden auf Dolomit

*Allgemeines*

Von allen Parkböden sind die Böden auf Dolomit am eingehendsten untersucht worden (man vergleiche die Arbeiten von J. Braun-Blanquet und H. Pallmann, Veröffentlichung in Vorbereitung; H. Pallmann und E. Frei, 1943; E. Frei, 1944, und F. Richard, 1945). Diese Untersuchungen sind durch Arbeiten über jurassische Kalkböden (R. Leuenberger, 1950, und R. Bach, 1950) ergänzt worden.

Der Dolomit verwittert hauptsächlich durch Spaltenfrost und durch Karbonatlösung. Die nichtkarbonatigen Bestandteile werden im Rückstand angereichert. Da die feinsten Karbonatteilchen mit der größten Oberfläche am raschesten gelöst werden, findet man auf Dolomit Bodenprofile, die in der Feinerde mehrere Dezimeter tief kein Karbonat mehr enthalten, während der ganze Boden noch bis zu oberst mit Karbonatskelett durchsetzt ist.

Die Humusbildung in Karbonatböden ist wie folgt zu kennzeichnen: Solange praktisch nur Karbonat mit dem organischen Material vermischt wird, entstehen sogenannte Erdalkalihumate, d. h. Humus-

stoffe mit sehr großem Kationen-Bindevermögen (Kationen-Umtauschkapazität) und hohem Anteil an $Ca^{++}$- und $Mg^{++}$-Ionen in der Umtauschgarnitur. Ist schon beträchtlich Ton im Boden angereichert, so entstehen bei der Vermischung mit organischem Material sogenannte Ton-Humus-Komplexe mit geringerer Umtauschkapazität (z. B. etwa 50 m val/100 g gegenüber 200 m val/100 g bei den Humaten). $Ca^{++}$- und $Mg^{++}$-Ionen dominieren auch in diesem Fall, solange Karbonat in der Feinerde vorhanden ist. Mit fortschreitender Entkarbonatung sinkt der Anteil der basischen Kationen an der Umtauschgarnitur, der Anteil der $H^{+}$-Ionen nimmt zu. Das Verhältnis der basischen Kationen unter sich wird aber günstiger: der relative Anteil von $Na^{+}$ und $K^{+}$ nimmt gegenüber $Mg^{++}$ und $Ca^{++}$ zu. Mit der Streu werden dem Boden die Nährstoffionen alljährlich in günstigerem Verhältnis wieder zugeführt, als sie im Muttergestein vorhanden sind oder bei der verschieden starken Auslaugung zurückbleiben. Bei der Beurteilung des Nährstoffgehaltes eines Bodens darf übrigens nicht bloß auf den Nährstoffgehalt in 100 g Feinerde abgestellt werden, sondern man muß mit dem Nährstoffgehalt des ganzen Wurzelraumes rechnen. Bei großem Nährstoffgehalt der Feinerde kann ein Boden nährstoffarm sein, wenn er zum größten Teil aus Skelett besteht. Anderseits kann geringer Nährstoffgehalt der Feinerde durch große Mächtigkeit des Wurzelraumes ausgeglichen werden. Besonders bei Karbonatböden ist diese Überlegung sehr wichtig. — Bei langsamem Abbau der Streu werden unter Umständen rein organische Auflagehorizonte gebildet. Weil der neutralisierende Dolomit darin fehlt, können diese vollständig versauern. Auch zufällig hineingeratenes Karbonatskelett kann die Versauerung nicht aufhalten, denn die Humussäuren werden auf dem Karbonat niedergeschlagen, bilden mit der Zeit eine geschlossene Humathülle und verhindern so die Karbonatnachlieferung.

Von den Verlagerungsprozessen bei der Bodenbildung ist die Auswaschung bereits erwähnt worden: der gelöste Dolomit wird im Sickerwasser aus dem Profil weggeführt. Dasselbe geschieht mit den Ionen, die aus der Umtauschgarnitur durch $H^{+}$-Ionen verdrängt und nicht von den Pflanzen aufgenommen werden. Der Auswaschung entgegen wirkt die Bodenschichtenmischung durch die Bodentiere, die immer wieder frische Mineralien aus dem Untergrund herauf und organisches Material in größere Bodentiefe bringen. Den Bodentieren ist z. T. auch eine besondere Verlagerungsart zuzuschreiben: die Bildung und Formung des Bodengefüges. Beim Durchgang durch die Därme der Tiere wird das Bodenmaterial innig vermischt und zu Losungen verbunden, die im Boden mehr oder weniger stabil sind. Die Wasser- und Luftführung wird dadurch verbessert. In Karbonatböden ist die Bodenfauna sehr aktiv. Neutrale bis schwach alkalische Reaktion ist dafür wohl eine besonders günstige Voraussetzung. Dazu kommt, daß die Humuskarbonatböden wenig wasserhaltend, gut durchlüftet und deshalb warm sind.

Systematisch gehören die Böden auf Dolomit im Park zu den *Humuskarbonatböden.*

*Genetische Serie von Bodenprofilen*

Die verschiedenen Stadien der Vegetations- und Bodenentwicklung auf Dolomit in der subalpinen Stufe des Nationalparks sind von J. Braun-Blanquet und H. Pallmann (Veröffentlichung in Vorbereitung) untersucht worden.

Dem *Dryasstadium* in der Vegetationsentwicklung entspricht das *Initialstadium der Bodenbildung*. Der rohe Dolomitschutt hat nur ein geringes Wasser- und Nährstoffbindevermögen. Im Wurzelbereich der Pionierpflanzen wird etwas Humus und mineralische Feinerde angehäuft. Der Wasser- und Nährstoffhaushalt wird dadurch so weit verbessert, daß sich anspruchsvollere Pflanzen ansiedeln können.

Im darauffolgenden *Mugeto-Ericetum caricetosum humilis* (Erika-Bergföhren-Wald mit Zwergsegge) (in Südexposition und tieferen Lagen kommt dazwischen noch das Pineto-Caricetum humilis, der Zwergseggen-Waldföhren-Wald) ist der Boden etwas weiter entwickelt. Er weist im wesentlichen aber noch dieselben Merkmale auf: Ton- und Humusgehalt sind noch klein, die Rohböden nehmen immer noch große Flächen des Mosaiks ein. Die Vegetationsdecke ist sehr licht, sie mildert Ein- und Ausstrahlung und Wind- und Regeneinwirkung nur wenig. Das Bodenklima ist durch scharfe Temperaturwechsel und große Temperaturunterschiede sowie durch rasche Austrocknung gekennzeichnet. Geringer Nährstoffgehalt und schwach saure bis alkalische Reaktion sind daneben von zweiter Bedeutung.

Im *Mugeto-Ericetum hylocomietosum* (Erika-Bergföhren-Wald mit Waldmoosen) ist die Vegetationsdecke geschlossen. Der Boden ist ebenfalls über die ganze Fläche ziemlich gleichförmig ausgebildet. Das Profil zeigt eine saure, rein organische Humusauflage auf einem höchstens schwach sauren bis alkalischen Mullhorizont, in dem die mineralische Feinerde mit dem organischen Material innig vermischt und mit Skelett durchsetzt ist. Im Mullhorizont herrscht eine lebhafte Regenwurmtätigkeit, während in den weniger entwickelten, leicht austrocknenden Profilen hauptsächlich Arthropoden zu finden sind. Der Wurzelraum ist einige Dezimeter mächtig, die Nährstoffversorgung für tiefwurzelnde Pflanzen daher sicher ausreichend. Deutlich ist der *p*H-Einfluß sichtbar: neben den tiefwurzelnden calci- und basiphilen Pflanzen findet man azidophile, die ihr Wurzelwerk nur in der sauren Humusauflage entwickelt haben. Die Wasserversorgung im Profil ist günstig. Die Morauflage ist Wasserspeicher und zugleich Verdunstungsschutz für die tieferliegenden Bodenschichten. Anderseits ist das Profil so durchlässig, daß es auch in Nässeperioden ausreichend durchlüftet ist. Der ausgeglichene Wasser- und Lufthaushalt im Verein mit der geschlossenen Vegetationsdecke sichert dem Profil ferner einen gleichmäßigen Wärmeverlauf. Die täglichen und jahreszeitlichen Temperaturschwankungen sind kleiner, die Mitteltemperaturen liegen etwas tiefer als in den weniger entwickelten Profilen. Erosion und oberflächliche Hangbewegung infolge Frostwirkung werden durch die durchgehende filzige Humusauflage verhütet.

Im *Mugeto-Rhodoretum hirsuti* (Steinrosen-Bergföhren-Wald) ist die Morauflage (Mor = basenarmer, saurer Humus) mächtiger, der Mullhorizont ist in Rückbildung begriffen. Regenwürmer finden sich kaum mehr im Profil. Der Wurzelraum wird je länger je mehr auf die Morauflage beschränkt. Diese hat ein sehr großes Wasserspeichervermögen. Der Untergrund ist aber so durchlässig, daß keine Vernässung eintritt. Der Temperaturverlauf in der Morauflage ist sehr ausgeglichen, die Mitteltemperatur ist noch niedriger. Die Kationen-Umtauschkapazität des Mors ist sehr groß, aber nur in der frischen Streu ist der Grad der Sättigung mit basischen Kationen noch einigermaßen bedeutend (um 20%), darunter sinkt er sehr rasch bis unter 5%. Stark saure Reaktion ist eine direkte Folge davon. Alle diese Faktoren sind für die Vegetation wohl in gleicher Weise von Wichtigkeit.

In der Klimaxgesellschaft, dem *Rhodoreto-Vaccinietum cembretosum* (Alpenrosen-Arven-Lärchen-Wald), sind die Bodenverhältnisse im wesentlichen dieselben, nur noch extremer. Der Wurzelraum ist ganz auf die Morauflage beschränkt; der Karbonatuntergrund ist für die Vegetation praktisch nicht mehr von Bedeutung.

*Lokalklimatisch-genetische Serie von Bodenprofilen*

Dieselben Vegetations- und Bodenentwicklungsstadien, wie sie eben beschrieben worden sind, findet man schön beisammen auf dem Plan-Posa-Hügel bei Fuorn. Die Untersuchungen von H. Pallmann und E. Frei (1943) haben den engen Zusammenhang zwischen Vegetation, Boden und Lokalklima bewiesen, so daß man hier auch von einer lokalklimatischen Bodenserie sprechen darf (vgl. Tab. 1).

Bemerkenswert ist, daß die wirksame Mitteltemperatur in 10 cm Bodentiefe im Mugeto-Rhodoretum hirsuti hylocomietosum im Winter unter dem Gefrierpunkt liegt. Die Wärmeleitung im sehr lockeren Profil ist offenbar zu gering, um die vor dem Einschneien stark unterkühlten Bodenschichten nachträglich zu erwärmen. Die Untersuchungen haben ferner ergeben, daß sich die Maximal- und Minimaltemperaturen zur Kennzeichnung des Bodenklimas nur bedingt eignen. Zur Kennzeichnung des Luftklimas sind die Extremtemperaturen von Wert, da die Vegetation darauf mit Welken oder Erfrieren reagieren kann. Die Mächtigkeit und Dauer der Schneebedeckung beeinflussen direkt auch die Böden. Kammeisbildung im Oberboden früh ausapernder Standorte lockert den Boden und macht ihn erosionsbereiter; die Reifung sehr wenig entwickelter Böden kann so fast verunmöglicht werden.

Zu den Resultaten seiner Zellulose- und Eiweißabbauversuche in Böden auf dem Plan-Posa-Hügel bemerkt F. Richard (1945), daß das Zusammenwirken der wichtigen Standortsfaktoren Feuchtigkeit, Wärme, Bodengefüge und Säurereaktion oft zu gegenläufigen Ergebnissen führe, so daß die nähere Deutung noch weiterer Abklärung bedürfe.

Tabelle 1. Vegetation, Boden und Lokalklima auf dem Plan-Posa-Hüge (vgl. H. PALLMANN und E. FREI, 1943)

| Pflanzengesellschaft | Pineto-Caricetum humilis | | | Mugeto-Ericetum caricetosum humilis | | | Mugeto-Ericetum hylocomietosum | | | Mugeto-Rhodoretum hirsuti hylocomietosum | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Kronenschluß der Bäume % | < 30 | | | 40—50 | | | > 50 | | | > 50 | | |
| Deckungsgrad der Kraut-Strauch-Schicht % | < 20 | | | > 50 | | | > 90 | | | > 95 | | |
| Exposition | S | | | SW und SE | | | NW und NE | | | N | | |
| Wirksame Mitteltemperaturen [1] | L | O | B [2] | L | O | B | L | O | B | L | O | B |
| Frühling | 10,5 | 23 | 12,6 | 10,2 | 23,8 | 9,1 | 9,9 | 16,5 | 6,5 | 9,0 | | 6,2 |
| Sommer | 16,7 | 31,3 | 17,4 | 16,5 | 29,2 | 12,2 | 15,1 | 23,4 | 9,7 | 14,6 | 21,6 | 9,7 |
| Herbst | 15,6 | 26,8 | 17,7 | 14,7 | 25 | 12,5 | 13,5 | 17,7 | 10 | | 12,7 | 9,3 |
| Winter | 2,2 | 11 | 3,2 | 0,8 | 9 | 1,3 | –0,6 | –0,3 | 0,8 | –1,6 | –1,1 | –0,8 |
| Boden | initialer subalpiner Wald-HKB [3] | | | flachgründ. subalp. Wald-HKB | | | decken-moriger subalpiner Wald-HKB | | | extrem decken-moriger subalpiner Wald-HKB | | |
| Mächtigkeit der eigentlichen Humushorizonte cm | 5 | | | 10 | | | 17 | | | 28 | | |
| Humus im Profil unter 1 qm Bodenoberfläche kg | 4,7 | | | 16,7 | | | 28,9 | | | 49,7 | | |
| *p*H im Humushorizont | 7,5 | | | 6,8 | | | 5,0—6,0 | | | 4,1—4,8 | | |

Wirksame Mitteltemperatur: aus der Rohrzucker-Inversion berechnet. [2] L = Luft 150 cm über dem Boden, O = Bodenoberfläche, B = Boden in 10 cm Tiefe. [3] HKB = Humuskarbonatboden.

*Vergleich von Wald- und Weideboden*

E. FREI (1944) hat den Boden eines Mugeto-Ericetum caricetosum humilis-Bestandes mit dem eines Trisetetum flavescentis auf der Alp Stavel-Chod verglichen. Einige Ergebnisse seiner Untersuchungen sind in Tabelle 2 zusammengestellt.

Die wichtigsten Unterschiede zwischen dem Wald- und dem Weideboden sind folgende: Auf dem Weideboden wird praktisch kein saurer Rohhumus aufgehäuft. Der Humusgehalt ist im Weideboden geringer, das C/N-Verhältnis im Humus ist bedeutend enger. Die Durchlässigkeit für Wasser ist im Weideboden viel kleiner.

Tabelle 2. Vergleich eines Profils unter Mugeto-Ericetum caricetosum humilis und unter Trisetetum flavescentis (vgl. E. Frei, 1944)

| Horizont | | Wald | | | Weide | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | $A_0$ | $kA_1$ | $kA_2$ | $A_0$ | $kA_1$ | $kA_2$ |
| Mächtigkeit | cm | 1–3 | 20 | 35 | 0–1 | 10–12 | 35 |
| Porenvolumen | % | 68 | | | 73 | | |
| Luftkapazität | % | 19 | | | 15 | | |
| Wasserkapazität | % | 49 | | | 58 | | |
| Hygroskop. Wasser | g/100 g | 13,8 | 6,9 | 0,4 | 6,5 | 3,9 | 0,2 |
| Wasserdurchlässigk. | min/l HOH | 1′20″ | | | 10–36 | | |
| Litergewicht der TS | g | 831 | | | 621 | | |
| Skelettgehalt (IVer Skala) | | | I | II–III | | 0–I | II–III |
| Bodenart | | H. | t. L. | S. | H. | t. L. | t. S. |
| Tongehalt (< 0,002 mm) der Feinerde | Gew.% | — | 5,9 | 1,7 | — | 8,3 | 3,3 |
| Humusgehalt der Feinerde | Gew.% | 90 | 29,1 | 1,2 | 69,9 | 16,1 | 2,2 |
| C/N (atomar) des Humus | | 55,8 | 29,9 | 27,6 | 22,1 | 8,2 | 30,0 |
| Karbonat-$CO_2$ in der TS | Gew.% | — | 23,5 | 44,0 | — | 20,4 | 40,2 |
| Umtauschkapaz. T/100 g | mval | 201,6 | 30,8 | 13,5 | 157,5 | 33,2 | 9,0 |
| Sättigungsgrad | % | 7,4 | 28,5 | 87,4 | 20,9 | 58,4 | 92,3 |
| Na+-Anteil an T | % | 0,2 | 0,4 | 0,7 | 0,3 | 1,0 | 1,4 |
| K+-Anteil an T | % | 1,6 | 3,1 | 2,6 | 6,8 | 10,7 | 8,6 |
| Mg++-Anteil an T | % | 3,6 | 6,5 | 31,8 | 3,8 | 3,9 | 14,4 |
| Ca++-Anteil an T | % | 2,0 | 18,5 | 51,8 | 9,8 | 42,7 | 68,0 |
| *p*H | | 6,3 | 7,8 | 8,1 | 7,1 | 7,6 | 8,0 |
| Pufferung gegen HCl | % | 96 | 100 | 100 | | 100 | 100 |
| Pufferung gegen KOH | % | 51 | 32 | 4 | | 39 | 5 |

**Böden auf Verrucano**

Es liegen Untersuchungen von H. Pallmann (unveröffentlicht), H. Pallmann und E. Frei, 1943, und F. Richard, 1945, vor. Diese werden ergänzt durch die Arbeiten von H. Pallmann und P. Haffter, 1933, und H. Pallmann, A. Hasler und A. Schmuziger, 1938.

Der Verrucano im Park ist ein quarzreiches karbonatfreies Gestein. Er verwittert durch Spaltenfrost und durch Hydrolyse. Die Humusbildung ist auf dem Verrucano dadurch gekennzeichnet, daß die neutralisierenden basischen Kationen weitgehend fehlen. Von Anfang an wird daher Mor gebildet. In den initialen Böden, unter lichter Vegetation, kann dank der hohen Wärmeeinstrahlung die wenige anfallende Streu, die zudem meist ziemlich gemischt ist, innert Jahresfrist abgebaut und durch die Bodentiere mit der mineralischen Feinerde vermischt werden. Unter geschlossener Waldvegetation wird aber alsbald saurer Rohhumus auf dem Profil aufgehäuft. Die Durchwühlung im darunterliegenden Profilteil hört auf, der Humusgehalt schwindet darin allmählich. Die Versauerung schreitet rasch vorwärts, bis zur Zerstörung der Silikatgerüste. Unter dem Einfluß der Humusstoffe, die aus der Morauflage

durch das Profil perkolieren, werden die Sesquioxyde – Eisen und Aluminium – in die Tiefe verlagert. Es entsteht unmittelbar unter der Morauflage ein völlig ausgelaugter Bleicherdehorizont, der fast nur noch aus Quarzsand besteht, und darunter ein rostfarbiger, etwas verfestigter Sesquioxydanreicherungshorizont. Der Wurzelraum ist in einem solchen *Podsol*-Profil auf die Morauflage beschränkt. Diese unterscheidet sich nicht wesentlich von der Morauflage auf einem Dolomitboden, wie aus dem Vergleich der Analysen eines Profils des Mugeto-Rhodoretum hirsuti und des Rhodoreto-Vaccinietum cembretosum hervorgeht (Tab. 3, vgl. H. PALLMANN, unveröffentlicht, und F. RICHARD, 1945).

Tabelle 3. Vergleich der Analysen eines extrem deckenmorigen subalpinen Wald-Humuskarbonatbodens auf Dolomit und eines vollentwickelten Podsols auf Verrucano (vergl. H. PALLMANN, unveröffentlicht, und F. RICHARD, 1945)

| Horizonte | Humuskarbonatboden | | | | Podsol | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $A_0/A_1$ | $A_1$ | $kA_2$ | kAC | $A_0$ | $A_1$ | $A_2$ | $B_S$ |
| *p*H (Juli) ..... | 4,8 | 4,1 | 7,2 | 7,5 | 4,5 | 3,7 | 4,5 | 5,0 |
| Gesamthumus .. % | 80,7 | 60,8 | 10,8 | 2,2 | 81,9 | 52,2 | 1,3 | 3,1 |
| Gesamt-N ..... % | 0,94 | 0,85 | 0,17 | 0,13 | 1,28 | 0,89 | 0,01 | 0,04 |
| Austausch-Ca mval | 26 | 29 | 21 | 13 | 18 | 8,4 | 0,9 | 0,9 |
| $MeCO_3$ ..... % | 0 | 0 | 78,2 | 96,5 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| $P_2O_5$ ..... % | 0,09 | 0,1 | 0,03 | 0,01 | 0,15 | 0,09 | 0,005 | 0,02 |
| $H_2O$ (bis 105° C) . % | 14 | 13,2 | 2,0 | 0,3 | 13,3 | 7,6 | 0,1 | 1,3 |
| Zelluloseabbau .... | 0,66–0,85 | 0,51–0,25 | 0,19–0,02 | 0,12 | 0,85 | 0,60–0,33 | 0 | 0,13 |
| Eiweißabbau ..... | 0,04–0,07 | 0,04–0,03 | 0,11–0,09 | 0,14 | 0,04 | 0,07–0,05 | 0,07–0,05 | 0,15 |

Die Übereinstimmung der Eigenschaften der Morauflage der beiden Profile ist auffällig. Am meisten überraschen die Werte des Zellulose- und Eiweißabbaues. – Da der Wurzelraum in beiden Profilen auf die Morauflage beschränkt ist, ist es nicht verwunderlich, daß auf beiden schließlich die gleiche Klimaxgesellschaft, das *Rhodoreto-Vaccinietum cembretosum*, stockt. In unmittelbarer Nähe des untersuchten Mugeto-Rhodoretum hirsuti findet sich dieses bereits, und zwar auf einem Boden, der sich morphologisch von dem des Mugeto-Rhodoretum kaum unterscheidet.

#### Böden auf gemischten Ablagerungen von Verrucano und Dolomit

Auf den verschiedenen Terrassen des Fuornbaches läßt sich die Vegetations- und Bodenentwicklung auf gemischten Ablagerungen von Verrucano und Dolomit sehr schön verfolgen (J. BRAUN-BLANQUET, F. RICHARD und R. BACH, unveröffentlicht). Was die Vegetation anbelangt, so verläuft die Entwicklung gleich wie auf Dolomit. Die Boden-

bildung verläuft anfänglich ebenfalls gleich, hingegen kann nach der vollständigen Auswaschung oder Immobilisierung des Dolomits Podsolierung eintreten.

## Böden der alpinen Stufe

Für die Beschreibung der Böden der alpinen Stufe des Parks muß man auf die Arbeit von J. Braun und H. Jenny (1926) über die Vegetations- und Bodenentwicklung in der alpinen Stufe der schweizerischen Zentralalpen zurückgreifen. Neuere Untersuchungen vom Park selbst liegen nicht vor, doch lassen sich nach unsern Erfahrungen die Untersuchungsergebnisse, die andernorts in der alpinen Stufe gewonnen worden sind, auf den Park übertragen. Sie lassen sich kurz wie folgt zusammenfassen.

Durch die Verwitterung werden die Böden allmählich tiefergründig. In den Anfangsstadien wird Humus angereichert; später bildet sich anscheinend ein Gleichgewicht zwischen Humusbildung und Abbau, das sich je nach Pflanzengesellschaft etwas verschieben kann. Rohhumus wird unter Rasenvegetation nicht angehäuft; der Abbau ist zu rasch, die Durchwühlung zu groß. Die Böden unterliegen stark der Auswaschung. Entkarbonatung, Entbasung und Versauerung sind die Folgen. Podsolierung tritt aber nicht ein, weil die Morauflagen fehlen. Die Profile gleichen sehr den *Braunerden*.

Klimaxgesellschaft ist sowohl auf Karbonat- als auf Silikatgestein das *Curvuletum*. Dies beweist, daß die physiologischen Bedingungen, die die Böden beider Gesteine der Vegetation schließlich bieten, dieselben sind. Die beiden Klimaxböden sind funktionell gleichwertig, *analog*, wie dies auch in der Nadelwaldstufe der Fall gewesen ist.

## Zusammenfassung und Schluß

Im Schweizerischen Nationalpark führt die Bodenbildung in der subalpinen Stufe auf Dolomit zu extrem deckenmorigen subalpinen Wald-Humuskarbonatböden, auf Verrucano zu Podsolen. Beide Böden haben eine mächtige Morauflage, in der im Klimaxstadium der Vegetation das *Rhodoreto-Vaccinietum cembretosum* wurzelt.

In der subalpinen Stufe entstehen mit der Zeit braunerdeähnliche Profile; Klimaxvegetation ist darauf das *Curvuletum*.

Im einzelnen besteht eine bunte Mannigfaltigkeit der Böden, verursacht durch Verschiedenheiten des Gesteins, des Lokalklimas, des Reliefs, der Vegetation und des Alters der Böden.

Der Vegetationskundler muß sich vor Augen halten, daß der Boden zwar eine wichtige, aber doch nur *eine* Faktorengruppe im ganzen Lebensraum ist und daß die Möglichkeiten des Faktorenersatzes, z. B. zwischen Klima und Boden, mannigfaltig sind.

Der Bodenkundler seinerseits zieht aus den Forschungen der Mikrobiologen, Botaniker und Zoologen großen Gewinn, denn an vielen Prozessen der Verwitterung, Humusbildung und Verlagerung sind die Bodenorganismen direkt oder indirekt beteiligt.

Vorerst wird es sich darum handeln, das Inventar der Bodenlebewesen in den verschiedenen Böden aufzunehmen. Sicher ergeben sich schon daraus gewisse Korrelationen zwischen Organismen und Bodeneigenschaften. Die Beziehungen ursächlich abzuklären, wird die letzte und schwerste Arbeit sein.

Die Erforschung der Wechselbeziehungen zwischen Vegetation und Standort, besonders aber der Biologie des Bodens, ist eine reizvolle Aufgabe. Sie läßt sich nur lösen, wenn Mikrobiologen, Botaniker, Zoologen und Bodenkundler zusammenarbeiten.

**Literatur**


Bach, R., 1950. Die Standorte jurassischer Buchenwaldgesellschaften mit besonderer Berücksichtigung der Böden (Humuskarbonatböden und Rendzinen). Ber. Schweiz. Bot. Ges., *60*, 51–152.

Braun-Blanquet, J., und Jenny, H., 1926. Vegetationsentwicklung und Bodenbildung in der alpinen Stufe der Zentralalpen. Denkschr. d. Schweiz. Naturf. Ges., *63*.

Frei, E., 1944. Morphologische, chemische und kolloidchemische Untersuchungen subalpiner Weide- und Waldböden der Rendzina- und der Podsolserie. Ein Beitrag zur Humusklassifizierung. Ber. Schweiz. Bot. Ges., *54*, 267–346.

Leuenberger, R., 1950. Beitrag zur Kenntnis der Humuskarbonatböden und Rendzinen im Schweizer Jura. Diss. ETH.

Pallmann, H., und Haffter, P., 1933. Pflanzensoziologische und bodenkundliche Untersuchungen im Oberengadin. Ber. Schweiz. Bot. Ges., *42*, 357–466.

Pallmann, H., Hasler, A., und Schmuziger, A., 1938. Beitrag zur Kenntnis der alpinen Eisen- und Humuspodsole. Bodenkunde und Pflanzenernährung, *9/10*, 94–122.

Pallmann, H., und Frei, E., 1943. Beitrag zur Kenntnis der Lokalklimate einiger kennzeichnender Waldgesellschaften des Schweizerischen Nationalparkes. Ergebn. d. wissensch. Unters. d. Schweiz. Nationalparkes, *1*, 437–464.

Richard, F., 1945. Der biologische Abbau von Zellulose und Eiweiß-Testschnüren im Boden von Wald- und Rasengesellschaften. Mitt. der Schweiz. Anst. f. d. forstl. Versuchsw., *24*, 297–397.


## 2. Botanische Untersuchungen

Von **Wilhelm Vischer** (Basel)

Im Jahre 1940 wurde auf Initiative des damaligen Präsidenten der Botanischen Subkommission der Wissenschaftlichen Nationalparkkommission, Dr. W. Lüdi, eine bodenbiologische Arbeitsgemeinschaft ins Leben gerufen.

1. Ein möglichst vollständiges Inventar aller pflanzlichen und tierischen Organismen sollte für einige ausgesuchte Stellen der Wälder um

Il Fuorn, ca. 1900 m ü. M., aufgestellt werden. Gewählt wurde der Felsenhügel Plan Posa, der auf homogener Dolomitunterlage die ganze Entwicklungsserie der Renzinaböden und Wälder bietet: *Mugeto-Caricetum humilis*, *Mugeto-Ericetum carietosum humilis*, *Mugeto-Ericetum hylocomietosum* bis *Mugeto-Rhodoretum hirsuti*. Im God dal Fuorn, auf saurem Verrucano und Bundsandstein, mit Podsopprofil: *Rhodoreto-Vaccinietum cembretosum*.

2. Als weitere Ziele kommen in Betracht: Veränderungen der Mikroflora im Zusammenhang mit der Bodenreifung und der Veränderung der Assoziationen, Rolle der Mikroorganismen (Aut- und Synökologie) im Gesamthaushalt der Böden.

Wegen des Fehlens genauer Untersuchungen im Alpengebiet ergab sich vorerst für die Mitarbeiter die Notwendigkeit einer allgemeinen systematischen Bearbeitung. Meist handelt es sich um kritische Gattungen, deren Systematik überhaupt einer gründlichen Abklärung bedarf, bevor die Formen genau bestimmt werden können.

An botanischen Arbeiten liegen bis jetzt erst vor: eine Bearbeitung der Heterokonten durch den Referenten[1] sowie einige vorläufige Ergebnisse von F. CHODAT über Algen aus andern Teilen des Parkgebietes[2]. Außerdem hat der leider verstorbene Prof. DÜGGELI einige Tabellen über das Vorkommen von Bakterien hinterlassen, die zurzeit noch nicht endgültig bearbeitet sind. Da seine Arbeiten z. T. ergänzt, z. T. auf neuer Grundlage aufgenommen werden sollen, vermag ich zurzeit darüber nicht zu berichten. Ebensowenig liegen abschließende Ergebnisse über die Bodenpilze von Herrn Dr. BLUMER vor, obwohl bereits eine recht große Zahl von Arten isoliert worden sind. Ich muß mich daher auf die Bodenalgen und die Probleme, die sich aus deren Bearbeitung ergeben, beschränken. Zur Bestimmung der Bodenalgen sind Reinkulturen nötig. Nach den üblichen Methoden wurden seit Beginn der Arbeiten ca. 200 Stämme isoliert. Sie gehören meist den Gattungen *Chlamydomonas*, *Chlorococcum*, *Dictyococcus*, *Stichococcus*, *Hormidium*, *Leptosira*, *Pleurastrum* usw., also solchen, deren Systematik vorerst in Ordnung gebracht werden muß, an. Als besonders interessant kann die Gattung *Chlorochytridion* hervorgehoben werden. Sie stellt eine neue Klasse der Flagellaten dar, die nicht durch vorne inserierte Geißeln, sondern durch ein hinten inseriertes Pulsellum charakterisiert ist, das den Zellkörper, wie den einer Kaulquappe, durch Ruderschläge nach vorne treibt. Die

---

[1] VISCHER, W., Heterokonten, Ergebnisse der wissensch. Unters. d. Schw. Nationalparkes, Neue Folge, I, 1945.

[2] CHODAT, F., Notes préliminaires sur la flore algologique des sols du Parc National, Actes de la Soc. Helv. Sciences Nat., Lausanne, 1928, II[e] partie, p. 191/192. Id., Etudes d'algologie du sol; sur le genre Schizococcus gen. nov., Berichte der Schweiz. Bot. Gesellsch., 40, 1931, p. XXIII–XXV. KOL, E. et CHODAT, F., Quelques algues nouvelles des sols et de la neige du Parc National Suisse, Bull. Soc. Bot. Genève, 25, 1934, p. 250–263. VISCHER, W., Über Heterokonten und heterokontenähnliche Grünalgen, Ber. Schweiz. Bot. Ges., 45, 1936, p. 399–403.

Zellen enthalten einen grünen Chromatophor mit Stärke und Pyrenoid. Der merkwürdige Organismus kann als Vertreter einer besondern Klasse, der *Opisthokontae*, betrachtet werden (vielleicht identisch mit *Pedinomonas* Korschikoff aus der Gegend von Charkow ?), und es ergeben sich wichtige Fingerzeige für die eventuelle Verwandtschaft niederer Pilze und vielleicht Tiere[3]. Aus diesem einen Beispiel geht hervor, wie vieles noch durch genaue Untersuchung der Bodenorganismen für die Systematik gewonnen werden kann.

Bei den Probeentnahmen wurde durch den Referenten darauf geachtet, die verschiedenen Horizonte getrennt zu untersuchen. Im ganzen

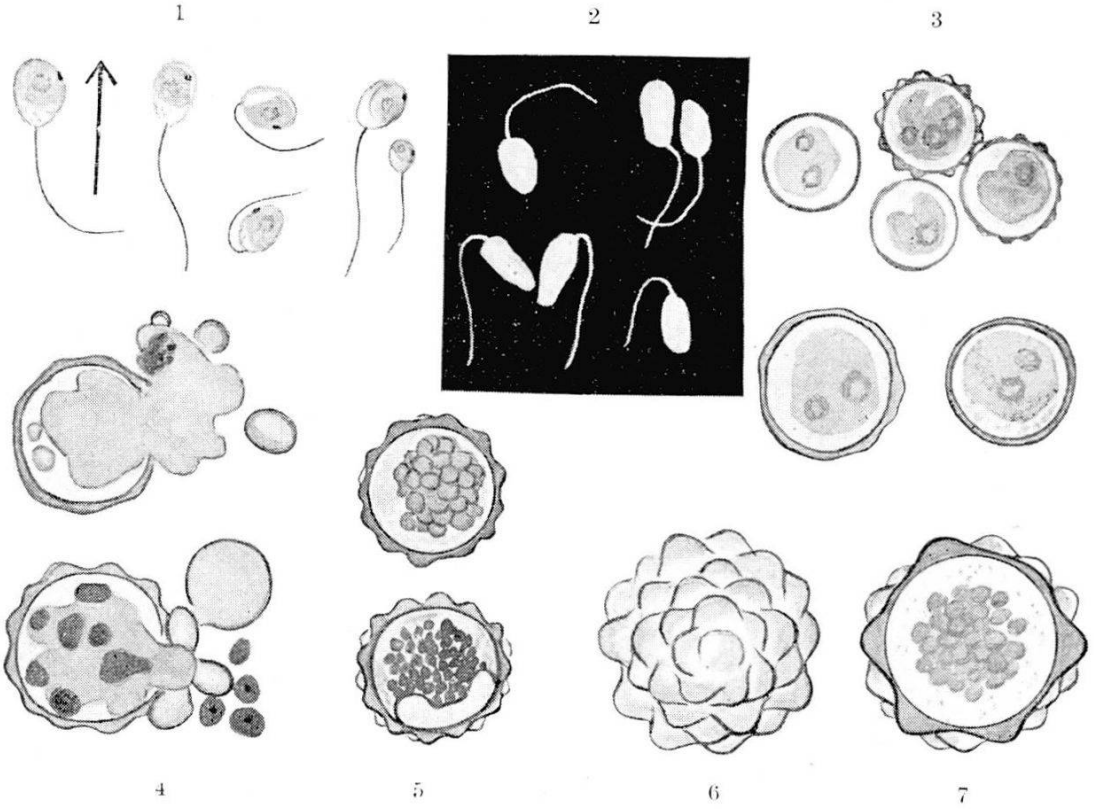



Abb. 1. *Chlorochytridion tuberculatum (Pedinomonas ?).*

1. Zoosporen, Bewegungsrichtung durch den Pfeil angegeben. 2. Zoosporen in Nigrosin eingetrocknet. 3. Junge Sporangien mit einem Chloroplast und einem bis wenigen Pyrenoiden. 4. Zoosporangien nach Aufkochen, mit Jod, zerquetscht, Chloroplast herausgetreten, daneben Öltropfen, Stärke dunkel, Pyrenoide vermehrt. 5. Zoosporangien mit zahlreichen, zentralgelagerten Chloroplasten, im untern Exemplar Pyrenoide mit Jod gefärbt, Öl nach Aufkochen zu einem Tropfen vereinigt. 6. Sporangium von außen. 7. Sporangium optisch quer.

[3] Vgl. Vischer, W., Über einen pilzähnlichen, autotrophen Organismus, Chlorochytridion...; Verh. Natf. Ges. Basel, 56, 1945, S. 41–59. Id. *Pedinomonas* Korschikoff und eine neue Flagellatengruppe, Opisthokontae; Intern. Vereinigung für theor. und angew. Limnologie, Verhandl. 10, 1949, S. 504–510. Gams, H., Remarques sur quelques flagellées; Festgabe der Hydrobiologischen Kommission der Schweiz. Naturf. Ges. für den 10. Kongreß d. Int. Verein. f. theor. u. ang. Limnologie, 1948, S. 65–69.

bestätigte sich die andernorts festgestellte Beobachtung, daß die obersten Schichten die zahlreichsten Keime enthalten. Jedoch kann wegen der großen Entfernung des Parkgebietes vom Untersuchungslaboratorium die genaue Feststellung der Keimanzahl nicht erfolgen, da beim Transport Ruhezellen in Hunderte von Sporen zerfallen können. Auch lassen sich bisher noch keine sichern Unterschiede der Algenflora verschiedener Dauerflächen feststellen. Folgerungen für das Parkgebiet werden sich erst nach genauer Abklärung der Systematik der kultivierten Arten ergeben können. Dasselbe gilt für den Vergleich mit der Algenflora anderer, entfernter Gebiete, für welche bisher Beispiele aus England, Dänemark, Österreich und Ungarn vorliegen, wenn auch kaum in annähernder Genauigkeit wie aus dem Nationalpark.

## Biologie der Bodenalgen

Bekannt ist, daß manche Bodenalgen sowohl autotroph wie heterotroph leben können, indem sie mit Hilfe organischer Substanzen auch im Dunkeln gedeihen. Wie weit dies im Boden, bei Anwesenheit konkurrenzierender Bakterien und Pilze der Fall ist, steht noch offen. Diese Frage bildet eher ein Forschungsziel eigentlicher bodenkundlicher Laboratorien als unserer WNPK. Doch dürfte im großen und ganzen zutreffen, daß das Wachstum der Bodenalgen hauptsächlich in den obersten Schichten, soweit das Licht reicht, erfolgt und daß manche Keime von hier passiv in die Tiefe befördert werden. Immerhin ist auch die Ansicht von FEHÉR[4] zu erwähnen, wonach die grünen Bodenalgen auch in 1–2 Metern Tiefe mit Hilfe des Chlorophylls die Energie der infraroten Strahlen zur Assimilation des Kohlenstoffes ausnützen sollen. Die Versuche FEHÉRS sind aber zu ungenau. Eigene Versuche zeigen vorläufig, daß ohne organische Zusätze ein Wachstum der untersuchten Arten im Dunkeln nicht erfolgt. Wohl zeigen einige Arten auf Agar mit Abkochung verschiedener Böden (Lehm, Lauberde) im Dunkeln schwaches Wachstum. Es geht daraus hervor, daß in solchen Böden genügend organische Stoffe zur Verfügung stehen, um ein heterotrophes Wachstum zu ermöglichen. Ohne organische Stoffe, auf rein mineralischem Agar, findet jedoch, in Übereinstimmung mit BEIJERINCK, CHODAT, FRITSCH usw., keine Entwicklung statt.

Verschiedene Arten verhalten sich verschiedenen Konzentrationen von Glukose gegenüber sehr verschieden. Einige gedeihen gut bei Zusatz von wenig bis 2,4 %; andere sind an eine bestimmte, niedere Konzentration gebunden, sind also streng stenoecisch:

Die auf Tabelle 1 dargestellten wenigen Beispiele zeigen, wie verschieden das Verhalten einzelner Arten gegenüber organischer Nahrung im Licht und im Dunkel sein kann.

---

[4] FEHÉR, D., u. FRANK, M., Untersuchungen über die Lichtökologie der Bodenalgen; Archiv f. Mikrobiologie, 7, 1936, S. 1–31.

Tabelle I

| | AGAR | | | | | GELATINE | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Knop'sche Nährlösung ⅓ + Glukose | | | | | | |
| | Kompost-abkochung | Gl. 0,2 % | Gl. 0,6 % | Gl. 2,4 % | Gl. 1,0 % Liebig 0,4 % | Knop ⅓ | Knop ⅓ + 1 % Glukose | |
| Dictyococcus Nr. 323 | ++ | ++++ | +++++ | +++++ | ++++ | + | + | Licht |
| | + | ++++ | +++++ | +++++ | ++++ | + | + | Dunkel |
| Chloridella Nr. 216 | ++++ | ++++ | ++++ | ++++ | ++++ | ++++ | ++++ | Licht |
| | + | + | + | + | + | + | + | Dunkel |
| Chloridella Nr. 233 | ++++ | ++++ | ++++ | ++++ | ++ | ++++ | ++++ | Licht |
| | ++ | ++ | ++ | ++ | + | +++ | +++ | Dunkel |
| Heterothrix Nr. 214 | ++++ | ++++ | ++++ | ++++ | + | + | + | Licht |
| | + | ++++ | + | + | + | + | + | Dunkel |
| Nostoc Nr. 297 | +++ | ++++ | ++ | + | + | + | + | Licht |
| | 0 | +++ | 0 | 0 | 0 | + | + | Dunkel |

*Zeichenerklärung*

0 nicht — + sehr schwach — ++ schwach — +++ ziemlich gut — ++++ gut — +++++ sehr gut

Einige Arten *(Dictyococcus)* werden durch Konzentrationen von 0,2–2,4 % Glukose sowie durch Zusatz von Liebigs Fleischextrakt im Lichte und im Dunkeln gefördert.

Andere Arten *(Chloridella)* werden durch ähnliche Konzentrationen zwar im Licht, dagegen kaum oder gar nicht im Dunkeln gefördert.

*Heterothrix* verhält sich im Lichte ähnlich wie *Chloridella*, wird aber im Dunkeln bei niederer Konzentration von Glukose gefördert. *Nostoc* erträgt auch bei Licht nur schwache Glukosekonzentration und wird noch bei 0,6 %, im Dunkeln jedoch nur bei 0,2 %, gefördert.

Es bestehen somit eine ganze Anzahl von biologischen Typen, deren jeder im Boden offenbar an spezielle Ernährungsbedingungen gebunden ist, bzw. unter speziellen Bedingungen gedeihen kann. Verschiedene, unter dem Mikroskop nicht unterscheidbare Arten der Heterokontengattung *Botrydiopsis* unterscheiden sich sofort dadurch, daß die einen mehr autotroph, die andern mehr heterotroph sich verhalten, m. a. W. durch Glukosezusatz eher gehemmt bzw. gefördert werden. Je nach den gerade herrschenden Bedingungen im Boden (Anwesenheit von Zersetzungsprodukten pflanzlicher und tierischer Lebewesen) wird die eine oder andere Art sich entwickeln. Zur Charakterisierung der Verhältnisse im Boden genügt es deshalb nicht, in der Liste eine «Sammelart» aufzuführen, sondern es ist die genaue Bestimmung der Art oder Rasse erforderlich.

Als Beispiel, wie innerhalb einer unter dem Mikroskop vermeintlich einförmigen Gattung eine große Mannigfaltigkeit von Arten besteht, wird die Gattung *Dictyococcus* näher behandelt. Etwa 20 «Arten» wurden auf Nähragar ohne und mit je 2 % Glukosezusatz, mit und ohne je 0,5 % Liebigs Fleischextrakt im Licht und im Dunkeln kultiviert. Innerhalb dieser Gattung ergeben sich starke Verschiedenheiten der Kulturen, mit oder ohne Schleimbildung, mit oder ohne Karotin, mit glatter oder runzliger Oberfläche, mit oder ohne Förderung durch organische Nährstoffe usw. Die Einzelheiten sollen in einer spätern Publikation dargestellt werden. Es wiederholt sich hier bei Erdalgen, was bereits durch die Arbeiten von R. Chodat, Letellier, Jaag usw. an Flechtengonidien *(Cystococcus)* festgestellt worden ist. Dieses Resultat läßt die Folgerung zu, daß je nach gerade herrschenden Bedingungen die eine oder andere Art im Boden in Überzahl auftreten wird und durch andere abgelöst werden kann.

Ein weiteres, eventuell für das Zusammenleben verschiedener Bodenbewohner wichtiges Problem besteht in der Bildung von Biotica durch einzelne Algen. Bisher ist hierüber wenig bekannt geworden, wenn auch einzelne Forscher deutlich auf eine solche Möglichkeit hingewiesen haben[5], allerdings eher in bezug auf Bodenpilze. Mit Herrn Dr. E. Burlet zusammen ausgeführte Vorversuche haben gezeigt, daß einzelne Arten von Bodenalgen deutlichen Einfluß auf das Wachstum von *Bacillus subtilis* ausüben, teils fördernd, teils hemmend. Diese Versuche müssen mit verschiedener Konzentration und in bezug auf andere Organismen weiter ausgedehnt werden. Immerhin läßt sich schon auf Grund der vorliegenden Beobachtungen der Schluß ziehen, daß Bodenalgen in der Synökologie durch Ausscheiden von Biotica oder Antibiotica auf andere Organismen einen Einfluß ausüben, dessen Größe aber noch zu bestimmen ist.

So weit die Beobachtungen an Bodenalgen. Für andere Mikroorganismen, wie Bakterien und Pilze, gelten ähnliche Prinzipien. Die boden-

[5] Schopfer, W. H., Des vitamines dans le sol ?, Bull. de la Murithienne, 62, 1944/45, p. 53–61. Pratt, D. u. a., Chlorellin, an Antibacterial Substance from Chlorella, Science, N. S., 99, 1944, p. 351.

biologische Arbeitsgemeinschaft im Nationalpark hat bereits erfreuliche Ergebnisse gezeitigt, und es steht zu hoffen, daß die vorläufigen Resultate, insbesondere die systematische Bearbeitung der bis jetzt isolierten Arten, in absehbarer Zeit publiziert werden können. Für weitere Forschungen eigentlich biologischer Richtung benötigt die WNPK die Hilfe weiterer Kreise, und es möge an die Lehrkräfte der Universitäten sowie an jüngere Forscher der warme Appell ergehen, das bereits vorhandene Material zur Lösung allgemein wichtiger Probleme zu benützen und damit u. a. auch der Erforschung unseres Nationalparkes einen Dienst zu leisten.

## 3. La faune du sol

par **Hermann Gisin** (Genève)

Les Vers de terre sont les animaux endogés les plus apparents et les mieux connus. Depuis DARWIN (1882), de nombreuses études ont été consacrées à leur biologie. Leur action, tant mécanique que chimique, apparaît considérable, parfois décisive pour la fertilité du sol. Au point de vue de leur poids total par unité de surface d'un sol, ils dominent normalement l'ensemble des autres animaux endogés. En revanche, les Protozoaires dominent par le nombre d'individus, qui peut atteindre et même dépasser le milliard par $dm^2$ de sol. Déjà EHRENBERG (1837) leur a attribué un rôle important dans la formation de l'humus.

A part ces deux groupes, l'étude des autres animaux du sol a été négligée pendant longtemps. Il y a à cela plusieurs raisons. La récolte et la conservation rencontrent des difficultés techniques. Le triage direct, sous la loupe ou sous le microscope, des Nématodes et des Arthropodes de la terre est un procédé à la fois fastidieux et trop incertain. Puis ces animaux sont si frêles que certains de leurs caractères disparaissent sur des exemplaires conservés; il faut le plus souvent pouvoir les étudier à l'état frais, quelquefois sur le vivant. Ceci, en même temps que le grand nombre d'espèces, a pour conséquence un état encore très lacunaire de nos connaissances quant à leur distinction et à leur biologie. Enfin, aucun stimulant n'incitait à vaincre ces difficultés aussi longtemps qu'on considérait le rôle de ces endogés comme tout à fait secondaire par rapport aux Vers de terre et aux Protozoaires.

Mais les recherches de ces deux dernières décennies nous ont amenés à une révision de nos vues à ce sujet. D'abord les méthodes de capture, successivement améliorées, ont révélé que le nombre des Nématodes et des Arthropodes était beaucoup plus élevé qu'on ne le pensait. Il suffit de laisser se dessécher sur un treillis, un échantillon d'un $dm^3$ de terre, pour capturer au bas de l'entonnoir sur lequel le tout est abandonné, des centaines d'Acariens et autant de Collemboles et autres Insectes minuscules. Pourtant cette méthode, susceptible de perfectionnements, n'est guère d'un rendement supérieur à 50%. On procède d'une façon analogue, mais sous l'eau, pour les Nématodes, dont le nombre d'individus peuplant 1 $dm^3$ de sol est de l'ordre de 10 000 à 100 000. Un auteur danois, OVERGAARD, a décrit récemment une technique permettant

d'isoler 90% des Nématodes dans un volume de 1–4 $cm^3$ de terre ou de mousses. Mais il ne sera probablement jamais possible d'inventer une technique propre à extraire du même coup l'ensemble des différentes formes biologiques représentées par les animaux endogés.

Néanmoins, on est maintenant mieux à même d'apprécier l'activité de chacune d'elles. Evidemment ni le nombre des individus ni leur poids ne peuvent servir à en mesurer l'importance. ULRICH (1933) a calculé que le volume de nourriture consommée annuellement par le peuplement de 100 g. (poids sec) de feuilles mortes de hêtres était pour les Vers de terre de 8000 $mm^3$ (chiffres arrondis), pour les Collemboles de 8000 $mm^3$ également, pour les autres Insectes et les Myriapodes de 9800 $mm^3$ et pour les Arachnoïdes même de 14 500 $mm^3$. Cela s'explique quand on pense que si le poids total des groupes d'animaux de petite taille est faible, la somme de leur surface active est en revanche considérable. OVERGAARD indique qu'une population de Nématodes ne pesant que le dixième de celle des Vers de terre consomme autant d'oxygène que cette dernière. Il s'ensuit que pour une saine compréhension de la biologie du sol, aucun des grands groupes de la faune endogée ne doit être négligé. On peut admettre que les 6 groupes suivants jouent un rôle d'une importance à peu près comparable: 1° les Protozoaires, 2° les Nématodes, 3° les Collemboles, 4° les Acariens, 5° le reste des Arthropodes endogés, 6° les Annélides (Lombrics et Enchytrées). Sans doute, le rôle de ces groupes n'est pas tout à fait de même nature. Mais nous ne sommes encore qu'imparfaitement renseignés sur ce point. Une grande partie des Nématodes, par exemple, se nourrit de bactéries, d'autres d'algues, sans que nous puissions bien juger ce que cela signifie pour le sol. Il y a des prédateurs parmi les Nématodes, les Acariens et d'autres Arthropodes; leur victimes sont probablement surtout des Collemboles. Ceux-ci vivent essentiellement en saprophages, avec toutefois certaines préférences alimentaires encore mal connues. L'action excercée sur le sol par les Arthropodes réside avant tout dans le dépôt de leurs déjections granuleuses, qui sont des mélanges intimes de particules organiques et minérales. Cela contribue d'une part à maintenir le sol dans un état grumeleux, favorable à la fertilité et, d'autre part, à accélérer l'humification des déchets organiques. On s'est rendu compte que l'humus doux des sols fertiles consiste principalement en excréments de Métazoaires; l'humus résultant d'une action purement microbienne est d'une qualité inférieure. Ainsi, dans une certaine mesure, la seule composition faunistique d'un sol permet d'en apprécier la valeur agronomique; en Autriche il existe déjà un service d'expertise organisé sur cette base. Ce service pourra tirer des conclusions de plus en plus étendues à mesure que nous parviendrons aussi à connaître la valeur indicatrice écologique des différents composants de la faune endogée. Car là, il y a aussi de grandes différences d'un sol à l'autre; on a vu complètement disparaître certaines espèces de Collemboles après une fumure azotée, par exemple; inversement, leur présence sera un indicateur biologique pour certaines conditions stationnelles.

La Zoologie du sol est en train d'ouvrir des horizons nouveaux; son étude doit être répartie entre une pléiade de spécialistes et poursuivie en collaboration avec des botanistes et des pédologues. Former une telle communauté de travail, c'est le but des chercheurs agréés par la Commission scientifique du Parc national suisse. Mais le programme est vaste. Il a fallu commencer par le commencement: le relevé faunistique, voire même la classification, qui, sur beaucoup de points, reste encore à faire – au grand désespoir de ceux qui s'attendent à des résultats rapides d'un ordre plus général.

Plusieurs travaux principalement faunistiques sur les endogés ont déjà paru. Ce sont ceux de HANDSCHIN sur les Collemboles; de HEINIS sur les Protozoaires, Rotifères, Tardigrades et Nématodes du Sphagnum; de SCHWEIZER sur les Acariens; et de ALTHERR sur les Nématodes.

Mais les recherches d'ordre plus général ne sont pas oubliées non plus. Les spécialistes notent soigneusement les conditions de captures ou de prélèvements, ce qui leur est beaucoup facilité par le fait qu'ils retournent tous aux mêmes stations devenues classiques et de mieux en mieux connues à tous les points de vue. Ils s'aperçoivent alors vite que telle espèce ne vit pas dans n'importe quel milieu, mais semble liée à des conditions d'existence déterminées. Constatations indispensables comme guide pour le choix d'expériences à instituer en vue de résoudre des problèmes spéciaux.

Cette collaboration permet aussi d'aborder le problème du rapport et de la superposition de groupes écologiques d'organismes différents, en particulier des végétaux et des animaux. Je me suis attaché à ce problème à propos des Collemboles du sol profond. En comparant plus d'une centaine de relevés, j'ai d'abord constaté que la vingtaine d'espèces entrant en ligne de compte se divisait naturellement en trois groupes, de telle façon que les espèces du premier groupe cohabitaient très fréquemment entre elles, mais ne cohabitaient presque jamais avec les espèces du deuxième et du troisième groupe. Il en est de même pour le deuxième et le troisième groupe par rapport aux autres. J'ai ensuite cherché à dégager les traits communs des stations ayant fourni les espèces de chacun des trois différents groupes. Le résultat est assez parlant. Il y a une corrélation constante entre les trois groupes de Collemboles et les trois sols-types distingués, il y a 25 ans, dans la même région par les pédologues, et auxquels correspondent des groupements végétaux déterminés. Le premier groupement provient de sols primitifs (éboulis, graviers) portant une végétation de l'ordre des Thlaspeetalia rotundifolii. Un deuxième groupement correspond aux Rendzina avec les associations des Seslerietalia coeruleae, et le troisième groupement, le plus riche, vit dans des sols alpins humiques, acides, où poussent les groupements arbustifs et arborescents des Vaccinieto-Piceetalia.

La Zoologie du sol en est à ses débuts; elle exige des recherches de très longue haleine poursuivies en équipe sur des terrains non continuellement troublés par l'homme. Le Parc national en est un, à condition que son intégrité soit vraiment assurée.

# Theorie und Erfahrung

Diskussion vom 27. August 1950, geleitet von M. ALTWEGG, eingeführt durch M. FIERZ, H. BIAESCH und F. GONSETH

Der Vorsitzende umschreibt einleitend den Zweck dieser Diskussionen: Austausch von Erfahrungen allgemeiner Natur, die im intensiven Studium eines einzelnen Faches gewonnen wurden und die zur Entscheidung von Fragen führen können, über die sich die Philosophen uneins sind. Die Hemmungen des Naturforschers, sich über Probleme zu äußern, die letzten Endes das Lebenswerk vieler Fachphilosophen ausmachen, sind nicht angebracht; der Naturwissenschafter verfügt über Unterlagen, die dem Nur-Philosophen fehlen.

## Votum von Markus Fierz (Basel)

Man hat mich aufgefordert, ein einführendes Referat zu unserer Diskussion über «Theorie und Erfahrung» zu halten. Es handelt sich offenbar um Theorie und Erfahrung der Naturwissenschaften: davon wollen wir reden.

Das Thema ist weit; so weit, daß man bei dieser Gelegenheit die gesamte Problematik der Wissenschaft aufrollen kann. Dabei könnte auch der Versuch gemacht werden, die Naturwissenschaften gegen die Geisteswissenschaften abzugrenzen. Vielleicht bedeuten nämlich in Geschichte, Sprach- und Rechtswissenschaften Theorien etwas anderes als bei uns. Sicherlich ist die Erfahrung dieser Wissenschaften von der unsrigen verschieden.

Sodann spricht man auch in der Mathematik von Theorien: Funktionentheorie, GALOISsche Theorie oder gar die Beweistheorie HILBERTS wären mit dem zu vergleichen, was wir Theorie zu nennen pflegen.

Man kann auch, was immer lehrreich ist, die Entwicklung der naturwissenschaftlichen Erfahrung und Theorie historisch, geistesgeschichtlich betrachten. Nicht daß ich glaube, daß sich, im Sinne HEGELS, in dieser Entwicklung der Geist der Naturwissenschaften schlechthin offenbare. Auch meine ich nicht, daß sich die Wissenschaft soziologisch begründen läßt, wie heute von manchen anempfohlen wird. Doch finden wir in der Geschichte manche typischen Situationen der Wissenschaft vorgezeichnet. Wenn nicht alles, so ist doch vieles schon einmal dagewesen. Diese Erkenntnis kann uns oft helfen, die Gegenwart richtiger

einzuschätzen. Daß wir auf diese Weise die Vergangenheit im Grunde auf unsere Zeit beziehen, mag philosophisch anfechtbar sein; wir sind jedoch dazu berechtigt, wenn wir uns als Gelehrte mit den wissenschaftlichen Problemen unserer Zeit abmühen.

Aus der Geschichte können wir insbesondere lernen, in welcher Art die Wissenschaften durch das, was man den Zeitgeist nennen mag, gefördert oder auch behindert werden. Wir sehen, wie überkommene Vorstellungen und Theorien, gerade weil sie sich oft und vielfältig bewährt haben, den Fortgang der Wissenschaft erschweren können und wie dann ganz jungen Leuten, mit dem frischen und unbefangenen Geiste ihres Alters, der entscheidende und erlösende Schritt gelingt.

Weiter darf nicht übersehen werden, daß zuzeiten praktisch-technische Erfahrungen und Fragestellungen die Entwicklung der Wissenschaft wesentlich bestimmen.

Wenn wir uns somit nicht ins Weite verlieren wollen, so müssen wir uns wesentlich beschränken. Zugegebenermaßen ist jede Beschränkung willkürlich. Alles hängt ja mit allem irgendwie zusammen. Kein noch so kunstvolles Gedankengebäude trägt sich selber. Es ist wohl zumindest auf – im Sinne C. G. Jungs – archetypische Dispositionen unseres Geistes gegründet und gewinnt nur im Ganzen unseres Lebens Sinn und Bedeutung.

Wenn wir aber nach dem Sinn unserer Theorien und unserer Erfahrung fragen wollten, so kämen wir erst recht ins Weite, so daß ich diese Frage auf sich beruhen lassen möchte.

Im Sinne der Beschränkung möchte ich fragen: Wie gehören Theorie und Erfahrung zusammen, d. h. wie sind sie aufeinander bezogen und wie bedingen sie einander. Dabei will ich mich weiter auf die sogenannte reine Wissenschaft beschränken, wo ich am ehesten Bescheid weiß. Ich will mich jedoch nicht über die Frage verbreiten, wie «reine Wissenschaft» zu charakterisieren wäre.

Zuerst müssen wir natürlich sagen, was wir unter Theorie, was wir unter Erfahrung verstehen wollen.

Ich glaube, daß man fürs erste solche Begriffe dadurch erklären soll, daß man Beispiele aufweist, die darunter fallen.

So weise ich also auf physikalische Theorien wie die klassische Mechanik, die Maxwellsche Theorie usf. hin. Ein anderer Gelehrter wird, je nach seinem Fachgebiet, auf andere Theorien hinweisen. Alle Aussagen über «Theorien» müssen sich an mindestens einer Klasse konkret aufweisbarer Theorien bewähren. Es hat wenig Sinn, in abstracto eine ideale Theorie zu beschreiben, um nachher herauszufinden, daß alle unsere Theorien gar keine wirklichen Theorien sind.

Die Erfahrungen der Naturwissenschaften werden besonders gerne in sogenannten Erfahrungssätzen zusammengefaßt wie z. B. der Energiesatz oder das Gesetz von den konstanten und multiplen Proportionen in der Chemie. Ich denke dabei vor allem an experimentelle Erfahrung, was natürlich ein Spezialfall ist, der hauptsächlich für Physik und Chemie gilt. Es ergibt sich hieraus die Frage, ob naturwissenschaftliche Er-

fahrung überhaupt einheitlich charakterisiert werden kann oder ob sie gar, je nach dem einzelnen Forscher, verschiedener Art ist.

Wir beginnen nun mit der Betrachtung der Erfahrung, da das angeblich dem Brauch in den Naturwissenschaften entspricht, und fragen, ob Erfahrung ohne theoretische Voraussetzungen überhaupt möglich ist.

Irgendeinen Wahrnehmungskomplex, ganz unabhängig davon, wie wir ihn beurteilen, nenne ich einen Tatbestand. In diesem Sinne bildet jeder Traum, jede Halluzination ebensogut einen Tatbestand wie dies, daß wir hier versammelt sind. So wie ich nun das Wort «Erfahrung» verstehe, ist die bloße Wahrnehmung eines Tatbestandes noch keine Erfahrung. Dies gilt auch für eine Sammlung von Tatbeständen.

Eigentlich bedeutet Erfahrung das, was man auf Reisen lernt. Aus der Erfahrung lernen wir, und wer aus seinen Erlebnissen nichts lernt, gewinnt keine Erfahrung.

Gelernt habe ich dann etwas, wenn mir meine früheren Wahrnehmungen bei der Beurteilung späterer Wahrnehmungen dienlich sein können. Indem wir also Erfahrung gewinnen, beurteilen wir gleichzeitig die uns begegnenden Tatbestände. Hiezu dient uns das Prinzip der empirischen Induktion, welches deshalb eng mit der Erfahrung zusammenhängt, und zwar sowohl logisch wie praktisch.

Dies Prinzip ermöglicht uns, Wahrscheinlichkeitsaussagen zu machen. Der Satz: «Die Erfahrung lehrt, daß in dem und dem Fall dies und das zu erwarten ist», ist der induktive Schluß, der einen Tatbestand mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit – wir erwarten etwas – mit anderen Tatbeständen verknüpft. Hierdurch kommt ein Urteil zustande, das im Feststellen einer gewissen Relation besteht.

Wenn meine Wahrnehmungen solches nicht ermöglichen, kann ich sie nicht wohl Erfahrungen nennen. Da nun der induktive Schluß zu Erwartungen Anlaß gibt, die offenbar theoretischer Natur sind, so führt Erfahrung ihrem Wesen nach zu Theorienbildung. Die Theorien werden allerdings meist sehr rudimentär sein und können deshalb oft kaum deutlich formuliert werden. Sie werden deshalb auch oft gar nicht als solche erkannt, sondern scheinen uns mit der Erfahrung gegeben zu sein, was in gewissem Sinne auch zutrifft. Denn Erfahrung ist eben mehr als bloßes Wahrnehmen von Tatbeständen.

Wenn eine Wahrnehmung Erfahrung sein soll, muß sie uns induktive Schlüsse ermöglichen, und daher brauchen wir Voraussetzungen. Wenn wir sagen, diese Voraussetzungen seien frühere Erfahrungen, so haben wir nichts gewonnen, denn «frühere Erfahrungen» sind keine bloße Sammlung früher wahrgenommener Tatbestände. Um induktiv zu schließen, müssen wir die uns bekannten Tatbestände ordnen. Man sagt, man müsse das «Wesentliche» des Erfahrungsmaterials erkennen, man habe das gleichartige vom ungleichartigen zu unterscheiden usw. Durch die Ordnung werden Relationen zwischen den Tatbeständen festgestellt oder zumindest nahegelegt. Nur so geordnete Tatbestände bilden meiner Meinung nach Erfahrung.

Das ordnende Prinzip selber kann jedoch, nach allem, was wir gesagt haben, nicht wohl wieder aus der Erfahrung abgeleitet werden. Seinen Ursprung möchte ich eher aus der archetypischen Disposition unseres Geistes ableiten. Archetypische Bilder oder Vorstellungen, Sie können auch sagen: Urbilder oder Ideen im Sinne Platons, sind die ordnenden Prinzipien, die uns bei unserer Arbeit leiten.

Wird nun die Ordnung der Tatbestände, werden Relationen zwischen ihnen formuliert, so muß dies wohl als Theorie bezeichnet werden. Somit erscheint mir Erfahrung ohne theoretische Voraussetzungen unmöglich, wenngleich die vorausgesetzte Theorie noch durchaus nebelhaft sein kann.

Damit hätten wir nun die Aufgabe, das Wesen einer Theorie noch genauer zu untersuchen. In den Theorien spielen die Hypothesen eine bedeutsame Rolle. In der Erfahrung sind uns nämlich nur gewisse Komplexe von Tatbeständen gegeben, die eine angenommene Ordnung nur lückenhaft erfüllen. Sie können daher nur unter gewissen Annahmen in Beziehung gesetzt werden. Durch solche Annahmen wird die Erfahrung im Sinne einer Extrapolation ergänzt und neuartig beurteilt. Es handelt sich um Annahmen über als prinzipiell möglich gedachte, neue Erfahrungen. Solche Annahmen nennen wir Hypothesen. So war z. B. das Newtonsche Gravitationsgesetz in diesem Sinne eine Hypothese, oder der Gedanke Maxwells, daß ein sich änderndes elektrisches Feld, gleich wie ein Strom, ein Magnetfeld erzeuge. Auch die Annahme des Lichtäthers ist eine, wenn auch verfehlte Hypothese, die die Optik auf die Mechanik elastischer Medien zurückführen sollte.

Die durch Hypothesen ergänzte Erfahrung kann, im glücklichen Falle, auf eine gedachte Ordnung, auf ein Begriffssystem, abgebildet werden. Das nennen wir eine Theorie.

Da die Hypothesen für mögliche Erfahrungen stehen, kann man sie bei hinreichender Experimentierkunst prüfen, und damit kann eine Theorie geprüft werden. An dieser Stelle wäre daher die Bedeutung der Experimentierkunst für die Gewinnung von Erfahrungen und für die Theorienbildung zu untersuchen.

Man muß natürlich verlangen, daß eine Theorie jede ihren Voraussetzungen gemäß unter sie fallende Erfahrung richtig abbildet. Überdies soll die Theorie in sich widerspruchsfrei sein, was leider oft nicht zutrifft.

Eine reine Theorie wäre eine auf rein hypothetischer Grundlage aufgebaute, abstrakte Ordnung. In gewissem Sinne entspricht dem die Mathematik. In ihr, da von Erfahrung vorerst nicht die Rede ist, wäre lediglich zu fordern, daß sie widerspruchsfrei sei. Da sich jedoch, wie K. Gödel gezeigt hat, die Widerspruchsfreiheit der Mathematik nicht beweisen läßt, so liegt die Vermutung nahe, daß auch die Mathematik auf Erfahrung gegründet sei. Etwa der, daß sich gewisse Schlüsse über das Unendliche, die unsere Anschauung uns aufdrängt, immer bewährt haben. Man könnte deshalb versuchen, die Mathematik als die Theorie geistig wahrgenommener Ordnungen zu beschreiben.

Falls diese oder eine ähnliche Auffassung zutrifft, so gibt es keine reine Theorie. Jede Theorie ist dann auf Erfahrung, äußerer oder geistiger Art begründet. Die Konsequenz dieser Auffassung ist, daß Theorie und Erfahrung aufs engste miteinander verbunden sind und daß ihr gemeinsamer Ursprung tief in den Gründen unserer Seele zu suchen wäre.

Das ist alles, was ich für den Augenblick zu sagen gedenke. Ich habe viele Fragen angeschnitten und eine Antwort auf einige wenige angedeutet. An Problematik fehlt es nicht.

## Votum von H. Biäsch (Zürich)

Als Psychologe möchte ich in meinem Beitrag zu unserem Diskussionsthema «Theorie und Erfahrung» hier, vor Naturwissenschaftern, vor allem darauf hinweisen, in welchem Maße schon die Erlebnismaterialien und das Zustandekommen von Theorie und Erfahrung psychisch prä- und deformiert sind. Diese Feststellung enthält noch kein Kriterium zur Prüfung der Richtigkeit von Theorie und Erfahrung; aber sie macht auf die komplexen psychologischen Bedingungen aufmerksam, die in den meisten wissenschaftlichen Sätzen implizite vorausgesetzt werden.

Die Organe, die dem Menschen Wahrnehmungen und Erfahrungen vermitteln und ihm gestatten, Theorien zu konzipieren und verifizieren, sind leib-seelischer Natur; das heißt, sie sind einerseits materiellen und biologischen Gesetzen unterworfen und stehen andererseits unter der Herrschaft erlebter Motivzusammenhänge. Unsere abstrakten Anschauungsformen und Denkkategorien sind Derivate von vitalen Erlebnissen, insbesondere von sinnlichen und motorischen Erfahrungen in der Auseinandersetzung mit der Umwelt. Im Kampf um die Beherrschung der Welt hat sich im Laufe der Geschichte der abendländischen Menschheit das antizipierende Wahrnehmen in der Form des rationalen Denkens entwickelt, das erfolgreichste, aber auch problematischste Werkzeug des Menschen.

Ich will versuchen, an einigen wenigen skizzenhaften Beispielen zu zeigen, welchen psychischen Werdegang jene Materialien schon hinter sich haben, wenn sie als festgestellte, scheinbar elementare Tatsachen oder als allgemeingültige Erkenntnisse in die dialektische Auseinandersetzung von Theorie und Erfahrung einbezogen werden, um auf die anthropomorphe Präformation aller Elemente von Erfahrung und Theorie und insbesondere auch auf die emotionalen und triebhaften Momente hinzuweisen.

### Wahrnehmung

Wir nehmen mit unsern Sinnen zunächst nur das wahr, was für die Stillung unserer Lebensbedürfnisse relevant ist. Der Physiker behauptet, daß es ein winziger Ausschnitt aus der physischen Realität ist, was wir leiblich sehen, hören, tasten, schmecken können. Er behauptet dies, weil er mit seinen Instrumenten und Auswertungsmethoden der Effekte die

menschlichen Sinnesorgane erweitert und verfeinert hat. Wir wollen jedoch beachten, daß diese Instrumente vom ursprünglichen Modell und Vorbild der menschlichen Sinnesapparate aus entwickelt worden sind. Aber auch aus dem, was wir wahrnehmen könnten, treffen wir jeweilen unbewußt eine engste Auslese dessen, was unsern Interessen dienlich ist. Die Wahrnehmungen sind zunächst ein diffuses Insgesamt von erlebten Reizen, die unsere Organe affizieren und die wir durch einen psychischen Akt auf ein «Ding» «draußen» projizieren. Durch das psychische Nach-außen-Verlegen der Reizursachen und durch das Erlebnis der Zusammengehörigkeit der verschiedenen Reize geben wir dem wahrgenommenen Ding «Gestalt». Im dynamischen Umgang mit diesem Ding, nämlich in der sensorischen und motorischen Bearbeitung des Dinges, erfahren wir entweder mehr dazugehörige Sinnesdaten – dann erhält das Ding in einem Aha-Erlebnis präzisere Gestalt – oder aber die Sinnesdaten fügen sich nicht zusammen, das heißt, entsprechen nicht unsern Erwartungen; dann erweist sich die Wahrnehmung als Täuschung. Das Weltbild des Naturwissenschafters ist wahrnehmungspsychologisch betrachtet das Ergebnis einer riesigen Enttäuschung der naiven menschlichen Anschauungsformen. Der Mensch ist von dieser Enttäuschung nicht nur intellektuell, sondern auch zutiefst emotional betroffen. Er verliert den Boden unter den Füßen in einer Welt, in der er sich bisher naiv geborgen fühlte, und reagiert darauf mit Angst, Aggression und instinktiver Abwehr. Diese psychische Reaktion kann und wird sich auch auf die Wahl der Theorie und die Interpretation der Wahrnehmung auswirken.

### Raum und Zeit

Auch die physikalischen Kategorien «Raum und Zeit» haben im Verlaufe der Entwicklung des menschlichen Geistes Wandlungen erfahren, die als Katastrophen von Welteinstürzen empfunden wurden, weil sie sich aus ihren statisch gesicherten Anschauungsformen in dynamisch-relative auflösten. Ursprünglich stammt das Erlebnis der Räumlichkeit von der Erfahrung des Anschauungs- und Bewegungsspielraumes (Merk- und Wirkwelt nach UEXKÜLL). Die organischen Träger des Räumlichkeitserlebnisses sind wahrscheinlich gewisse reversible, die des Zeitlichkeitserlebnisses irreversible Lebensprozesse. Raum und Zeit werden ursprünglich zweifellos als dynamisch aufeinanderbezogene Lebensvorgänge erlebt; sie werden aber im Interesse der Lebenssicherung und -orientierung als statisch wahrgenommen. Deshalb fällt es uns so schwer, oder gar nicht ein, uns von den naiv erlebten Raum- und Zeitformen zu emanzipieren.

### Gedächtnis

Wie behalten wir Wahrnehmungen und wie können wir uns an früher Erlebtes erinnern, also Erfahrungen sammeln? Die Psychologie des Gedächtnisses ist noch ein weitgehend ungelöstes Problem. Man weiß einiges über die motorischen und sensorischen Prozesse, die die

Gedächtnisverläufe begleiten. Alles Lernen in individueller Erfahrung beruht zunächst auf den durch Übung erworbenen bedingten Reflexen, also auf Verhaltensdressur. Das instinktive Artgedächtnis hat sein organisches Substrat in den Ketten unbedingter Reflexe. Der letzte organische Träger des Gedächtnisses ist wohl das Protoplasma selbst mit seinen vielseitigen labilen Reproduktionsmöglichkeiten. Es kommt jedoch hinzu, daß das Gedächtnis sehr aktiven, meist unbewußten psychischen Verdrängungen und Ausmerzungstendenzen unterworfen ist. Wir neigen dazu, das zu behalten oder zu vergessen, was uns paßt und wie es uns paßt und bedürfen einer lebenslangen Erziehung zur Gedächtnistreue gegen verführerische Triebansprüche. So prä- und deformiert das Gedächtnis das, was wir erfahren zu haben glauben, und begünstigt solche Theorien, die unsern subjektiven geheimen Wünschen entgegenkommen.

### Vorstellungen und Abstraktion

Der Mensch ist, soviel wir wissen, das einzige Lebewesen, das in der Lage ist, die Dinge und Erscheinungen seiner Umwelt als Werkzeug, aber auch in magisch-symbolischer Weise zu verwenden und zu betrachten. Er hat sich im Laufe der Jahrhunderttausende von seiner nur biologischen Entwicklung emanzipiert und machte sich die Umwelt zum verlängerten Arm seines Wirkens und zum Kleid und Hort, die ihn gegen die entdeckten Gewalten der Welt faktisch und symbolisch schützen sollen. Durch die progressive Zerebration ist der Mensch sowohl zum homo faber, zum Werkzeug- und Prothesentier, als auch zum homo divinans, zum zaubernden und verzauberten Wesen, geworden. Die Dinge und Erscheinungen haben für den Menschen nicht nur eine unproblematische So-Seins-Ansicht, sondern sie sind ihm auch «Wesen zum ...». Der Mensch ist gezwungen, sich vom zufälligen Wahrnehmungsaspekt der Dinge zu befreien, sie innerlich schauend, von allen Seiten sich vorzustellen, als selbständige Gegenstände, für sich seiende Substanzen zu konzipieren. So wird er veranlaßt, Anschauungsdinge, in Eigenschaftskomplexe zu dekomponieren, Vorstellungen zum Zweck der Überschaubarkeit zu typisieren und diese Vorstellungen schließlich ganz zu entsinnlichen. Er ist genötigt, Kundgabelaute zum Werkzeug der Fremd- und Selbstverständigung zu erheben; er gibt Lauten emotionale und später sachliche Bedeutungen und entwickelt am traditionsfähigen Vehikel der Sprache den Umgang mit seiner Welt, sowohl im Sinne ihrer zunehmenden Beherrschung als auch im Sinne des ritualen Schutzes vor dem Übermächtigen. Wir wählen und konzipieren also auch unsere Begriffe unter dem Druck des existentiellen Dilemmas, Macht–Ohnmacht.

### Phantasie

So wird der Mensch zu einem Wesen, das alles zu probieren und zu erforschen wagt, was ihm seine Phantasie vorspiegelt. Aber auch in seiner Phantasie ist und bleibt er anthropomorph beschränkt. Wir er-

fahren Neues von der Welt und entwerfen theoretisch überschauend nur das, was unserer psychophysischen Organisation zugänglich ist. Es ist nicht *die* Welt, sondern *unsere* Welt, die wir finden. (Unsere Scheidung von physisch und psychisch ist eine moderne, wohl zeitbedingte Doktrin.) Die Welt, die der Mensch findet, ist das Widerspiel seiner Gespaltenheit in inneres und äußeres Sein und seiner Spannung zwischen Macht und Ohnmacht. Er nimmt mutwillig den reißenden Wolf, das zerstörende Feuer und die Kraft der Natur in seine Dienste und erforscht neugierig alles, was er zwischen Himmel und Erde vorfindet. Aber er ist auch das Lebewesen, das sich mehr als jedes Tier nicht nur vor dem Tode, sondern auch vor dem Leben ängstigt, das Sorgen und Gewissensqualen kennt, das weiß, daß es unbekannt vielen seligen und gefährlichen Faszinationen verfallen kann.

### Theoriebildung

Die Theorien, die der Mensch entwickelt, wurzeln im Zeitgeist und widerspiegeln den grammatischen Charakter seiner Sprache. Solange die Menschheit beispielsweise das Pflügen des Ackers als Ritual auffaßte, das die Götter der Fruchtbarkeit forderten, wäre es unter schwerster Strafandrohung verboten gewesen, dieses Tun in materialistischer Manier als Auflockerung des Bodens zu erklären und damit das göttliche Wirken anzuzweifeln. Der Erfolg des ritualen Pflügens erscheint ja als der unbezweifelbare Beweis des Wirkens der Gottheit. In ähnlicher Weise leisten wohl auch wir in unserer Sisyphusarbeit den unbekannten Göttern unserer Wissenschaftsgläubigkeit harten Tribut und stehen ebenfalls unter dem tyrannischen Gebot, daß nicht sein kann, was nicht sein darf. Jede wirklich neue Theorie muß zuerst einen abenteuerlichen Titanenkampf gegen die grollenden alten Götter bestehen; sie kommt meist erst nach einer Odyssee von menschlichen Irrungen und Lächerlichkeiten ans Ziel.

Beim Aussprechen unserer theoretischen Sätze und Feststellen unserer Erfahrungen wird uns kaum bewußt, wie sehr das Werkzeug unseres Ausdrucks, die Sprache, unser Denken präformiert. Die Sprache läßt nur die ihrer Struktur entsprechenden Wahrheiten oder Widersprüche zum Ausdruck kommen. Jeder Übersetzer weiß, daß gerade der sublimste Gehalt einer Sprache nicht adäquat in eine andere übertragbar ist. Das lateinische Vorbild unseres Denkstils und unserer wissenschaftlichen Sprache hat wahrscheinlich den größten Einfluß auf die Entwicklung der abendländischen, insbesondere der exakten Wissenschaften ausgeübt. Das Chinesische besitzt beispielsweise nach VON TSCHARNER überhaupt keine Wörter, die wir in unserem Sinne logisch-begrifflich nennen könnten; es enthält nur ganz wenige Verhältniswörter und Wortverhältnisse. Dank seiner in unserem Sinne agrammatischen Struktur, seiner konkreten Bildhaftigkeit und seiner ungeheuren Assoziationspotentialität, also alles Eigenschaften, die wir in unsern wissenschaftlichen Aussagen zu vermeiden trachten, findet das Chinesische im Ausdruck von menschlichen Anliegen höchste Gestaltungskraft.

### Die schöpferische Leistung

Zum Schlusse möchte ich noch auf das persönlichkeitspsychologische Problem der schöpferischen Leistung hinweisen. Es ist psychologisch und wissenssoziologisch betrachtet kein Zufall, daß namentlich in den Geisteswissenschaften die wirklich großen Impulse zu neuen theoretischen Konzeptionen von epochaler Wirkung oft von Outsidern ausgingen. Ich könnte aus meinem Fachgebiet an NIETZSCHE, DOSTOJEWSKIJ, BACHOFEN, FREUD und JUNG erinnern, während die angestammten Fachgelehrten auf den akademischen Lehrstühlen bestenfalls große Kompilatoren waren. Die Ursache dieser auffälligen Erscheinung ist wohl darin zu suchen, daß die Konzeption und Durchführung einer neuen Schau der Dinge eine urpersönliche Berufung eines suchenden Menschen ist, die nicht nur viel Scharfsinn und Fleiß, sondern vor allem Mut, Souveränität und herausfordernden Kampfgeist erheischt und nur zu häufig zu Vereinsamung und Diffamierung führt und jedenfalls kein geruhsames Leben gestattet.

Der Hang zum Theoretisieren ist zwar jedem Menschen eingeboren. Jeder sucht nach Maßgabe seines Temperamentes und Talentes, seiner Lebenssehnsucht und seines Bedürfnisses nach Klärung, aber auch nach Ruhm, die großen faszinierenden archetypischen Urbilder zu finden, die ihm helfen könnten, seinem Schicksal und seinem Tun einen überpersönlichen Sinn und eine gültige Richtung zu geben und die dringenden Probleme seiner Zeit zu lösen. Die Motive jeder großen Schau sind persönlicher, einmaliger Art; ihr Inhalt beansprucht, allgemeingültig zu sein. Deshalb taugt von tausend Laientheorien kaum eine etwas. Aber die großen Theorien zeichnen sich anfänglich oft durch eine souveräne Mißachtung der Konvention und Routine aus. Der voreilige Theoretiker sonnt sich gerne im Hochgefühl einer vermeintlich schöpferischen Schau und kümmert sich nicht um die leidige Erfahrung, die nicht zu seiner Theorie passen will. Der gewissenhafte Forscher übt aber gegenüber diesem verführerischen Faszinosum jene Gefühlsaskese, die ihn die große Lehrmeisterin «Erfahrung» gelehrt hat; aber er bleibt dafür auch oft im Stofflichen und in der Berufsroutine befangen.

So sind Theorie und Erfahrung dialektische psychologische Gegensätze, die sich sowohl gegenseitig behindern als auch fördern. Theorie ist große befreiende Schau, beflügelt von prometheischem Affekt und Pathos. Erfahrung heißt gewissenhaftes, konventionelles, bescheidenes Sammeln und Auswerten von unendlich vielen kleinen Sinnesdaten. Diese beiden seelischen Haltungen vertragen sich in ein- und derselben Person äußerst schwer. Der Intuitive wirft dem Empiriker Kleinlichkeit, Mut- und Ideenlosigkeit vor, während dieser im Tun des andern Spekulation, Sensationslust, Ruhmsucht verabscheut. Und doch gelingt eine große theoretische Intuition und eine wirkliche Mehrung der Erfahrung nur aus der Spannung dieser heftigen psychischen Gegensätze, die eine Persönlichkeit in unbeirrbarem Forschungsethos in sich selber austrägt.

## Sur la méthodologie des sciences

Introduction à la discussion sur «Expérience et théorie», par F. Gonseth, Zurich

C'est, d'une part, un privilège et d'autre part une difficulté supplémentaire de parler le troisième. Si l'on a l'avantage de pouvoir se servir de ce qu'ont dit déjà ceux qui ont parlé les premiers, on a aussi le désavantage de devoir en tenir compte. Mais, tout compte fait, je pense que c'est cependant le troisième qui est le plus favorisé.

Je commencerai par relever dans ce qu'ont dit mes prédécesseurs, deux points que j'estime à la fois fondamentaux et complémentaires.

Il n'y a pas de théorie pure, a dit M. Fierz. De la part d'un physicien, même d'un théoricien de la physique, une affirmation de ce genre n'est pas faite pour surprendre. Personne ne pense plus à prétendre que les sciences physiques puissent être établies de façon purement rationnelle et qu'une théorie puisse être dispensée de chercher la confirmation et l'épreuve des faits. Mais l'affirmation de M. Fierz va plus loin. Qu'en est-il en mathématiques ? Les mathématiques ne sont-elles pas le domaine spécifique des théories pures ? La théorie des nombres, la théorie des fonctions, par exemple, doivent-elles quoi que ce soit à l'expérience ? M. Fierz n'a pas craint de s'aventurer sur ce terrain et de faire état des résultats de Gödel. Je l'approuve entièrement de l'avoir fait. Et même, pour dire l'entière vérité, j'ai quelque peu le sentiment d'avoir eu l'herbe coupée sous le pied. J'avais, en effet, aussi l'intention d'en parler.

Qu'il me soit cependant permis de revenir sur les enseignements qu'on peut tirer des dernières recherches sur les fondements des mathématiques, sans insister spécialement sur les théorèmes de Gödel. Les mathématiciens avaient de bonnes raisons (les antinomies, par exemple) de chercher à édifier les mathématiques en un système non contradictoire – en ne négligeant surtout pas de donner la preuve de la non-contradiction de ce système. Ils ont fait de très sérieuses tentatives dans cette intention. Leurs recherches n'ont pas été vaines, elles nous ont apporté certains renseignements d'une valeur décisive. Mais le but primitif n'a pas été atteint; bien plus, il se précise de plus en plus que le problème de la non-contradiction des mathématiques n'est pas un problème qui puisse être traité de façon purement rationnelle. Pour une part qui ne semble pas pouvoir être totalement éliminée, la non-contradiction des mathématiques peut être envisagée comme un fait d'expérience.

Ceci suffit-il pour qu'on ait le droit d'affirmer que les théories mathématiques ne sont pas non plus des théories pures, mais qu'elles comportent, au contraire, un élément expérimental inaliénable ? On en pourrait douter si l'on n'avait pas fait l'expérience que des systèmes logico-mathématiques édifiés avec le plus grand soin se sont révélés contradictoires, et si la meilleure preuve de la non-contradiction d'un système n'était pas le fait même de n'avoir engendré aucune contradiction malgré tous les recoupements et tous les contrôles auxquels la recherche a conduit.

En un mot, et en dépit de l'intention dans laquelle les recherches sur les fondements ont été entreprises, ces recherches confirment, par l'ensemble de leurs résultats, l'opinion sur laquelle j'insiste à mon tour, selon laquelle il n'y a pas de théorie pure.

De l'exposé de M. BIÄSCH, je voudrais tirer une seconde affirmation, négative elle aussi, tout aussi incommode et tout aussi fondamentale: il n'y a pas, pour l'homme, de fait absolument pur, absolument brut. Il y a au contraire, dans tout ce que nous invoquons comme des faits, même dans les plus simples, un élément de préformation et de déformation, éléments dont notre structure intellectuelle et affective doit être tenue pour responsable. Bien entendu, cette seconde affirmation n'est pas plus arbitraire que la première. Elle se fonde sur des techniques psychologiques, elle exprime le résultat d'une pratique psychologique éprouvée, et nous n'avons aucune raison d'en mettre en doute le bien-fondé. Cette constatation comporte – M. BIÄSCH ne l'a pas dit explicitement, mais la chose me semble découler de son exposé – toute une série de variantes telles que les suivantes: il n'y a pas de perception pure, les sens ne nous apportent pas la connaissance d'une réalité telle qu'elle est, il n'y a pas de données parfaitement objectives, etc.

Ces constatations nous viennent aujourd'hui appuyées sur une discipline bien établie. Peut-être me sera-t-il permis de rappeler que déjà en 1905, F. ENRIQUES en disait de même du fait scientifique. Ayant analysé le fait tel qu'on l'invoque dans les différentes disciplines, le fait en physique, le fait en physiologie, le fait en sociologie, en histoire, etc., il était arrivé à la conclusion que nulle part le fait qu'on appelle en témoignage, le fait témoin, n'est un fait absolument pur.

Ces deux constatations sont en quelque sorte complémentaires l'une de l'autre. Elles ont des conséquences immédiates quant à l'idée qu'il nous est permis de nous faire de la méthode des sciences. Elles nous apprennent que deux positions extrêmes doivent être écartées l'une et l'autre, celle du théoricien pur et celle de l'expérimentateur pur. Ces deux positions doivent être écartées parce qu'il n'y a pas de réalité qui leur corresponde exactement. Il ne nous est pas donné de pouvoir les réaliser concrètement par les activités dont nous sommes capables.

Il n'est pas difficile de comprendre que c'est là une conséquence très incommode, une conséquence qui vient troubler l'idée très simple que l'on s'est faite et que beaucoup se font encore d'une science positive. D'après cette idée, le travail scientifique pourrait se résumer en deux points essentiels:

1° trouver des faits, des faits bien établis – et

2° formuler des lois qui soient conformes à ces faits.

L'un de ces deux points doit-il avoir la priorité sur l'autre ? Faut-il penser, par exemple, que la constatation des faits doit toujours précéder la formulation des lois ? La doctrine de la science positive dont je parle inclinerait peut-être à donner la priorité à la constatation des faits, mais l'importance croissante des considérations théoriques l'oblige à ne pas

exclure la légitimité du cas en quelque sorte symétrique où les lois sont d'abord posées (ou déduites) pour être ensuite soumises à l'épreuve des faits. Cette idée de la démarche scientifique se base elle-même sur deux présuppositions:

1° qu'il y a des faits bien définis, des faits qu'on peut constater tels qu'ils sont,

2° qu'il y a un langage (un langage mathématique, en particulier) au fonctionnement impeccable et dans lequel les lois peuvent être exactement formulées.

Ces deux présuppositions sont-elles légitimes? Un homme de bon sens peut-il en contester le bien-fondé? Or, la première nous ramène, en fin de compte, au recours aux faits purs et la seconde à la mise en œuvre de constructions théoriques autonomes. Ce sont là, précisément, les deux présuppositions dont nous venons de dire avec MM. Fierz et Bïasch, qu'elles nous sont désormais interdites.

Quelques-uns penseront peut-être que je recherche le paradoxe. Ils feront observer que c'est avec ces deux présuppositions essentielles que la science moderne s'est mise en marche. Que c'est à la clarté et à la simplicité de cette position qu'elle doit une bonne partie de ses succès. Que la recherche scientifique continue à s'en inspirer, sans perdre de temps à examiner si elle est ou non légitime, et que son élan n'en est cependant pas arrêté. Que la pratique sanctionne ainsi les deux hypothèses qui viennent d'être déclarées interdites, et que par conséquent ces dernières ne peuvent pas être aussi fausses qu'on a voulu l'affirmer tout à l'heure et que finalement, l'analyse qui conduit à les mettre en doute ne peut avoir de valeur et de conséquence pour la pratique de la recherche scientifique.

Il est tout à fait indéniable que ce double réalisme, réalisme du fait d'une part et réalisme de l'idée d'autre part, a servi de «plate-forme efficace» à la science moderne. L'acte de naissance de cette dernière peut être daté de l'époque où le rationnel fit alliance avec l'expérimental. Qu'on veuille bien nous comprendre: nous ne songeons aucunement à le contester, bien au contraire. Nous tenons bien plutôt à le rappeler nous-mêmes comme un des éléments de la situation actuelle. Mais je ne pense pas qu'il soit légitime de simplifier arbitrairement cette situation en ne retenant que le troisième point, le fait que les deux présuppositions en question ont longtemps servi de base méthodologique (de base gnoséologique) à la science, le fait que longtemps, cette base a pu être tenue pour suffisante et qu'elle est encore tenue pour telle aujourd'hui dans certains secteurs étendus de la recherche. Ce fait doit être retenu, son importance n'échappe à personne. Mais à quoi servirait-il de fermer les yeux sur les deux autres faits que nous avons constatés pour commencer, et selon lesquels les présuppositions dont nous parlons ne résistent pas à un examen plus approfondi? Ces deux faits appartiennent aussi à la situation telle qu'elle se présente aujourd'hui. Ce qu'il faut comprendre, c'est comment ces trois faits peuvent être conciliés sans que ni l'un ni l'autre

ne soit négligé. N'en retenir qu'un, ne retenir que l'efficacité qui nous a portés jusqu'où nous sommes, c'est faire pencher la balance du côté d'un empirisme somme toute assez simpliste et qui n'a rien de spécialement scientifique.

Un problème nous est posé par la difficulté même de concilier les trois faits dont nous avons à tenir compte. De quel droit prétendre que ce problème est sans importance pour la science, et que la recherche scientifique ne peut tirer aucun avantage de son élucidation ?

Le problème qui commence ainsi à se dégager de l'analyse de la situation actuelle n'est certainement pas sans relation avec celui qui fut proposé comme thème de discussion au premier symposium organisé par la S. H. S. N. à St-Gall en 1948. Le sujet en était, on se souvient: Les critères de la connaissance scientifique. A cette occasion, j'avais été frappé (et je n'avais sûrement pas été le seul à l'être) du fait suivant: Les participants venus des disciplines scientifiques les plus diverses étaient, sans aucun doute, des esprits formés aux exigences sévères de la recherche dans le cadre de leur propre discipline. On aurait donc pu penser que leurs avis se compléteraient naturellement les uns les autres, et qu'à eux tous, ils cerneraient sans trop de peine ce qui fait la spécificité de la connaissance scientifique. La discussion ne prit cependant pas le tour aisé et rapide qui aurait répondu à cette attente.

Ce que la discussion montre surtout, c'est que beaucoup, confiants dans l'authenticité et la rigueur de leur pratique n'avaient pas éprouvé le besoin de se faire une idée claire et précise des «critères du scientifique». Nous voulons dire que, pratiquement, ils avaient pu s'en passer et que, théoriquement, ils n'en avaient pas éprouvé la nécessité. Le cours de la discussion révéla cependant que l'explicitation de ces critères n'est pas chose si facile et qu'un accord unanime n'est pas chose si naturelle.

Quelques-uns d'entre vous s'étonneront probablement de me voir passer ici complètement sous silence la doctrine de l'empirisme logique. Aussi vais-je en dire quelques mots. Cette doctrine représente précisément une tentative de codification de la méthode scientifique et par conséquent un essai d'explicitation des critères définitifs de la démarche scientifique.

Elle s'attaque directement au problème de la mise en rapport de l'expérimental et de son expression théorique. Elle se présente donc comme une solution de la question même que nous nous proposons de discuter aujourd'hui. Comme la doctrine très simple dont nous parlions tout à l'heure, elle va chercher un double point d'ancrage. Elle trouve le premier dans l'expérimental par l'intermédiaire des énoncés de faits (Protokollsätze). Un énoncé de fait (d'après la doctrine de l'empirisme logique) exprime purement et simplement une constatation expérimentale indéniable, la constatation par exemple qu'à telle heure et en telles circonstances, une aiguille occupait telle position sur un cadran de mesure.

Elle trouve le second dans le théorique par l'intermédiaire de l'idée (à réaliser) d'une syntaxe tautologique. La syntaxe tautologique devrait apporter les règles purement formelles selon lesquelles des énoncés justes

peuvent être alliés et combinés pour engendrer de nouveaux énoncés justes. Une règle purement formelle n'ajouterait rien au contenu de réalité des énoncés sur lesquels elle peut avoir prise.

Les énoncés scientifiques, enfin, dériveraient des énoncés de faits par la seule intervention de la syntaxe tautologique.

L'idée directrice de l'empirisme logique est, on le voit, très analogue à celle de la solution que nous venons de qualifier de «très simple». Nous ne voulons pas examiner ici si les énoncés scientifiques s'obtiennent véritablement par le procédé qui vient d'être indiqué, c'est-à-dire par un remaniement tautologique des énoncés de faits.

Nous nous contenterons plutôt d'examiner les deux présuppositions fondamentales de cette théorie de la science: l'idée de l'énoncé de fait n'est qu'une variante de celle du fait pur, et l'idée de la syntaxe tautologique une spécialisation de l'idée du théorique pur. Les deux points d'ancrage de l'empirisme logique tombent donc sous la double critique que nous avons résumée en affirmant aprés MM. Fierz et Bäsch: il n'y a pas de fait pur et il n'y a pas de théorie pure.

Ne faut-il pas dire que l'empirisme logique est précisément le modèle d'une théorie de la science que nous n'avons plus la faculté, aujourd'hui, de trouver idoine.

Complétons enfin l'exposé de la situation dans laquelle nous nous trouvons par une dernière remarque:

La critique à laquelle nous venons de soumettre l'idée du fait pur et l'idée de la théorie pure n'aura probablement pas entamé certaines convictions fortement établies. Cette critique devrait-elle conduire à jeter le doute sur les constatations élémentaires auxquelles l'expérimentateur est fatalement ramené une fois ou l'autre ? Devrait-elle affaiblir en nous la conviction que, dans la recherche scientifique, ce sont les faits qui décident ? Si tel était le cas (pensera certainement tout «scientifique authentique») il n'y aurait qu'une attitude qui convienne: Refuser toute valeur à la critique. L'idée du fait expérimental décisif ne peut être ni abandonnée ni contestée.

Eh bien, c'est là précisément le point sur lequel nous voulons nous-même insister de la façon la plus pressante: La nécessité du recours aux faits expérimentaux doit être posée hors de toute critique, si l'on ne veut pas parler d'une science arbitraire ou imaginaire, mais bien de la science réelle.

Et d'ailleurs, que sommes-nous en train de faire, en ce moment même ? Ne groupons-nous pas des faits suffisamment importants et suffisamment assurés pour qu'il faille en tenir compte ? Ne prétendons-nous pas exposer la situation telle qu'elle est et tirer les conséquences de cet état de fait ?

Tournés vers celui dont la tendance serait de tout réduire au théorique, nous lui disons: il n'y a pas de théorie pure, on ne peut éviter de s'appuyer sur les constatations de faits. Et tournés vers celui qui serait tenté de tout réduire à l'expérimental, nous ajoutons: il n'y a pas de fait pur et le recours à l'activité rationnelle est indispensable.

Telle est la situation. Elle semble comporter des éléments inconciliables. Est-il cependant possible de s'en faire une idée claire et bien ordonnée ? C'est là la question qu'on ne peut guère manquer de rencontrer lorsqu'on se met à songer aux fondements et aux caractères distinctifs de l'activité scientifique.

* * *

Ayant commencé par des remarques critiques, je continuerai maintenant par quelques indications constructives.

Je présenterai tout d'abord une objection qu'il serait facile de me faire: vous prétendez, me dira-t-on, vous appuyer sur des faits pour assurer et faire admettre que la notion de fait pur n'est pas une bonne notion, qu'elle ne peut être adéquatement réalisée. N'est-ce pas là le modèle d'un cercle vicieux ? – C'est, au contraire, l'objection qui est le modèle d'un argument à surmonter.

Nous allons retrouver une objection de même structure à propos de la théorie de la relativité. (Qu'il me soit permis de m'aventurer sur le territoire du physicien puisque tout à l'heure le physicien n'a pas craint de pénétrer en territoire mathématique).

L'homme normal est naturellement en possession d'une certaine représentation de l'espace et du temps. Dans le cadre de cette représentation, le principe de simultanéité jouit d'une évidence totale. C'est avec cette représentation que les expériences fondamentales (de MICHELSON par exemple) ont été faites.

Je n'ai nullement l'intention d'exposer la théorie de la relativité restreinte qui permet de relier et d'interpréter ces expériences sur les besoins de mon explication; seules deux circonstances sont à retenir. La première, c'est que la théorie de la relativité ne respecte pas l'évidence du principe, l'évidence (de première instance) du principe de simultanéité dont il vient d'être question. Elle exige, au contraire, que nous y renoncions, que nous sachions y renoncer. Le résultat de l'expérience nous oblige ainsi à revenir sur les conditions dans lesquelles l'expérience s'est faite. Ne faudrait-il pas dire qu'elle apporte à ces dernières un élément de doute et qu'elle les discrédite ? Ce changement irait bien trop loin s'il n'était pas tempéré par la prise en considération de la deuxième des deux circonstances dont nous parlions. Nous venons de le rappeler: la théorie de la relativité exige de nous que nous sachions nous faire une nouvelle conception des rapports du temps et de l'espace, une conception de deuxième instance qui, sur certains points, est diamétralement en désaccord avec la conception de première instance. La conception à en tirer, dira-t-on, est nette et claire: la conception de première instance doit être simplement abandonnée au profit de la conception de deuxième instance. Le bon sens ne l'exige-t-il pas ? Un bon sens encore plus immédiat doit nous rappeler que nous ne sommes pas capables de renier purement et simplement la conception que nous avons naturellement des rapports du temps et de l'espace: celle-ci est un des moyens inévitables, irréduc-

tibles, inaliénables, grâce auquel la recherche et l'édification de la connaissance nous sont possibles. Le changement de deuxième instance reste fondé sur le changement de première instance, bien que l'existence de la deuxième instance ait précisément pour résultat de dégrader la première instance et de la réduire à une instance provisoire et sommaire.

C'est là ce que j'appelle une situation dialectique, c'est-à-dire une situation dans laquelle le progrès de la connaissance retentit sur les fondements de cette connaissance, venant infirmer ce fondement en tant que fondement définitif, mais le confirmant en tant que fondement préalable et inaliénable.

La situation dialectique est-elle exceptionnelle ? Une fois qu'on a clairement saisi comment elle se présente et quelle est sa signification, on se rend aussi compte que non seulement elle est quotidienne dans notre vie comme dans la vie de tous les autres hommes, mais que c'est aussi la norme dans les sciences. La situation dialectique est la situation normale de toute pensée dont le progrès doit être possible, de toute connaissance qui doit comporter la dimension de sa propre évolution.

Mais la situation dialectique est théoriquement impossible dans la doctrine très simple de la science dont j'ai d'abord parlé (et naturellement aussi dans la doctrine de l'empirisme logique), et c'est bien pourquoi la doctrine très simple ne représente, malgré l'efficacité dont elle a pu jouir jusqu'à maintenant, qu'une étape vers une conception plus juste, plus adéquate de la méthode scientifique.

En d'autres termes encore, pour qu'un critère de la connaissance scientifique puisse être considéré comme authentique, il faut que le caractère de la démarche scientifique (au sens que je viens d'expliquer) soit un des premiers faits dont il s'agit de tenir compte.

* * *

Mais ce que je viens de dire exprime-t-il davantage qu'un simple vœu ou davantage qu'une simple intention ? Si la situation est bien telle que je viens de l'exposer, il est tout naturel de se demander comment la doctrine de la science pourrait être perfectionnée pour en tenir compte. De là, il n'y a plus très loin jusqu'au vœu et jusqu'à l'intention de dégager une théorie de la science de deuxième instance, venant prolonger et parfois suppléer la théorie de première instance, à la fois nécessaire et préliminaire, dont la recherche scientifique s'est longuement inspirée et contentée. Mais est-il possible d'en dire davantage aujourd'hui ? De l'intention à sa réalisation, il y a souvent un long chemin. La voie est-elle ouverte, s'y est-on déjà engagé, y a-t-on fait déjà quelque progrès ?

J'estime qu'on peut, sans hésiter, répondre affirmativement à ces dernières questions. La méthode scientifique de deuxième instance commence à se dessiner. Les études et les réflexions persévérantes sur le problème des fondements et de la méthode des sciences particulières et des sciences en général commencent à porter leurs fruits. Le résultat correspond d'ailleurs assez peu à ce que pourrait être notre attente.

A quelle discipline faudrait-il reconnaître le droit et la capacité de dégager la méthode scientifique de la deuxième instance dont il est maintenant question ? Celle-ci serait-elle l'œuvre d'une philosophie des sciences qu'il faudrait constituer en avant de toutes les sciences particulières et, du point de vue méthodologique, antérieurement à ces dernières ? Pour parvenir à ce but, faudrait-il d'abord constituer une métaphysique de la science qui ne devrait rien (j'insiste sur ce point qui est tout à fait fondamental) qui ne devrait rien à la pratique de la recherche elle-même ?

C'est tout autrement que les choses se présentent. La méthode de deuxième instance ne se propose pas comme une méthode rationnelle nécessaire à priori. Elle se présente comme un fait, comme un fait à distinguer, à dégager, comme la méthode qu'on pratique dans la recherche réelle, pour le dire en un mot.

Je n'entrerai pas ici dans les détails. J'indiquerai seulement en passant qu'un examen attentif, suffisamment attentif du développement à travers l'histoire d'une science aussi classique que la géométrie élémentaire révèle déjà tous les points essentiels, tout ce que l'on pourrait appeler une *méthode de la science dialectique*. Je me suis attaché à le faire voir dans les cahiers parus successivement sous le titre général «La géométrie et le problème de l'espace».

Il est cependant un fait que je crois utile de relever ici. La question dont je parle maintenant a fait plus ou moins directement l'objet d'une bonne part des discussions des «Deuxièmes Entretiens de Zurich», au printemps 1948. Au cours de la discussion finale, M. DESTOUCHES formula les termes de ce qu'il appela lui-même «L'accord de Zurich sur les principes fondamentaux de la connaissance scientifique». Cet accord lui semblait susceptible de trouver l'assentiment de la plupart des savants qui se seraient occupés de la question. A son avis, l'accord pourrait, d'ores et déjà, porter sur les quatre principes fondamentaux (qui avaient déjà été mis explicitement en discussion à Bruxelles en 1947 au symposium organisé par l'«Institut des sciences théoriques» sur le sujet):

*Les principes de révisibilité, de dualité, d'intégralité et de technicité.*

Voici en quelques mots le sens de ces quatre principes:

*Le principe de révisibilité:* Le principe de révisibilité affirme simplement le droit que les conceptions scientifiques ont d'être revisées, lorsque l'expérience l'exige. Ce droit n'est pas une obligation, c'est un droit dont naturellement la science fait un usage courant.

*Le principe de dualité:* énonce (comme une hypothèse d'ores et déjà plausible et que les recherches de méthodologie confirment de plus en plus) l'irréductibilité du dialogue entre l'expérience et la théorie.

*Le principe d'intégralité* constate le fait que le système de nos connaissances est un instant déterminé et un tout bien lié et qu'une revision apportée sur un point est susceptible, selon des cas, d'avoir des conséquences sur tout autre point de l'édifice.

*Le principe de technicité,* enfin, affirme que le progrès de la connaissance scientifique est essentiellement lié à l'exercice des disciplines spécialisées.

Vous aurez remarqué, Mesdames et Messieurs, que le principe de dualité est intimement lié à la question qui doit faire l'objet de la discussion de ce soir: la question des rapports de l'expérience et de la théorie. Cette question a naturellement un sens immédiat pour tous ceux qui sont engagés dans une activité scientifique. J'ai cru qu'il serait cependant utile de la placer dans le cadre des discussions méthodologiques, cadre dans lequel elle prend une partie beaucoup plus importante, dans lequel tout progrès de notre réflexion pourrait prendre une signification beaucoup plus ample.

**Diskussion**

Von der Diskussion, an der sich außer den Referenten die Herren Professoren LEHMANN (Exp. Biol.), SCHÜRER (Astronomie), WIELAND (Phys. Chemie), PFÖRTNER (Phil.), MERCIER (Theor. Phys.), WALTER (Chemie), GAGNEBIN (Theor. Phys.), SCHENKEL (Chemie), KÖNIG (Exp. Phys.) beteiligten, können leider aus technischen Gründen nur sehr wenige Ausschnitte wiedergegeben werden.

LEHMANN möchte die Gegenüberstellung von Theorie und Erfahrung weiter abgeklärt wissen durch die Erläuterung der Begriffe «konkret» und «abstrakt». Bezieht sich nicht die Abstraktion u. U. auf kleinere Bezirke, während die Theorie auf ein umfangreiches Gefüge von Abstraktionen abstellt? Ist aber nicht auch die Erfahrung ein Gefüge konkreter Erlebnisse, aus denen bereits Gemeinsames abstrahiert wurde? – SCHÜRER bezieht sich auf die unmittelbar gegebene Situation, in der sich die Wirklichkeit als unentwirrbare Ganzheit und der menschliche Geist mit seinen beschränkten Fähigkeiten gegenüberstehen. Es sollte möglich sein, die vier GONSETHschen Prinzipien und eventuell weitere aus dieser Situation herzuleiten. – WALTER verweist auf die geschichtliche Wandlung der in Frage stehenden Begriffe und postuliert ein Kumulationsprinzip (Synthese einzelner Teiltheorien), dessen Wirksamkeit an Beispielen aufgezeigt wird.

Die begriffliche Trennung in die Bereiche Theorie und Erfahrung ist relativ leicht durchführbar in den mehr beschreibenden Wissenschaften, wo die unzähligen, nicht genau erfaßbaren Nebenerscheinungen von vorneherein zu einer gewissen Diskrepanz zwischen Theorie und Beobachtung führen. Sie wird problematisch in theoretisch durchgearbeiteten und relativ abgeschlossenen Gebieten wie der klassischen Mechanik und der elektromagnetischen Lichttheorie. Es ist beispielsweise weitgehend willkürlich, das Elektron als Erfahrungsobjekt oder als hypothetisches Element aufzufassen. Die Möglichkeit der Trennung besteht auch hier, doch wird die Unterscheidung willkürlicher und mehr eine Frage der Blickrichtung. Die innigste Verschmelzung von Theorie und Erfahrung

findet sich schließlich in der Logik als «Physik des beliebigen Objektes». Weiter zeigt das Zwischengebiet der Psychophysik besonders klar das Fehlen «reiner» (nicht durch Konventionen und Theorien mitbedingter) Beobachtungstatsachen (König). – Die auf F. Bacon zurückzuführende Idee des «experimentum crucis» (exemplifiziert am Aragoschen Versuch, der seinerzeit in der Optik zwischen der Emissionstheorie Newtons und der Wellentheorie Huyghens entschied) kann dem komplexen Charakter der Beziehungen zwischen Theorie und Erfahrung nicht genügen. Ein solches Experiment kann nicht definitiv entscheiden, denn jede Theorie besitzt starke und schwache Stellen, die für ihre (momentane und immer provisorische) Wertung gegenüber andern Theorien maßgebend sind. Es gibt weder reine Theorien noch reine Tatsachen; es gibt keine Wahrnehmung ohne Interpretation (Gagnebin).

Mercier will die Mathematik von dem die Naturwissenschaften beherrschenden dialektischen Spiel zwischen Theorie und Erfahrung ausnehmen. Die Naturwissenschaften beziehen sich auf einen sie charakterisierenden Gegenstand, die Mathematik aber auf mögliche Gruppen von Aussagen, deren Widerspruchsfreiheit nicht auf Erfahrung beruht, sondern unmittelbarer erfaßt wird. Demgegenüber betonen Fierz und Gonseth den gegenständlichen, teilweise experimentellen und provisorischen Charakter der mathematischen Theorien und damit das den Naturwissenschaften und der Mathematik gemeinsame Moment. Mercier hingegen hebt die Unterschiede hervor: Jede Naturwissenschaft sucht spezielle in der Natur tatsächlich vorliegende Harmonien, ihr Gegenstand ist von außen diktiert; die Mathematik aber schafft ihre Gegenstände selbst, sucht durch Abstraktion alle denkbaren Harmonien zu bestimmen und ist so die unentbehrliche Grundlage der positiven Wissenschaften. In diesem Punkt stimmen die Ansichten weitgehend überein, doch bleibt die Frage offen, ob die Erfahrung der Mathematik grundsätzlich anderer Art ist als die Erfahrung der Naturwissenschaften (Mercier) oder nicht (Gonseth).

# Die Metamorphose des Schneekristalls

Von

M. DE QUERVAIN

Leiter des Eidg. Institutes für Schnee- und Lawinenforschung, Weißfluhjoch

Abendvortrag, gehalten am 27. August 1950, im Rathaussaal, Davos

*Vorbemerkung:* Der nachfolgende Vortrag war begleitet von 36 Lichtbildern. Wir können hier nur drei Illustrationen beigeben. Eine gewisse Umstellung des Textes erwies sich daher als notwendig.

Den Besuchern des Schneeforschungsinstitutes leuchtet im allgemeinen die Nützlichkeit der Untersuchungen über das Problem der Lawinenverbauung ohne weiteres ein. Hingegen bereitet es ihnen oft Mühe, den Zweck gewisser anderer Studien zu verstehen. Fragende Gesichter oder gar leicht geschüttelte Köpfe sind besonders beim Mikroskopiertisch im Kältelaboratorium zu beobachten, wo der Schneekristall als isoliertes Einzelindividuum oder als Element der Schneestruktur untersucht wird.

Dem Naturwissenschafter gegenüber braucht dieser Zweig der Schneeforschung nicht besonders gerechtfertigt zu werden, denn ihm ist es ja geläufig, daß überall, wo Materie im Spiel ist, die makroskopischen Phänomene im Mikroskopischen, wenn nicht gar im Ultramikroskopischen begründet sind. In diesem Sinne ist auch eine Lawine letzten Endes das Ergebnis von Vorgängen im kristallinen oder molekularen Bereich. Dem Naturwissenschafter ist aber auch der Gedanke vertraut, daß Forschung um ihrer selbst willen betrieben werden kann, einfach aus wissenschaftlicher Neugier heraus. Auch etwas von diesem Motiv steckt in der Beschäftigung mit dem Schneekristall und seiner Metamorphose.

Im irdischen Kreislauf des Wassers führen mehrere Wege streckenweise über die feste Phase, das Eis. Das uns hier interessierende Teilstück beginnt mit der Bildung eines Eiskeimes in der Atmosphäre, zieht sich weiter mit dem aufwachsenden und sich ablagernden Schneekristall in die Schneedecke und endet mit der Schneeschmelze im Frühling. Wir wollen das Geschick des Eiskristalls über die ganze Wegstrecke verfolgen und dabei unsere Aufmerksamkeit besonders seiner Gestaltänderung schenken.

Jeder Skiläufer weiß, daß Schnee ein sehr veränderliches Material ist. Gewicht, Festigkeit, Reibungsverhältnisse und viele andere Eigenschaften variieren in weiten Grenzen — mit dem Ort und mit der Zeit. Für die verschiedenen Schneearten sind allerlei hergebrachte Bezeichnungen in Gebrauch, wie «Pulverschnee», «Altschnee», «Harsch», «Firn» usw. Die Ansätze für eine wissenschaftliche Klassierung sind hingegen verhältnismäßig jung. Als einer der ersten hat der kürzlich hochbetagt verstorbene deutsche Geologe WILHELM PAULCKE den Schnee in allen seinen Erscheinungsformen systematisch beobachtet (1). Er hat auch den Vorgang der stetigen Schneeumwandlung erkannt und als Diagenese bezeichnet. Später ist von Mitarbeitern der Schweizerischen Schnee- und Lawinenforschungskommission der Begriff der Schneemetamorphose in Anlehnung an die Gesteinsmetamorphose eingeführt worden (3). In diesem Zusammenhang muß auch der Engländer G. SELIGMAN erwähnt werden, dessen Buch das englische Standardwerk über Schnee ist (2).

Die erste Phase der Metamorphose spielt sich in der Atmosphäre ab und erfaßt bereits den fallenden und aufwachsenden Schneekristall.

Bis in die jüngere Zeit war das freie Wachstum der direkten Beobachtung entzogen. Man begnügte sich damit, die fallenden Schneekristalle aufzufangen und ihren unerschöpflichen Formenreichtum zu bewundern. So hat der Amerikaner W. A. BENTLEY (4) anfangs des Jahrhunderts begonnen mit der Kamera Jagd auf Schneekristalle zu machen, und er hat im Lauf von Jahrzehnten Tausende von Aufnahmen gesammelt, kaum eine gleich wie die andere.

In den dreißiger Jahren ist es dem Japaner U. NAKAYA mit seinen Mitarbeitern (5) gelungen, im Laboratorium Eiskeime zu Schneekristallen von normaler Größe auswachsen zu lassen und durch Variation von Temperatur und Feuchtigkeit viele der in der Natur beobachteten Formen zu erzielen. Die Keimbildung selbst ist von zahlreichen Forschern eingehend untersucht worden. Der Amerikaner V. J. SCHAEFER (6), um nur einen Namen zu nennen, hat beobachtet, daß sich unterkühlter Nebel in Gegenwart gewisser Fremdsubstanzen in eine Eiswolke umwandelt. Die Fremdsubstanzen – es handelt sich um fein verteilte Partikel mineralischer Zusammensetzung – wirken dabei als Sublimationskerne. Bei Temperaturen unter —40° C sind diese Kerne nicht mehr notwendig; die Eisbildung erfolgt dann spontan. Aus diesen Beobachtungen sind die heute viel diskutierten Methoden der künstlichen Niederschlagsauslösung entwickelt worden.

Auf Weißfluhjoch hat man sich erst spät dem *fallenden* Schnee zugewandt. Der Auftrag des Institutes stellte das Studium des abgelagerten Schnees in den Vordergrund. Immerhin haben im Winter 1948/1949 die beiden Mitarbeiter TH. ZINGG und H. P. EUGSTER (7) in kombinierten meteorologischen und kristallographischen Beobachtungen bereits eine bemerkenswerte Korrelation zwischen dem Ablauf einer Wettersituation und dem dabei auftretenden Habitus der Schneekristalle festgestellt.

Auf seinem Weg zum Erdboden trifft der Kristall ständig wechselnde Temperatur- und Feuchtigkeitsverhältnisse an. Bald ist er mehr, bald weniger unterkühlt gegen seine Umgebung. Dementsprechend werden Phasen raschen Wachstums abgelöst von Momenten der Stagnation, oder gar des Verdampfens und Abschmelzens. Ähnlich einer aerologischen Sonde, zeichnet also der Kristall den Zustand der Atmosphäre längs des durchmessenen Weges auf und integriert ihn in seiner Gestalt.

Je vollständiger unsere allgemeinen Kenntnisse über die Wachstumsverhältnisse des Eiskristalles im Dampfstrom sind, desto besser werden wir aus einem aufgefangenen Schneestern den momentanen Zustand der Atmosphäre herauslesen können.

Im Frühstadium des Kristallwachstums beobachtet man oft hexagonale Plättchen von mikroskopischer Größe bis zu Durchmessern von 1–2 mm. Beim weiteren Wachstum entstehen an den sechs Ecken, je nach Temperatur und Übersättigung der Luft, entenfußartige, balkenförmige oder spießartige Fortsätze, die ihrerseits wieder Seitenäste tragen können. Mitunter wächst der Stern direkt vom Zentrum aus strahlig, ohne Bildung einer Zentralplatte. Als Rarität treten verzwillingte Formen mit 12 regelmäßigen Ästen in Erscheinung, andererseits auch Halbformen von dreizähliger Symmetrie. Die eben erwähnten Typen sind Einkristalle oder gesetzmäßige Verwachsungen, deren kristallographische Hauptachsen parallel zur Achse ihrer äußeren Symmetrie verlaufen. In engen Bereichen der Wachstumsbedingungen entstehen Nadeln, seltener kurzsäulige Prismen. Sehr häufig aber beschert uns der Himmel alle möglichen Verwachsungen, Zusammenballungen, Krüppel- und Trümmerformen. Im stürmischen Bergwinter kann man unter Umständen wochenlang auf einen ansehnlichen Schneestern warten.

V. J. Schaefer (8) hat ein hübsches Verfahren angegeben, um die Kristalltypen eines Schneefalles in aller Ruhe studieren zu können.

Eine Glasplatte wird mit einer 2%igen Lösung von Polyvinylformal in Dichloräthylen begossen und einige Sekunden dem Schneefall ausgesetzt. Die auftreffenden Kristalle werden sofort von der Lösung umschlossen. Nun läßt man das Lösungsmittel in der Kälte, vor weiterem Schneefall geschützt, verdampfen. Das Präparat kann hernach in das warme Zimmer gebracht werden, wo die Schneekristalle schmelzen und ebenfalls verdunsten. Zurück bleibt schließlich ein hauchdünner Abguß, der die ursprüngliche Gestalt der Schneekristalle naturgetreu wiedergibt. Solche Präparate lassen sich direkt projizieren, sie können aber auch mikroskopischen Studien unterzogen werden und sollen hinsichtlich Genauigkeit der Reproduktion elektronenmikroskopischen Ansprüchen genügen.

Eine systematische Klassierung aller Typen von Neuschneekristallen ist verschiedentlich vorgeschlagen worden, u. a. von U. Nakaya.

Gegenwärtig ist eine kleine internationale Kommission mit der Ausarbeitung einer Schneeklassifikation beschäftigt. In einem ersten Vorschlag sind für den fallenden Schnee 10 Klassen von Kristalltypen aufgestellt worden, die alle festen Hydrometeore, also auch Graupeln

und Hagel, in sich schließen. Das System ist nicht eigentlich nach kristallographischen Gesichtspunkten aufgebaut, vielmehr umfassen die einzelnen Klassen meteorologisch zusammengehörige Formen. Mit einer oder wenigen Zahlen soll ein Schneefall charakterisiert werden können.

Gewisse Formen, z. B. einseitige Pyramiden, rufen immer wieder Diskussionen über die kristallographische Klassenzugehörigkeit des Eises auf den Plan. Es ist eigenartig, daß heute noch, und zwar durchaus begründet, Meinungsverschiedenheiten über diesen Punkt bestehen, obgleich doch Eis ein denkbar gewöhnliches und leicht zugängliches Mineral ist! – Neulich wurde in Deutschland eine piezoelektrische Erregbarkeit von Eis in der *c*-Achse nachgewiesen (9). Damit dürfte die Frage der Entscheidung nähergerückt sein, indem nur noch polare Achsen zu berücksichtigen wären. Die hexagonale Hemimorphie ($C_{6v}$) scheint als Kristallklasse die größte Chance zu haben.

Bevor wir das weitere Schicksal des abgelagerten Neuschneekristalls in der Schneedecke verfolgen, soll kurz auf ein Experiment «in vitro» hingewiesen werden. Wir fragen uns: Wie verhält sich ein Schneekristall, wenn man ihn in ein kleines Glashäuschen sperrt und bei konstanter negativer Temperatur sich selbst überläßt ? Das Resultat dieses erstmals von H. Bader (3) ausgeführten Versuches läßt sich wie folgt beschreiben:

Zunächst verliert der Kristall die feine Ziselierung, wird transparent, die Ecken und Kanten runden sich ab, und zusehends konzentriert sich das Material von den sich abbauenden Seitenästen auf die Hauptäste und das Kristallzentrum. In einem Fall wurde im Lauf von 71 Tagen das Wachstum eines dünnen Seitenastes zu einem ebenflächig begrenzten Plättchen (Prisma und Basis) beobachtet. Man hat es offenbar bei dieser Umlagerung mit einer selektiven Verdampfung und Kondensation zu tun. An den vorspringenden, konvexen Teilen werden die Moleküle weniger stark an den Kristall gebunden als in einspringenden Winkeln und werden dort allmählich abdampfen. Das führt zu lokaler Übersättigung in bezug auf die anderen Partien des Kristalls und zur Eisausscheidung an diesen Teilen. Wir dürfen bei diesen Versuchen aber nicht verschweigen, daß möglicherweise geringe Temperaturschwankungen in der Kältekammer am Effekt mitbeteiligt sind.

Der Gedanke, daß vielleicht eine Substanzwanderung in der Kristalloberfläche selbst an der Umwandlung mitwirken könnte, hat uns dazu veranlaßt, einen Schneekristall in Paraffinöl einzubetten und isoliert von der Dampfatmosphäre bei —10° C aufzubewahren. Nach 100 Tagen Haft war aber praktisch keine Veränderung festzustellen, was zu beweisen scheint, daß die Möglichkeit des Dampfaustausches für die Metamorphose unerläßlich ist.

Welches letzten Endes ihr Mechanismus ist, soll hier nicht erörtert werden. Für das weitere genügt es, festzuhalten, daß der gegliederte Neuschneekristall, umgeben von einer Dampfatmosphäre, außerordentlich labil ist und nach einer Vereinfachung seiner Form strebt.

Nun zum Experiment «in vivo», d. h. zur Metamorphose des Schneekristalls im Gefügeverband der natürlichen Schneedecke. Ein Blick in die angeschnittene hochwinterliche Schneedecke im Versuchsfeld Weißfluhjoch (Fig. 1) läßt ihre horizontale Schichtung erkennen als Abbild der meteorologischen Verhältnisse während und zwischen den einzelnen Schneefällen. Im durchscheinenden Profil kommt die Schichtung besonders schön zur Geltung, da unterschiedliche Korngröße und Kornpackung ungleiche Lichtdurchlässigkeit zur Folge haben. In regelmäßigen Zeitabständen vom Einschneien bis zum Ausapern wurden aus

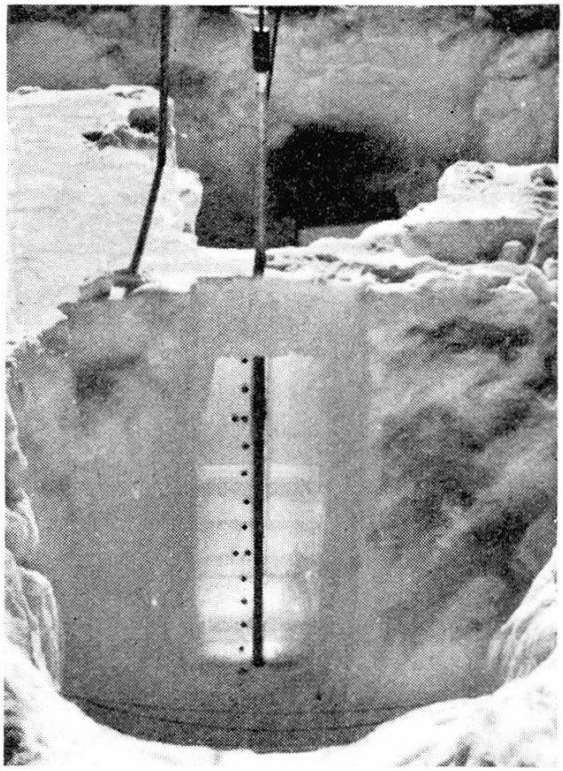


Fig. 1
Durchscheinendes Schneeprofil, aufgenommen im Versuchsfeld Weißfluhjoch am 2. Februar 1950. Das dunkle Metallrohr in der Bildmitte ist eine mit einer Kegelspitze versehene Rammsonde, die vor der Öffnung des Profils zur Festigkeitsprüfung in den Schnee eingetrieben wurde. Höhenmarkierung mit Nägeln von 10 zu 10 cm. (Photo M. de Quervain)

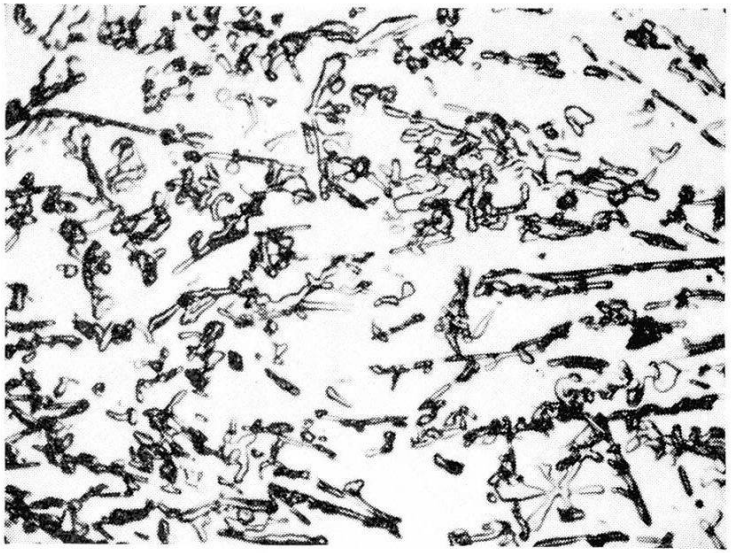
dieser Schneedecke in verschiedenen markierten Schichten Proben ausgestochen und in das Kältelaboratorium zur kristallographischen Untersuchung gebracht. Die besten Einblicke in die Schneestruktur bietet der mikroskopische Dünnschliff. Zur Anfertigung eines Dünnschliffes – oder besser Dünnschnittes – wird der Porenraum der Schneeprobe mit einer den Schnee nicht angreifenden, bei zirka —8° C erstarrenden Flüssigkeit ausgegossen (Phthalsäure-Diäthylester). Das Schneiden der Präparate auf die Dicke von 0,2 bis 0,4 mm Dicke mittels einer Kreisfräse hat dann bei tiefen Temperaturen zu geschehen (um —20° C). Im fertigen Schnitt

wird die Porenfüllsubstanz nachträglich durch Zusetzen eines Lösungsmittels wieder verflüssigt. Man erhält so ein klares, transparentes Strukturbild.

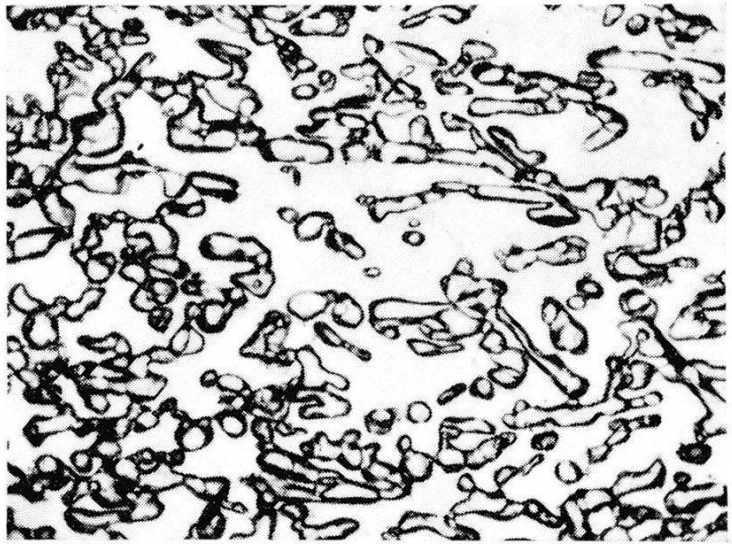
Die Dünnschnittserien der Winter 1947–50 ließen den Ablauf der Schneemetamorphose in den einzelnen Schichten genau verfolgen. (Die kristallographischen Arbeiten des Winters 1948/49 wurden von Ing.-Petrogr. H. P. EUGSTER durchgeführt.) Ganz allgemein stellt man in der ersten Phase der Umwandlung ein ähnliches Verhalten wie beim isolierten Einkristallversuch fest. Die Neuschneekristalle verlieren ihr Relief, runden sich ab und zerfallen unter Abschnürung von Seitenästen in ein feinkörniges Material (Fig. 2*a*). Bei diesem Stadium bleibt die Metamorphose jedoch nicht stehen, sondern schreitet fort in Richtung des Aufbaues idiomorpher Kristallformen, unter gleichzeitiger starker Vergrößerung des mittleren Kristalldurchmessers. Zunächst erscheinen mehr oder weniger isometrische Vollformen, später entwickeln sich Hohlformen, und als Endstadium dieser aufbauenden Phase finden wir ein grobkörniges Material, das aus eigenartig gestuften, von Basis-, Prismen- und Pyramidenflächen begrenzten Becherkristallen besteht. Paulcke hat es als «Tiefenreif» oder «Schwimmschnee» bezeichnet. Die Größe der Kristallindividuen kann gegen 1 cm reichen. Wie später gezeigt wird, strebt die Metamorphose nicht immer der Schwimmschneebildung zu. Auch Vollformen können Endformen sein.

Die Kornbindung im Schwimmschnee ist äußerst schwach. Es hält schwer, zusammenhängende Proben auszustechen, und doch besitzt dieser Schnee eine bemerkenswerte Tragfähigkeit, ist er doch imstande, eine überlagerte Decke von 2, 3 und mehr Metern Mächtigkeit zu tragen. Dabei ist sein spezifisches Gewicht kaum höher als im Stadium der abbauenden Metamorphose. Wenn wir die Struktur betrachten, fällt uns sofort eine gewisse Ordnung auf (Fig. 3). Die im Schnitt dreieckartig erscheinenden Kristalle sind regelmäßig angeordnet, mehrheitlich mit der Becheröffnung nach unten. Unmittelbar über dem Boden beobachtet man oft ein strahliges Gerüst, sich gewölbeartig auf vorspringende Teile des Bodens stützend, vergleichbar der strahligen Struktur eines Knochens. Der Vergleich ist schon weitergeführt worden, indem dem Schnee direkt das Bestreben zugesprochen wurde, mit einem Minimum an Material ein Maximum an Tragfähigkeit herauszuwirtschaften. Er tut es in der Tat, doch ist bei der Interpretation dieser Erscheinung Zurückhaltung geboten. Schließlich besteht für den Schnee keine Notwendigkeit, die Last ohne Bruch zu tragen.

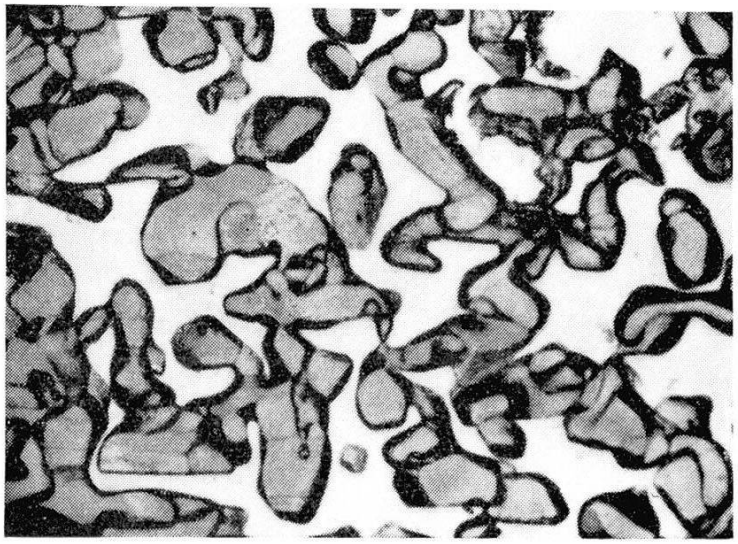
Die allgemeine Erklärung für die Umwandlung des Neuschneekristalls zum Vollkorn und zum Becherkristall ergibt sich aus den Temperatur- und Luftdurchlässigkeitsverhältnissen in der Schneedecke. In den wärmeren, bodennahen Schichten beladt sich die Porenluft mit Wasserdampf, steigt auf und scheidet ihn mit fortschreitender Abkühlung wieder aus. Das Temperaturgefäll vom Boden zur Schneeoberfläche ist also das treibende Element der Metamorphose, während die Luftdurchlässigkeit das regulierende Ventil darstellt. Dort wo die Luft-



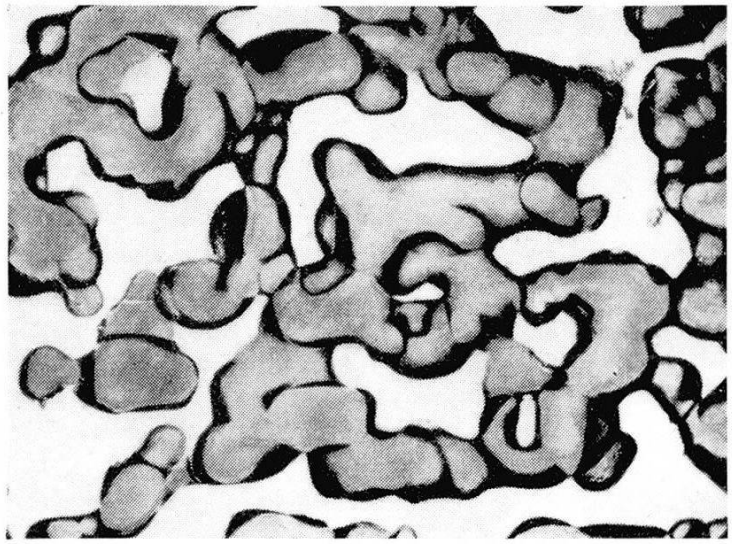
*a)* Probe vom 3. Januar 1950 (Schnee 1-2 Tage alt)
Abbauende Metamorphose im Gang



*b)* Probe vom 17. Januar 1950
Aufbauende Metamorphose im Anfangsstadium



*c)* Probe vom 1. April 1950. Aufbauende Metamorphose
Schwimmschneestadium wird nicht erreicht



*d)* Probe vom 1. Juni 1950
Schmelzmetamorphose

Fig. 2. Verlauf der Schneemetamorphose in einer Schicht 100 cm über dem Boden. Dünnschnittbilder von seitlich aus der Schicht ausgestochenen Proben. Die Richtung nach oben entspricht der Richtung nach der Schneeoberfläche. (Breite des Bildfeldes in Natur = 6,8 mm). Fig. 2*c* und *d* in den Kornschnitten leicht gefärbt. (Photo M. de Quervain)

durchlässigkeit behindert ist, wird auch die Metamorphose gebremst. Windgepackte Schichten mit schwacher Luftdurchlässigkeit werden z. B. nur wenig umgewandelt. So kommt es, daß die Schneedecke im Verlauf eines Winters nicht durchwegs homogener wird, sondern sich mitunter noch weiter differenziert.

Von zwei Schichten, die unter dem gleichen Temperaturgefäll stehen und die gleiche Luftdurchlässigkeit besitzen, wird die kältere weniger stark umgewandelt. Daher wird das eigentliche Schwimmschneestadium meist nur in den untersten, wärmeren Schichten unmittelbar über dem Boden erreicht. Dort genügen unter Umständen ein bis zwei



Fig. 3
Dünnschnitt einer Schwimmschneeprobe, entnommen am 1. Mai 1950 aus einer Schicht 6 cm über dem Boden. Schneefall vom 28. Oktober 1949. Orientierung der Struktur wie Fig. 2. Maßstab: Bildbreite in Natur 2 cm. Das Endstadium der aufbauenden Metamorphose ist erreicht. Man beachte die bevorzugte Orientierung der Becherkristalle.
(Photo M. de Quervain)

Wochen zum Aufbau der Endformen. Verschiedene Probleme der Metamorphose sind noch offen, so z. B. die Begründung der Becherbildung, dann auch die Frage der bevorzugten Kristallorientierung.

Schon im Strukturbild fällt oft eine deutliche Textur auf, d. h. eine Vorzugsorientierung der Kristalle in bezug auf ihre Gestalt. Im Polarisationsmikroskop erkennt man, daß diese Orientierung auch die kristallographischen Achsen betrifft, und zwar in dem Sinn, daß die Hauptachse (*c*-Achse) bei horizontaler Schichtung vorzugsweise eine vertikale Lage einnimmt. In der geneigten Schneedecke ist die Senkrechte zur Hangfläche die ausgezeichnete Richtung. Diese Gefügeregelung geht sicher in gewissen Fällen auf eine geordnete Ablagerung des Neuschnees zurück. (Fig. 2*a* zeigt eine eindeutige Neuschneetextur.) Andererseits können auch die Richtung des Temperaturgefälles und des Dampfstromes im Schnee eine orientierende Wirkung ausüben im Sinne einer Bevorzugung des Wachstums von Kristallen, die parallel zum Temperaturgradienten orientiert sind.

Mit der Durchnässung der Schneedecke setzt wieder eine abbauende Phase der Metamorphose ein. Die Kristallformen runden sich ab, in den

Hohlräumen und an den Kornbrüchen sammelt sich Wasser. Beim Wiedergefrieren von durchnäßtem Schnee, was ja im Frühling in oberflächlichen Schichten die Regel ist, entsteht dann eine Kornpackung, die bekanntlich an Dichte und Kohäsion den Winterschnee bei weitem übertrifft. Im Strukturbild läßt sich gefrorener Naßschnee von Schnee, der nie mit Wasser in Berührung kam, gut unterscheiden (Fig. 2*d*).

Auf Weißfluhjoch beginnt die eigentliche Schmelzperiode gewöhnlich in der zweiten Aprilhälfte. Bis zum völligen Auftauen der Schneedecke und zur Wasserdurchtränkung kann es aber Mitte Mai werden. Wenn anfangs Juli sich die letzten Schneereste verflüssigen, findet die Schneemetamorphose in der Gegend unserer Bergstation ihren saisonmäßigen Abschluß. In den Firnfeldern höherer Lagen, vor allem in den Einzugsgebieten der Gletscher, schreitet sie aber fort und führt im Verlauf von Jahrzehnten, wenn nicht von Jahrhunderten, zum Gletscherkorn.

(Anschließend an das Referat wurde der Film «Schnee- und Lawinenforschung» vorgeführt, der einen Überblick über die Feld- und Laboratoriumsarbeiten der Schneeforschung gibt.)

**Literaturhinweise**

(1) Paulcke, W., Praktische Schnee- und Lawinenkunde; Jul. Springer, Berlin (1938).
(2) Seligman, G., Snow Structure and Ski Fields; MacMillan, London (1936).
(3) Niggli, P., Bader, H., Haefeli, R., Bucher, E., Neher, J., Eckel, O., Thams, C., Der Schnee und seine Metamorphose; Kümmerly & Frey, Bern (1939).
(4) Bentley, W. A., and Humphreys W. J., Snow Crystals; New York and London (1931).
(5) Nakaya, U., und Mitarbeiter, Experiments on the artificial Production of Snow Crystals; Hokkaido Imp. University (1938).
(6) Schaefer V. J., The production of ice crystals in a cloud of supercooled water droplets; Science 104 (1946).
(7) Zingg, Th., und Eugster, H. P., Meteorologisch-kristallographische Untersuchungen einiger Schneefälle. Interner Bericht Nr. 116 des Eidg. Institutes für Schnee- und Lawinenforschung. (Publikation in Vorbereitung.)
(8) Schaefer, V. J., Properties of particles of snow and the electrical effects they produce in storms; Trans. Am. Geophys. Union, Vol. 28, Nr. 4 (1947).
(9) Rossmann F., Polare Kristallformen und elektrische Erregung des Eises. Experientia, Vol. VI, Fasc. 5 (1950).

Leere Seite
Blank page
Page vide

## 1. Sektion für Mathematik

Sitzung der Schweizerischen Mathematischen Gesellschaft

**Samstag und Sonntag, den 26. und 27. August 1950**

*Präsident:* Prof. Dr. A. PFLUGER (Zürich)
*Sekretär:* Prof. Dr. F. FIALA (Neuchâtel)

**1.** ALBERT CHALLAND (Berne). – *D'une extension possible du domaine des mathématiques appliquées.*

Le chaos des actions humaines (selon l'expression récente d'une notoriété scientifique) paraît en première analyse se ramener à un système de manifestations individuelles plus ou moins fortuites (c'est-à-dire dépendant de lois de probabilité), mais étroitement interdépendantes. Malgré les vues pénétrantes de certains sociologues, ces conglomérats ne semblent pas jusqu'ici avoir été soumis sérieusement au calcul. Le but de l'auteur est à la fois de le faire et d'employer pour cela, au départ, un appareil mathématique pas trop compliqué, ne présupposant que les connaissances que possède normalement un licencié ès sciences.

Un premier problème est celui de la valeur optimum. Soit

$$Y = y_1 + y_2 + \ldots + y_i + \ldots + y_n$$

un résultat qui doit être le plus grand possible (note d'ensemble d'un certain élève, par exemple). Les valeurs $y_i$ (notes dans les différentes branches) qui y concourent ne doivent par conséquent pas être trop petites. Mais il peut arriver que par sa grandeur un $y_i$ exerce une influence défavorable sur la probabilité de $y_{i+1}$ par exemple (élève se passionnant pour un sujet unique et négligeant tout le reste), de sorte qu'on n'a pas intérêt à ce que $y_i$ soit le plus grand possible, mais bien plutôt à ce qu'il ait une autre valeur plus favorable qui sera définie comme la valeur optimum. Les sportifs savent cela empiriquement (Tour de France!), mais on construisait aussi empiriquement des flottes avant Archimède; pourtant cela n'enlève rien à l'importance du principe d'Archimède. Notre prétention d'aborder le problème scientifiquement est ainsi justifiée.

Considérons le cas simplifié de deux événements fortuits $y_1$ et $y_2$ (avec la restriction peu importante $y > 0$). La loi de probabilité de $y_1$ est $p_1(y)$, c'est-à-dire que $p_1(y)\,dy$ est la probabilité pour que $y_1$ tombe entre $y$ et $y + dy$. La loi de probabilité correspondante $p_2$ de $y_2$ dépend

du résultat de l'épreuve qui a donné $y_1$ et l'on écrira $p_2(y_1, y)\,dy$ pour la probabilité que $y_2$ soit compris entre $y$ et $y + dy$. Pour fixer les idées, on peut prendre

$$p_1(y) = \frac{1}{(1+y)^2} \quad \text{et} \quad p_2(y) = \frac{y_1}{(y_1+y)^2}$$

exemple qui conduit à des calculs faciles.

Soit maintenant $z = y_1 + y_2$ et $P(z)\,dz$ la probabilité correspondante. Il vient:

$$P(z)\,dz = \int_{y=0}^{y=z} p_1(y)\,dy\; p_2(z - y)\,dz$$

$$\text{ou encore } d[P(z)\,dz] = p_1(y)\; p_2(z - y)\,dy\,dz$$

Pour que cette probabilité élémentaire soit maximum, il faut que sa dérivée par rapport à $y$ soit nulle. On trouve par cette voie la valeur de $y_1$ qui contribue le plus efficacement à rendre $z$ probable.

Quant à la recherche de la valeur la plus probable de $z$, elle exige la solution en $z$ de l'équation $\frac{d}{dz} P(z) = 0$.

La considération des espérances mathématiques conduit à d'autres questions intéressantes.

La combinaison qui est essayée ici des problèmes de maxima et de minima avec les problèmes de probabilités composées semble nouvelle.

**2.** Erwin Bareiss (Thayngen). – *Über einen verallgemeinerten Integralsatz.*

Es wird über den Basen zweier Matrixalgebren eine Funktionentheorie aufgebaut, für welche auch ein erster Integralsatz gilt. Dieser Integralsatz enthält alle Integralsätze der hyperkomplexen Funktionen, wie sie von R. Fueter aufgestellt wurden, insbesondere also auch die der Cliffordschen Algebren, der Quaternionen und selbstverständlich den ersten Cauchyschen Satz. Der hergeleitete Satz bildet auch den Ausgangspunkt zur Lösung der Randwertprobleme von homogenen und inhomogenen Systemen von partiellen Differentialgleichungen.

Durch $m$ Grundeinheiten

$$a_h = \begin{pmatrix} a^h_{00} & \cdots & a^h_{0\,n-1} \\ \cdots & \cdots & \cdots \\ a^h_{n-1\,0} & \cdots & a_{n-1\,n-1} \end{pmatrix} \qquad (h = 1, \ldots, m-1)$$

denken wir uns einen $m$-dimensionalen Raum, den $a$-Raum, aufgespannt, der durch die $a$-Funktionen

$$v(z) = \sum_{h=0}^{m-1} v_h(x_o, \ldots, x_{m-1})\; a_h(x_0, \ldots, x_{m-1})$$

in sich abgebildet wird. Neben dem $\alpha$-Raum denken wir uns noch einen $\varepsilon$-Raum mit den Einheiten

$$\varepsilon_0 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \\ 0 & 0 & \dots & 0 \end{pmatrix}, \quad \varepsilon_1 = \begin{pmatrix} 0 & \dots & 0 \\ 1 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \\ \dots & \dots & \\ 0 & \dots & 0 \end{pmatrix}, \dots, \varepsilon_{n-1} = \begin{pmatrix} 0 & \dots & 0 \\ 0 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \\ \dots & \dots & \\ 1 & \dots & 0 \end{pmatrix}$$

als $n$-gliedrige Matrizen. Die $\varepsilon$-Funktionen

$$w(z) = \sum_{k=0}^{n-1} \varepsilon_k w_k (x_0, \dots, x_{m-1})$$

bilden den $\alpha$-Raum immer auf den $\varepsilon$-Raum ab; denn die Multiplikationstafel lautet

$$a_h \varepsilon_k = \sum_{i=0}^{n-1} a_{ik}^h \varepsilon_i$$

Wir definieren den Operator

$$\mathbf{L} = \sum_{k=0}^{m-1} a_k \frac{\partial}{\partial x_k} + \lambda a_m \qquad (\lambda = \text{skalarer Parameter})$$

und nennen eine $\varepsilon$-Funktion *analytisch*, falls $\mathbf{L}w = 0$, und inhomogen analytisch, falls $\mathbf{L}w = g$ $(g(z) = \sum_{h=0}^{n-1} g_h \varepsilon_h)$ in jedem Punkt des betrachteten Bereiches gilt.

Der zu $\mathbf{L}$ adjungierte Operator lautet

$$(v \mathbf{M}) = \sum_{k=0}^{m-1} \frac{\partial v}{\partial x_k} a_k - \lambda v a_m$$

Die $\alpha$-Funktion $v$ heißt *adjungiert*, wenn in jedem Punkt des Bereiches $(v\mathbf{M}) = 0$ gilt.

Wie wir gesehen haben, ergibt nun

$$v a_k w = \sum_{h=0}^{n-1} P_{hk} \varepsilon_h$$

eine Größe aus dem $\varepsilon$-Raum mit $P_{hk}$ als reelle Funktion der Variablen $x_o, \dots, x_{m-1}$. Der Gaußsche Integralsatz verwandelt das Raumintegral über dem Bereich $R$ in ein Integral über dessen Oberfläche $H$

$$\int_R \dots \int \int \frac{\partial}{\partial x_k} P_{hk} \, dr = - \int_H \dots \int P_{hk} \nu_k \, dh$$

Summation nach den Indices $h$ und $k$ ergibt unter Verwendung der ursprünglichen Bezeichnungen

$$\int_R \dots \iint \sum_{k=0}^{m-1} \frac{\partial}{\partial x_k} (v a_k w)\, dr = - \int_H \dots \int (v dZ w)$$

mit $$dZ = \sum_{k=0}^{m-1} a_k\, dh\, v_k$$

Wird nun die Differentiation des Integranden wirklich ausgeführt, so erhält man nach einer Zwischenrechnung und Verwendung der Operatorenschreibweise

$$\boxed{\int_H \dots \int v dZ w + \int_R \dots \iint \left[ (v \mathfrak{M}) w + v \sum_{k=0}^{m-1} \frac{\partial}{\partial x_k} a_k \cdot w + v (\mathfrak{L} w) \right] dr = 0}$$

Diese Formel kann man als den *Greenschen Satz* der hyperkomplexen Funktionen bezeichnen.

Sind nun die $\alpha$-Funktionen $v$ in $R$ adjungiert, die $\varepsilon$-Funktionen inhomogen analytisch und die Elemente $a_{ik}^h$ konstant, so ergibt sich [1]

$$\int_H \dots \int v dZ w + \int_R \dots \iint v\, dr\, g = 0$$

Da ferner jede assoziative Algebra einer Matrixalgebra äquivalent ist, sind also auch sämtliche Integralsätze der hyperkomplexen Funktionen von Rud. Fueter u. a. in obiger Formel enthalten[2].

**3.** Sophie Piccard (Neuchâtel). – *Les groupes que peut engendrer un système connexe et primitif de cycles d'ordre huit et les bases du groupe symétrique dont l'une des substitutions est un cycle d'ordre huit.*

1. Soient $A = (1\,2\,3\,4\,5\,6\,7\,8)$ et $B = (b_1 b_2 b_3 b_4 b_5 b_6 b_7 b_8)$ deux cycles d'ordre huit connexes et primitifs.[3] Les cas suivants peuvent se présenter. 1. $A$ et $B$ permutent les mêmes éléments. Alors si $B$ est l'une des 80 substitutions $A^i U^j A^{-i}$, où $U = (1\,2\,4\,6\,7\,5\,8\,3)$ ou $(1\,2\,5\,4\,7\,8\,6\,3)$, $j = 1, 3, 5, 7$, $i = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8$ ou bien $U = (1\,2\,4\,8\,6\,5\,3\,7)$, $j = 1, 3$, $i = 1, 2, \dots, 8$, alors $A$ et $B$ engendrent le groupe $G'_{336}$ d'ordre 336, qui peut aussi être engendré par deux cycles connexes et primitifs d'ordre six. Si $B$ est l'un des 80 cycles $A^i U^j A^{-i}$ où $U = (1\,2\,3\,5\,8\,6\,4\,7)$

---

[1] Erwin Bareiß: Hyperbolische Systeme von partiellen Differentialgleichungen mit konstanten Koeffizienten, Comm. Math. Helv. vol. 24/4.

[2] Rud. Fueter: Funktionentheorie im Hyperkomplexen, Vorlesung 1948/49, bearbeitet von E. B.

Ein vollständiges Literaturverzeichnis findet sich am Schluß der Arbeit von Hans Georg Häfeli: Hyperkomplexe Differentiale, Comm. Math. Helv. vol. 20.

[3] Voir S. Piccard: Sur les bases du groupe symétrique, Paris, Vuibert 1946, page 8.

ou (1 2 5 6 4 8 7 3), $j = 1, 3, 5, 7$, $i = 1, 2, \ldots, 8$, ou bien $U = (1\ 2\ 7\ 3\ 6\ 5\ 8\ 4)$, $j = 1, 3$, $i = 1, 2, \ldots, 8$, alors $A$ et $B$ engendrent le groupe $G''_{336}$ simplement isomorphe à $G'_{336}$. Dans tous les autres cas, $A$ et $B$ engendrent le groupe symétrique $\mathfrak{S}_8$.

2. $B$ permute 7 des nombres 1, 2, ..., 8 et le nombre 9. Alors, si $B$ est l'une des 32 substitutions $A^iU^jA^{-i}$, où $U = (2\ 8\ 4\ 5\ 7\ 6\ 3\ 9)$, $j = 1, 3, 5, 7$, $i = 1, 2, \ldots, 8$, alors $A$ et $B$ engendrent le groupe $G'_{72}$ d'ordre 72. Si $B$ est l'une des 32 substitutions $A^iU^jA^{-i}$, où $U = (3\ 2\ 7\ 5\ 8\ 4\ 6\ 9)$, $j = 1, 3, 5, 7$, $i = 1, 2, \ldots, 8$, alors $A$ et $B$ engendrent le groupe $G''_{72}$ simplement isomorphe à $G'_{72}$. Si $B$ est l'une des 64 substitutions $A^iU^jA^{-i}$, où $U = (2\ 3\ 6\ 5\ 4\ 8\ 7\ 9)$ ou $(2\ 7\ 3\ 5\ 4\ 6\ 8\ 9)$, $j = 1, 3, 5, 7$, $i = 1, 2, \ldots, 8$, alors $A$ et $B$ engendrent le groupe $G'_{432}$ d'ordre 432. Si $B$ est l'une des 64 substitutions $A^iU^jA^{-i}$, où $U = (2\ 4\ 6\ 5\ 7\ 3\ 8\ 9)$ ou $(3\ 2\ 6\ 5\ 4\ 7\ 8\ 9)$, $j = 1, 3, 5, 7$, $i = 1, 2, \ldots, 8$, $A$ et $B$ engendrent le groupe $G''_{432}$ simplement isomorphe à $G'_{432}$. Dans tous les autres cas, $A$ et $B$ engendrent le groupe symétrique $\mathfrak{S}_9$.

3. $B$ permute six des nombres 1, 2, ..., 8 et les deux nombres 9 et 10. Alors si $B$ est l'une des 112 substitutions $A^iU^jA^{-i}$, où $U = (1\ 3\ 2\ 5\ 4\ 6\ 9\ 10)$, $(1\ 3\ 5\ 2\ 10\ 7\ 9\ 4)$, $(1\ 6\ 7\ 4\ 2\ 9\ 10\ 3)$, $j = 1, 3, 5, 7$, $i = 1, 2, \ldots, 8$, ou encore $U = (1\ 2\ 3\ 9\ 7\ 6\ 5\ 10)$, $j = 1, 3$, $i = 1, 2, \ldots, 8$, les deux substitutions $A$ et $B$ engendrent le groupe $G'_{720}$ d'ordre 720. Si $B$ est l'une des 112 substitutions, $RA^iU^jA^{-i}R^{-1}$, où $U$, $i$ et $j$ sont les mêmes que ci-dessus, et $R = (9\ 10)$, $A$ et $B$ engendrent le groupe $G''_{720}$, simplement isomorphe à $G'_{720}$. Dans tous les autres cas, $A$ et $B$ engendrent le groupe symétrique $\mathfrak{S}_{10}$.

4. Les cycles $A$ et $B$ ont au plus cinq éléments communs. Ils engendrent alors toujours le groupe symétrique des éléments permutés.

Soit à présent $S$ un système quelconque connexe et primitif de cycles d'ordre huit. Un tel système peut engendrer soit un groupe d'ordre 336 et de degré huit, soit un groupe d'ordre 72 ou un groupe d'ordre 432 et de degré 9, soit un groupe d'ordre 720 et de degré 10, soit le groupe symétrique des substitutions de tous les éléments permutés par les cycles du système $S$.

Quel que soit l'entier $n \geq 11$, la condition nécessaire et suffisante pour que deux substitutions $S$, $T$ du groupe symétrique $\mathfrak{S}_n$ de degré $n$, dont l'une est un cycle d'ordre huit constituent une base de ce groupe, c'est qu'elles soient connexes et primitives.

**4.** Sophie Piccard (Neuchâtel). – *Les systèmes connexes et primitifs de cycles d'ordre neuf.*

Soient $A = (1\ 2\ 3\ 4\ 5\ 6\ 7\ 8\ 9)$ et $B$ deux cycles connexes et primitifs d'ordre neuf et soient 10, 11, ..., $n$ les éléments (s'il y en a) permutés par $B$ mais non par $A$. Si $A$ et $B$ permutent les mêmes élé-

ments, les cas suivants sont possibles. 1. $B$ est l'un des 162 cycles $A^iU^jA^{-i}$, $i=1, 2, \ldots, 9$, $j=1, 2, 4, 5, 7, 8$, $U=$ (1 2 7 5 8 3 6 4 9), (1 2 6 8 4 7 3 5 9), (1 4 8 7 5 3 2 6 9), et alors le groupe engendré par $A$ et $B$ est le groupe $G_{504}$ d'ordre 504 qui peut aussi être engendré par des couples connexes de cycles d'ordre sept. Si $B$ est l'un des 324 cycles $A^iU^jA^{-i}$, où $U$ est l'un des six cycles (1 2 4 5 7 6 8 3 9), (1 2 5 6 4 8 7 3 9), (1 2 5 8 6 3 4 7 9), (1 2 8 4 3 7 5 6 9), (1 4 7 2 6 5 8 3 9), (1 5 6 8 2 7 3 4 9), $A$ et $B$ engendrent le groupe $G^1_{1512}$ d'ordre 1512. Si $B$ est l'un des 486 cycles $A^iU^jA^{-i}$, où $U$ est l'un des neuf cycles (1 2 3 6 8 7 4 9 5), (1 2 3 8 4 7 9 5 6), (1 2 3 7 6 9 8 4 5), (1 2 3 7 9 4 6 5 8), (1 2 3 9 6 4 5 8 7), (1 2 9 6 4 3 5 7 8), (1 2 3 5 7 6 8 9 4), (1 2 6 8 4 3 9 5 7), (1 3 6 7 4 8 2 5 9), alors $(A, B)$ est le groupe $G^2_{1512}$ d'ordre 1512. Si $B$ est l'un des 486 cycles $A^iB^jA^{-i}$, où $U$ est l'un des neuf cycles (1 2 3 4 6 8 5 9 7), (1 2 3 6 5 8 9 7 4), (1 2 3 7 8 4 6 9 5), (1 2 3 8 4 9 6 5 7), (1 2 3 8 9 5 4 7 6), (1 2 3 9 4 5 7 6 8), (1 2 4 7 8 5 6 9 3), (1 2 5 7 8 3 6 9 4), (1 2 4 5 7 9 8 5 3), alors $(A, B)$ est le groupe $G^3_{1512}$, d'ordre 1512. Les groupes $G^i_{1512}$, $i=1, 2, 3$, sont, deux à deux simplement isomorphes. Chacun de ces groupes est à base du second ordre et possède au total 896 616 bases. Dans tous les autres cas possibles, $A$ et $B$ engendrent le groupe alterné $\mathfrak{A}_9$ de degré 9. Si $n \geq 10$, $A$ et $B$ engendrent toujours le groupe $\mathfrak{A}_n$.

Soit, à présent, $S$ un système connexe et primitif de cycles d'ordre neuf comprenant un nombre quelconque $k \geq 2$ de cycles et soit $G$ le groupe engendré par tous les cycles du système $S$. Trois cas et trois seulement sont possibles. Ou bien $G$ est un groupe d'ordre 504 et de degré 9, simplement isomorphe à $G_{504}$, ou bien $G$ est de degré 9 et d'ordre 1512, il est alors simplement isomorphe à $G^i_{1512}$, $i=1, 2, 3$, ou bien $G$ est l'alterné des substitutions de tous les éléments permutés par les cycles du système $S$, ce qui est toujours le cas si le nombre des éléments permutés est $> 9$. On en déduit que quel que soit l'entier $n \geq 10$, la condition nécessaire et suffisante pour que deux substitutions $S$, $T$ de degré $n$ dont l'une $T$ est un cycle d'ordre neuf constituent une base du groupe symétrique $\mathfrak{S}_n$, si $S$ est impaire, ou du groupe alterné $\mathfrak{A}_n$, si $S$ est paire, c'est que les deux substitutions $S$ et $T$ soient connexes et primitives.

**5.** Sophie Piccard (Neuchâtel). – *Les classes de substitutions des groupes imprimitifs et les bases de ces groupes.*

Soit $G_1$ un groupe imprimitif de substitutions des éléments de l'ensemble $E^{(1)} = \{1, 2, \ldots, p_1\}$. Soit $M_1 = \{E^{(1)}_1, \ldots, E^{(1)}_{p_2}\}$ un ensemble donné de systèmes d'imprimitivité de $G_1$ et soit $G_2$ le groupe des substitutions des éléments de l'ensemble $E^{(2)} = \{1, 2, \ldots, p_2\}$ que les substitutions du groupe $G_1$ effectuent sur les systèmes d'imprimitivité de

l'ensemble $M_1$. $G_2$ est le premier groupe associé à $G_1$, relatif à l'ensemble $M_1$. Si $G_2$ est imprimitif, soit $M_2 = \{E_1^{(2)}, \ldots, E_{p_2}^{(2)}\}$ un ensemble donné de systèmes d'imprimitivité de $G_2$ et soit $G_3$ le premier groupe associé à $G_2$ relatif à l'ensemble $M_2$, etc. A tout groupe imprimitif $G_1$ on peut ainsi faire correspondre une suite (au moins) 1) $G_1, G_2, \ldots, G_m$ ($m \geq 2$) de groupes dont le dernier seul est primitif et tels que $G_i$ est le premier groupe associé à $G_{i-1}$ relatif à un ensemble donné $M_{i-1}$ de systèmes d'imprimitivité de $G_{i-1}$, $i = 2, 3, \ldots, m$. $G_i$ est le $(i-1)^e$ groupe associé à $G_1$, relatif aux ensembles $M_1, \ldots, M_{i-1}$, $i = 2, \ldots, m$. 1) est une suite complète associée au groupe $G_1$, $m$ est sa longueur. Soit $p_i$ le degré de $G_i$, $i = 1, 2, \ldots, m$. Le groupe $G_i$ est $p_i/p_j$ fois isomorphe à $G_j$, $i = 1, 2, \ldots, m-1, j = i+1, \ldots, m$. Soit $S^{(1)}$ une substitution quelconque de $G_1$ et soit $S^{(i)}$ la substitution de $G_i$ qui correspond à $S^{(1)}$ dans l'isomorphisme de $G_1$ à $G_i$. 2) $S^{(i)}, \ldots, S^{(m)}$ est la suite complète associée à $S^{(1)}$, relative à la suite 1). Soient $t, i_1, i_2, \ldots, i_t$ des entiers tels que $1 \leq t \leq m$, $1 \leq i_1 < i_2 < \ldots < i_t \leq m$. Nous dirons que $S^{(1)}$ est de classe $C_1^{i_1 i_2 \cdots i_t}$ ($C_2^{i_1 i_2 \cdots i_t}$) si le nombre total $\nu$ de substitutions impaires dans la suite 3) $S^{(i_1)}, S^{(i_2)}, \ldots, S^{(i_t)}$ est pair (impair). On définit ainsi $2(2^m - 1)$ classes de substitutions de $G_1$. Nous dirons qu'une classe $C_1^{i_1 i_2 \cdots i_t}$ est paire (impaire) si $i = 1$ ($i = 2$). Une classe impaire peut être vide, mais non une classe paire. Deux classes telles que $C_1^{i_1 \cdots i_t}$ et $C_2^{i_1 \cdots i_t}$ sont dites complémentaires et comprennent ensemble toutes les substitutions de $G_1$. Quelles que soient deux classes complémentaires $C_1$ et $C_2$ de $G_1$, si deux substitutions $S^{(1)}$ et $T^{(1)}$ de $G_1$ font partie de l'une de ces classes, leur produit $\varepsilon\, C_1$, et si $S^{(1)} \varepsilon\, C_1$ et $T^{(1)} \varepsilon\, C_2$, alors $S\,T \varepsilon\, C_2$. Il s'ensuit que si $G_1$ contient au moins une substitution de la classe $C_2$, la moitié des substitutions de $G_1$ appartient à $C_2$, l'autre moitié $\varepsilon\, C_1$ et les substitutions de $C_1$ forment un sous-groupe distingué de $G_1$.

Nous dirons que $G_1$ est complet par rapport à la suite 1) si aucune de ses $2^m - 1$ classes impaires n'est vide et si ces classes sont toutes distinctes. Un tel groupe possède au moins $2^m - 1$ sous-groupes distingués distincts. Quel que soit l'entier $m \geq 2$, il existe un groupe imprimitif $G_1$ auquel on peut associer une suite complète de longueur $m$ et qui est complet par rapport à cette suite. Un tel groupe $G_1$ ne saurait être engendré par moins de $m$ substitutions, tout système de $k < m$ substitutions de $G_1$ faisant partie d'une même classe paire.

**6.** Louis Locher-Ernst (Winterthur). – *Stetige Vermittlung der Korrelationen.*

Es sei eine Korrelation des projektiven $R_n$ in sich gegeben; im Falle der Korrelation in der Ebene also eine umkehrbar eindeutige und stetige Abbildung der Punkte der Ebene auf die Geraden dieser Ebene, bei der einer Punktreihe ein Strahlenbüschel entspricht. Wir sprechen im folgenden nur von der ebenen Korrelation, die Formeln werden aber

allgemein für den $R_n$ gegeben. Die Korrelation kann aufgefaßt werden als eine Abbildung der Mannigfaltigkeit der Linienelemente $x * u$ ($x$ der Punkt, $u$ die Gerade des Elementes) auf sich. Ist die Gerade $u'$ das Bild von $x$, der Punkt $x'$ das Bild der Geraden $u$, so stellt die Korrelation $x * u \to x' * u'$ eine Berührungstransformation dar. Es stellt sich nun das naheliegende Problem, *eine einparametrige* (Parameter $t$), *im allgemeinen stetige Transformation der* $x * u$ *in die Elemente* $x' * u'$ *zu geben*. Sind $x_1, x_2, \ldots$ und $u_1, u_2, \ldots$ homogene Koordinaten des Punktes $x$ bzw. der Geraden (Ebene, Hyperebene) $u$ und $X_1, X_2, \ldots, U_1, U_2, \ldots$ die Koordinaten des Elementes $X * U$ für den Parameterwert $t$, so ist also eine im allgemeinen stetige Transformation

$$X_i = X_i(x_1, x_2, \ldots, u_1, u_2, \ldots, t), \quad U_i = U_i(x_1, x_2, \ldots, u_1, u_2, \ldots, t) \quad (1)$$

gesucht, die für $t = 0$ das Ausgangselement $x * u$ und etwa für $t \to \infty$ das Endelement $x' * u'$ liefert.

Es zeigt sich, daß man im Falle der allgemeinen Korrelation als naturgemäße Lösung des Problems eine Transformation (1) zu nehmen hat, die für endliche $t \neq 0$ *keine* Berührungstransformation darstellt. Die Linienelemente eines Punktes werden hierbei übergeführt in eine Schar von Linienelementen, deren Punkte eine Kurve $C$ zweiter Ordnung und deren Geraden ein Büschel zweiter Klasse bilden, das vom Tangentenbüschel der Kurve $C$ verschieden ist.

Im Falle der Polarität erhält man eine einparametrige Schar von Berührungstransformationen, nämlich die Gruppe der nichteuklidischen Dilatationen, welche die Elemente eines Punktes $x$ in diejenigen eines nichteuklidischen Kreises überführen, der für $t \to \infty$ in die Polare $u'$ von $x$ ausartet.

Eine ausführliche Darstellung der stetigen Vermittlung der Polaritäten findet sich im *Bulletin de la Société des mathématiciens et physiciens de la R. P. de Serbie*, I, Heft 2, 1950.

Der allgemeine Fall wird behandelt in der Arbeit «Stetige Vermittlung der Korrelationen», *Monatshefte für Mathematik*, 54. Bd., S. 235, Wien 1950.

**7.** Hugo Hadwiger (Bern). – *Zur Inhaltstheorie k-dimensionaler Polyeder.*

Unter einer Inhaltsmaßzahl verstehe man ein über der Klasse der Polyeder $A$ des $k$-dim. euklidischen Raumes eindeutig definiertes Funktional $f(A)$, das den nachfolgend aufgestellten Forderungen genügt:

I. $f(A) = f(A')$, falls $A$ und $A'$ translationsgleich sind;
II. $f(A + B) = f(A) + f(B)$, falls ein Polyeder $A + B$ in die beiden Teilpolyeder $A$ und $B$ zerlegt ist;
III. $f(A) \geqq 0$;
IV. $f(E) = 1$ für einen auserwählten Einheitswürfel $E$.

Eine auf diesen vier Postulaten aufgebaute formale Inhaltstheorie, die in dem Sinne elementar ist, als sie *geometrische* Grenzbetrachtungen

vermeidet, zeitigt das Hauptergebnis, daß es *eine*, aber *nur eine* Inhaltsmaßzahl $f(A) = J(A)$, nämlich den elementaren Inhalt $J(A)$ gibt. Mit andern Worten: Der elementare Inhalt ist das einzige *translationsinvariante*, *addierbare*, *definite* und *normierte* Polyederfunktional. Insbesondere wird darauf hingewiesen, daß die Bewegungsinvarianz des elementaren Inhalts sich in Verbindung mit den übrigen Grundeigenschaften II. bis IV. aus der mit I. geforderten Translationsinvarianz ohne Grenzbetrachtung ableiten läßt. Dies folgt in geometrisch direkter Weise aus einem u. W. neuen Satz, wonach zwei Einheitswürfel in beliebiger Drehlage stets *translativ* zerlegungsgleich sind.

Der nach dem Dehnschen Satz beim Aufbau einer Inhaltstheorie für $k \geqq 3$ unvermeidliche Grenzübergang erscheint in unserem Fall als eine kaum merkbare *arithmetische* Grenzbetrachtung, welche lediglich beim Nachweis der Einzigkeit der elementaren Inhaltsmaßzahl erforderlich wird.

**8.** Rosalinde Young (Wallington, Surrey). – *La mode en mathématique.* – Pas reçu de manuscrit.

Es hat noch gesprochen: Jean de Siebenthal, Pully.

## 2. Sektion für Physik

Sitzung der Schweizerischen Physikalischen Gesellschaft

**Samstag und Sonntag, den 26. und 27. August 1950**

*Präsident:* Prof. Dr. H. Mügeli (Neuchâtel)
*Sekretär:* Dr. M. Dinichert (Neuchâtel)

**1.** André Mercier (Berne). – *Objection possible à une théorie de la lumière.*

On peut établir une distinction entre les corpuscules élémentaires dont la masse au repos est nulle et ceux dont la masse ne l'est pas [1]. En d'autres termes on ne peut pas considérer la masse comme une paramètre $m$ et passer à la limite $m \to 0$. Cette distinction, reconnue tout d'abord dans l'ordre relativiste, a lieu également – par *corrélation* – dans l'ordre statistique, aussi bien dans le cas de l'existence que dans celui de l'absence de *self-contrainte* [2]. Keberle démontre que, des corpuscules *élémentaires*, seuls ceux qui ont une masse *nulle* (et qui sont appelés corpuscules-lumière) échappent à la règle d'exclusion, tandis que ceux qui ont une masse *non-nulle* (corpuscules-matière) y sont soumis.

Les corpuscules-lumière sont ceux qui actualisent les oscillateurs quantifiés. On ne connaît que les photons qui en aient les propriétés.

Bien que des particules composées d'une paire (ou de plusieurs paires) de corpuscules-matière soient soumises à la statistique de Bose et possèdent un spin entier, elles sont dépourvues de propriétés importantes généralement attribuées aux photons, à savoir, une fréquence mesurable et la capacité de former, dans une enceinte, une composante thermodynamique pour un intervalle infinitésimal de la fréquence. En effet, le fait qu'elles sont composées leur donnent des degrés de liberté internes qui, aussitôt qu'ils se manifestent (de manières diverses dans les diverses particules), rendent illusoire la définition d'une oscillation propre et détruisent l'appartenance à une composante thermodynamique.

Dans ces conditions, le photon doit être considéré comme une particule élémentaire non soumise à la règle d'exclusion, à moins qu'on lui

---

[1] Ed. Keberle, Archives des Sciences (*3*, 271, 1950).

[2] Pour la définition de la self-contrainte, voir A. Mercier et Ed. Keberle, Archives des Sciences, *3*, 255, 1950.

attribue une masse au repos finie, si petite soit-elle, auquel cas c'est une particule composée de spin entier dans la statistique de Bose, mais incapable de contribuer à la construction d'un oscillateur de Planck, et cette dernière constatation est une objection grave à une théorie de la lumière, car de tels photons n'auraient pas une fréquence mesurable, donc leur champ (électromagnétique) ne serait pas physiquement réel, et aucun équilibre ne pourrait s'établir entre des photons pareils de même fréquence, contrairement à une loi de Kirchhoff.

Es haben noch gesprochen: W. Baumgartner und N. Schaetti, Zürich; Otto Huber, F. Humel, H. Schneider und W. Zünti, Zürich; Hans J. Mähly, Basel; Wolfgang Poppelbaum, Lausanne; Lienhard Wegmann, Zürich.

## 3. Sektion für Geophysik, Meteorologie und Astronomie

Sitzung der Schweizerischen Gesellschaft für Geophysik, Meteorologie und Astronomie

**Samstag, Sonntag und Montag, den 26., 27. und 28. August 1950**

*Präsident:* Dr. WILLIAM BRUNNER (Kloten)

**1.** JEAN LUGEON (M. Z. A. Zurich). – *L'espéranto de la stratosphère.*

Pour sonder la haute atmosphère, on emploie bien des types de radiosondes, en ce monde. Or, celles-ci semblent communiquer aux mêmes niveaux, des pressions $P$, températures $T$, et humidité $U$, notablement différentes. De là, la difficulté de construire des cartes isobariques d'altitude, surtout dans le réseau aérologique européen équipé d'instruments divers. Pour mettre les choses au point, l'O. M. I. décida de faire une belle expérience au poste aérologique de la Centrale de météorologie à Payerne, en comparant les six principaux modèles, en vol. En mai 1950, une trentaine d'opérateurs des Etats-Unis d'Amérique, Grande-Bretagne, France, Belgique, Hollande, Norvège, Suède, Finlande, US-Zone d'Allemagne et Suisse firent quelque 160 ascensions de jour et de nuit, en attachant aux mêmes ballons jusqu'à six radiosondes différentes. On atteignit parfois 30 km. d'altitude. La confrontation a révélé un assez bon accord pour les températures, mais il n'en est pas de même pour la mesure de la pression avec les capsules Vidie, où un ajustage des méthodes et des coefficients de correction est impérieusement nécessaire. Finalement on peut espérer l'élaboration d'un code universel de correction pour les trois éléments. Alors, les radiosondes parleront des cieux le même langage. Pour cela, les missionnaires de Payerne se sont engagés à dépouiller chacun pour soi les quelque 150 000 chiffres recueillis. Ce travail fera l'objet d'une «réunion d'harmonisation». C'était vraisemblablement la première fois, dans l'histoire de la science, que 10 pays comparaient impartialement leurs instruments pour tendre à des valeurs numériques identiques.

**2.** HEINRICH UTTINGER (MZA Zürich). – *Statistische Untersuchungen über den Einfluß der Orographie auf die Niederschlagsverteilung.*

An Hand der Niederschlagsmessungen in zwei Versuchsgebieten von O. LÜTSCHG (Zum Wasserhaushalt des Schweizer Hochgebirges, Zürich

1945), die der Voralpenzone angehören, kann gezeigt werden, daß die Niederschlagsmengen (mittlere Jahressummen) infolge Stauwirkung des Gebirges nicht in erster Linie mit der Seehöhe der einzelnen Beobachtungsstationen, sondern mehr noch mit der Annäherung an das Gebirge korrelieren. Dies kommt besonders stark zum Ausdruck im Wägital. Projizieren wir die Meßpunkte auf eine Nord-Süd-Achse und wählen auf dieser die nördlichste Station (Lachen) als Nullpunkt, bezeichnen wir ferner die Süddistanzen der Meßpunkte hievon mit $x$ (in km), ihre Seehöhen mit $h$ (in hm) und die Niederschlagsmengen mit $N$ (in cm), so ergeben sich folgende Beziehungen:

| | | Regressionsformel | Korrelationskoeffizienten einfach | partiell |
|---|---|---|---|---|
| 1) | $(x, h)$ | $h = 6{,}0 + 0{,}58\,x$ | 0,67 | — 0,12 |
| 2) | $(x, N)$ | $N = 124 + 9{,}1\,x$ | 0,92 | 0,86 |
| 3) | $(h, N)$ | $N = 112 + 8{,}6\,h$ | 0,76 | 0,49 |

Die partiellen Korrelationskoeffizienten vermitteln am besten einen Eindruck über den Grad der Verbundenheit zwischen der Niederschlagsmenge einerseits und der Süddistanz und der Seehöhe anderseits. Aus ihnen ergibt sich als kombinierte Regressionsgleichung

4) $(xh, N)$ $N = 107 + 7{,}4\,x + 2{,}9\,h$ Totaler Kk: 0,94

Die gleichen Berechnungen wurden für das Gebiet der Baye de Montreux durchgeführt. Die geeignete Richtung für das Distanzelement mußte durch Versuche ermittelt werden. Die beste Korrelation ergab sich für WSW-ENE (Nullpunkt: Clarens), was etwa dem Durchschnitt des Hanganstieges entspricht. Die wichtigsten Ergebnisse sind:

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 5) | $(x, N)$ | $N = 103 + 18{,}7\,x$ | Kk. 0,89 | part. Kk. | 0,61 |
| 6) | $(h, N)$ | $N = 76 + 8{,}8\,h$ | 0,85 | | 0,46 |
| 7) | $(xh, N)$ | $N = 84 + 12{,}1\,x + 3{,}9\,h$ | | totaler Kk. | 0,91 |

Es überwiegt also auch hier der Einfluß der Gebirgsannäherung, jedoch weniger stark als im Wägital. Dort erhebt sich unmittelbar hinter dem Versuchsgebiet das gegen 3000 m hohe Glärnischmassiv und erzeugt über den beträchtlich niedrigeren Wägitalerbergen einen zusätzlichen Vorstau. Ein solcher Hintergrund fehlt bei der Baye de Montreux. Das Ergebnis unserer Berechnungen ist hier lediglich eine Folge der Tatsache, daß in Luvgebieten die Bedeutung des Kleinreliefs für die Niederschlagsverteilung zurücktritt.

**3.** Fritz Gassmann (Zürich). – *Elastizität poröser Medien.*

Bei der Betrachtung des Einflusses, den die wechselnde Durchfeuchtung auf die elastischen Eigenschaften poröser Gesteine, wie z. B.

Sandsteine, besitzt, wird man auf die allgemeine Frage nach dem elastischen Verhalten eines porösen Mediums geführt, das aus einem festen «Gerüst» und kommunizierenden Hohlräumen, den «Poren», besteht, die mit einem Gas oder einer Flüssigkeit, der «Porenfüllung», gefüllt sein können. Wenn man das Material, aus dem das Gerüst aufgebaut ist, als elastisch isotrop annimmt, währenddem das Gerüst als Ganzes sich elastisch isotrop oder anisotrop verhalten kann, so gelingt es, bei gegebener Kompressibilität der Porenfüllung das elastische Verhalten des porösen Mediums zu berechnen, wenn es ein «geschlossenes System» bildet, d. h., wenn die Zirkulation der Porenfüllung durch Schließung der Poren an der Oberfläche praktisch verhindert wird. Die Ergebnisse erlauben z. B., die Fortpflanzungsgeschwindigkeit elastischer Wellen in einem geschlossenen System zu berechnen, wenn die Wellenlänge groß ist gegenüber den Dimensionen der Porenquerschnitte. Als Beispiel sei erwähnt, daß in einem trockenen Sandstein mit 2,3 km/sec Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Longitudinalwellen und 13,3 % Porosität die Geschwindigkeit auf 2,75 km/sec steigt, wenn die Poren mit Wasser gefüllt werden und man annimmt, daß die elastischen Materialeigenschaften des Gerüstes durch den Kontakt mit dem Wasser sich nicht ändern. Eine ausführliche Arbeit über das Thema wird in der Vierteljahrsschrift der Naturforschenden Gesellschaft Zürich, Band 96, 1951, erscheinen.

**4.** Fritz Gassmann (Zürich). – *Elastische Wellen in einer Kugelpackung.*

Die Theorie über die Elastizität poröser Medien, über die vorstehend referiert wurde, setzt uns in den Stand, die Fortpflanzung elastischer Wellen in einer regelmäßigen Packung gleich großer, fester, elastischer Kugeln zu behandeln, wenn die Zwischenräume mit einem Gas oder einer Flüssigkeit gefüllt sind. Es wird dichteste hexagonale Kugelpackung und Isotropie des Materials, aus dem die Kugeln bestehen, angenommen. Die Richtung der sechszähligen Achsen der hexagonalen Symmetrie sei vertikal (+ $z$-Achse vertikal nach unten). Wenn sich eine solche aus zahlreichen horizontalen Schichten bestehende Kugelpackung unter dem nach unten wachsenden Druck des Eigengewichts befindet, so wird die Packung als Ganzes, d. h. das «Gerüst» des porösen Systems, elastisch anisotrop mit der $z$-Richtung als ausgezeichneter Richtung und Gleichwertigkeit aller horizontaler Richtungen, ferner inhomogen, indem die elastischen Eigenschaften Funktionen von $z$ werden. Zu einer Fortpflanzungsrichtung gehören im allgemeinen drei Arten von infinitesimal ebenen homogenen Wellen mit drei verschiedenen Fortpflanzungsgeschwindigkeiten. Ist $\alpha$ der Winkel der Fortpflanzungsrichtung mit der $z$-Richtung, so ist z. B. die größte dieser Geschwindigkeiten

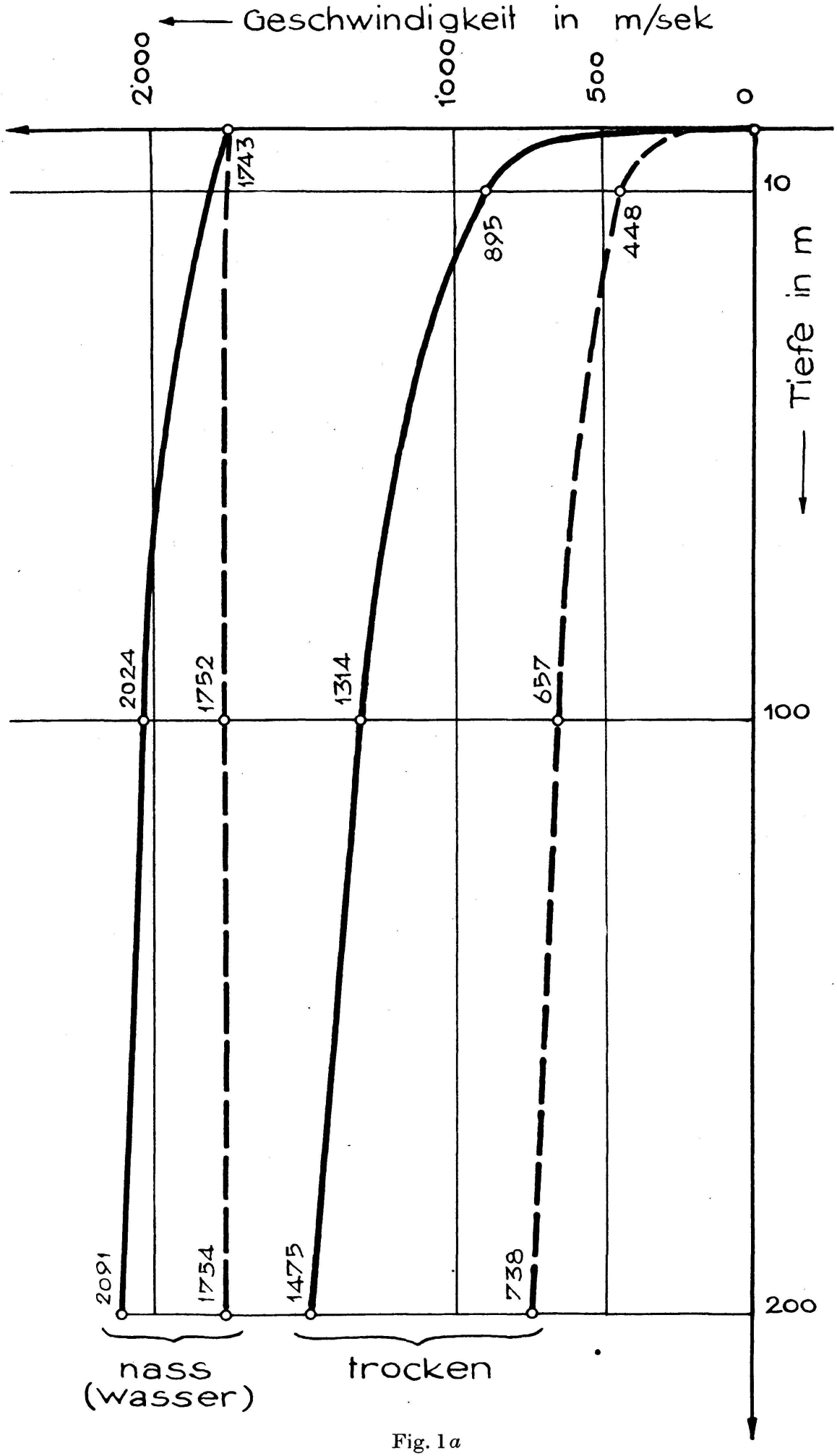

Geschwindigkeit in m/sek
2000
1000
500
0
Tiefe in m
10
100
200
1743
895
448
2024
1752
1314
657
2091
1754
1475
738
nass
(wasser)
trocken

Fig. 1*a*

*Geschwindigkeiten elastischer Wellen in einer Kugelpackung*

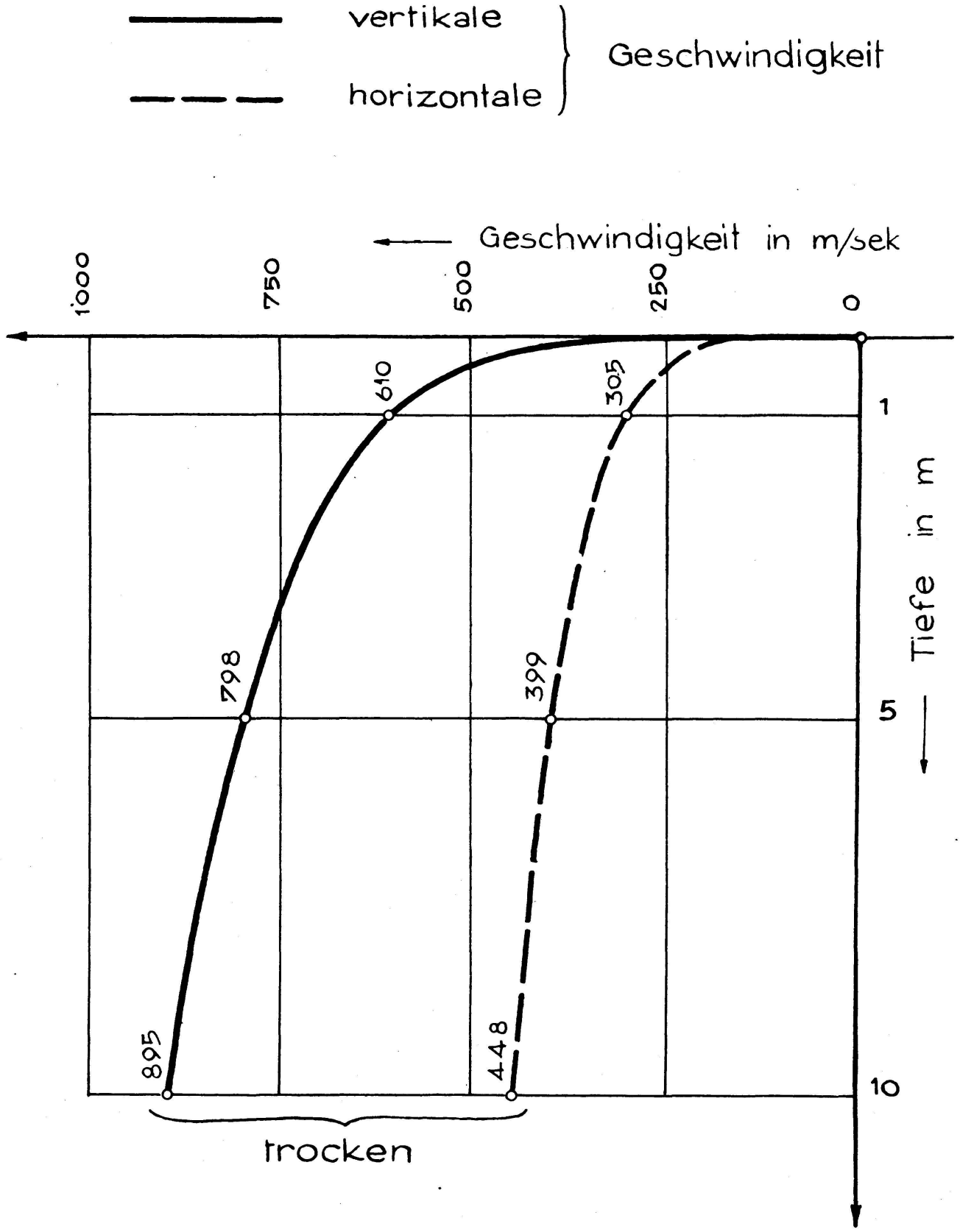



Abb. I*b*

$$v = L \cdot \sqrt[6]{z} \cdot F(\alpha), \text{ wobei}$$

$$L = \sqrt[3]{\frac{8\,E\sqrt{2g}}{\pi\varrho\,(1-\nu^2)}}$$

$E$ = Elastizitätsmodul des Kugelmaterials
$\nu$ = Poissonsche Konstante des Kugelmaterials
$\varrho$ = Dichte des Kugelmaterials
$g$ = Schwerebeschleunigung

$$F(\alpha) = \frac{1}{8}\sqrt{25 + 15\cos 2\alpha + \sqrt{(15 + 9\cos 2\alpha)^2 + 256\sin^2 2\alpha}}.$$

*Normierter Wellenstrahl für elastische Wellen in Kugelpackung*

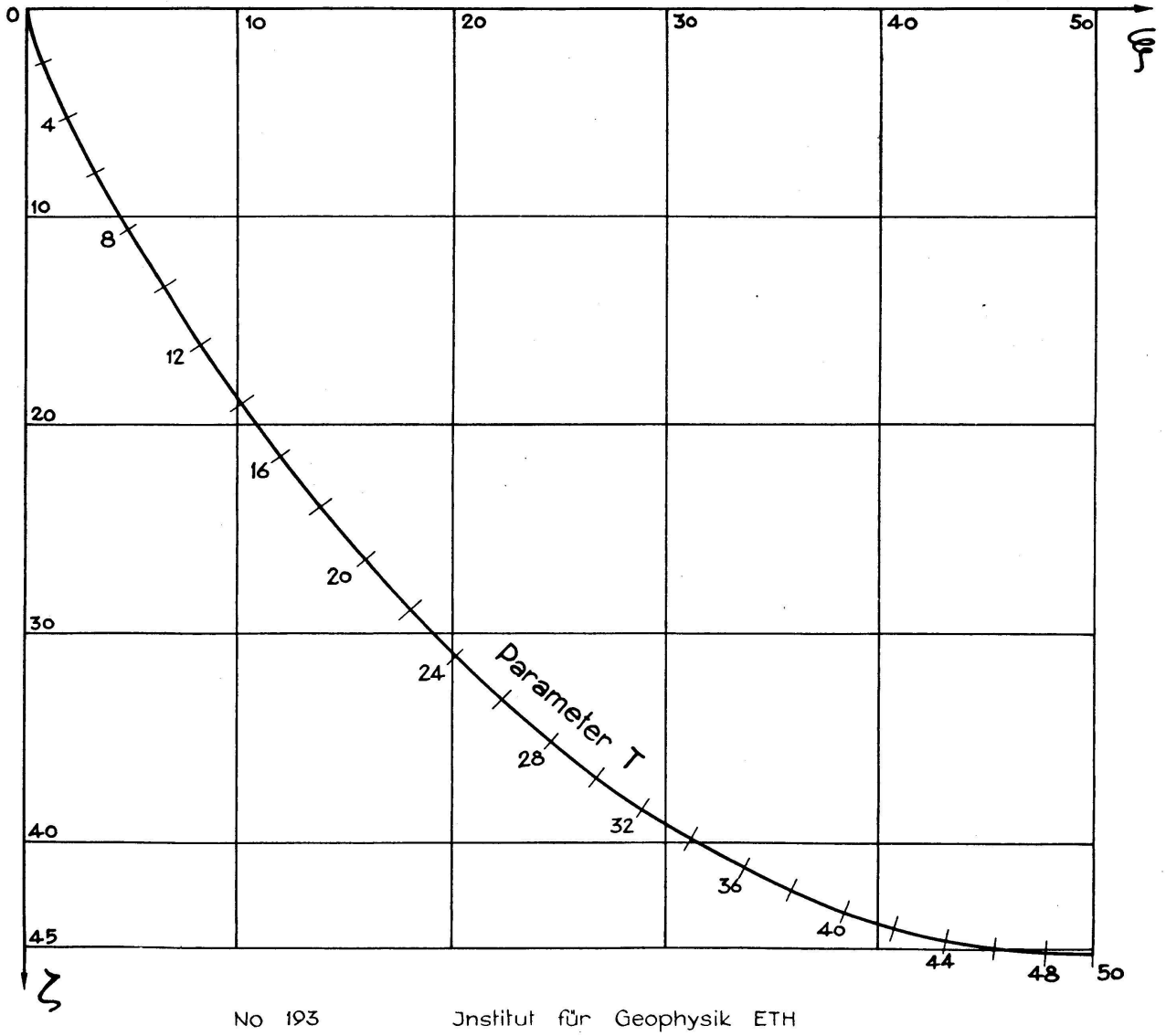



Fig. 2

Nach der in der vorangehenden Arbeit besprochenen Theorie poröser Medien können entsprechend die Geschwindigkeiten berechnet werden, wenn die Zwischenräume mit einem Gas oder einer Flüssigkeit gefüllt sind. Für Granitkugeln ($E = 0{,}5 \cdot 10^{12}$ *CGS*-Einheiten, $\varrho = 2{,}65 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$ $g = 980{,}665 \frac{\text{cm}}{\text{sec}^2}$, $\nu = 0{,}25$) sind in Fig. 1 die größten Geschwindigkeiten in $z$-Richtung ($\alpha = 0°$) und in horizontaler Richtung ($\alpha = 90°$) angegeben für den Fall von evakuierten (oder mit Luft gefüllten) und von mit Wasser gefüllten Zwischenräumen. Die Berechnung von Strahlgeschwindigkeiten und von Laufzeiten zwischen beliebigen Punkten der Packung läßt sich mit Hilfe von elliptischen Integralen ebenfalls durchführen. In Fig. 2 ist ein normierter Wellenstrahl in einer vertikalen $(\xi, \zeta)$-Ebene für den Fall evakuierter Zwischenräume und Kugeln aus beliebigem Material dargestellt. An der Kurve sind die normierten Laufzeiten $T$ angeschrieben. Wünscht man in einer konkreten $(x, z)$-Ebene den Wellenstrahl mit gegebener horizontaler Spannweite $\triangle$ zu erhalten

*Laufzeitkurve elastischer Wellen in einer Kugelpackung*

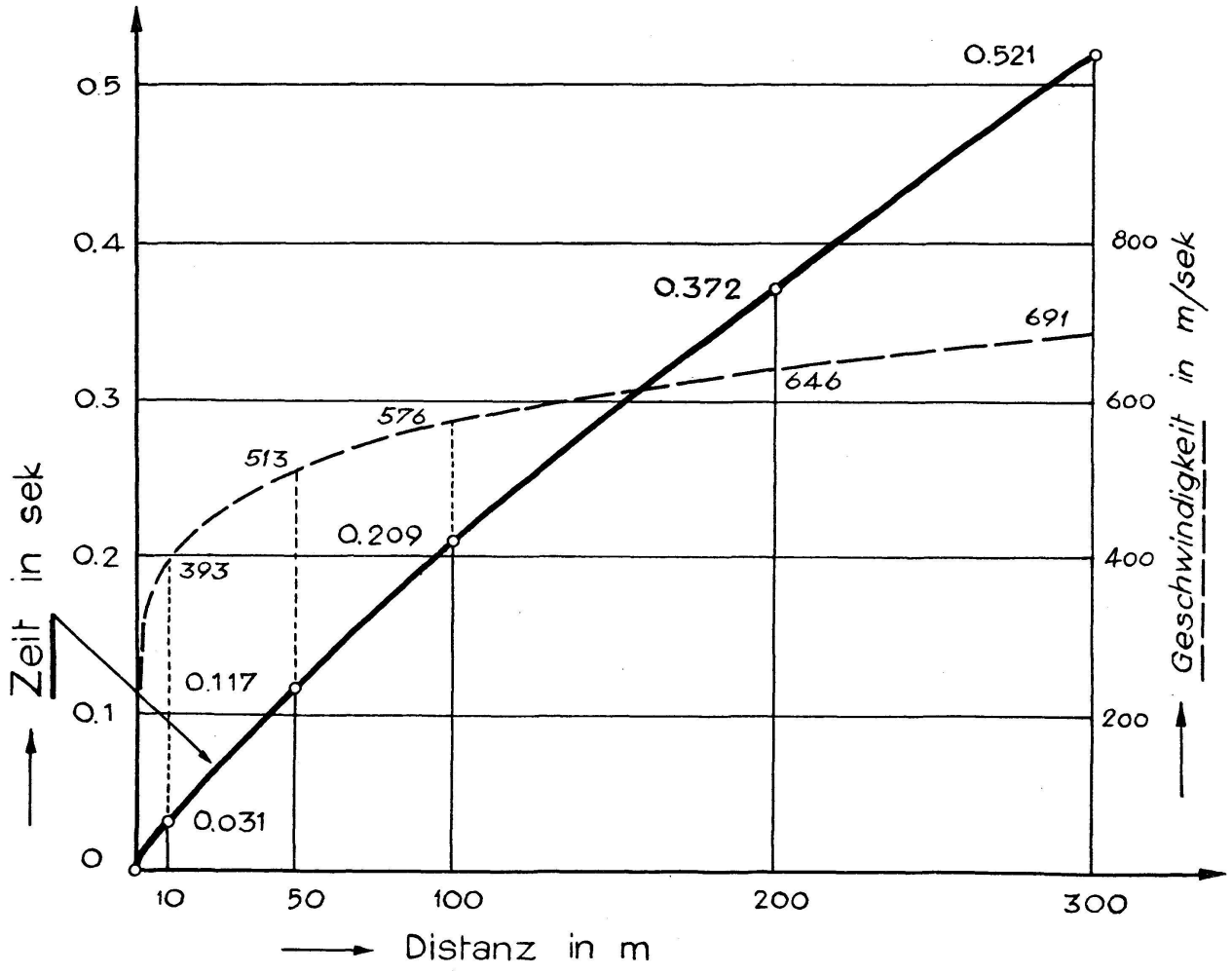



Abb. 3

mit den zugehörigen konkreten Laufzeiten $t$, so hat man in Fig. 2 bloß die Maßstäbe der dimensionslosen Größen $\xi$, $\zeta$ und $T$ durch Maßstäbe in $x$, $z$ und $t$ zu ersetzen gemäß den Gleichungen

$$x = \frac{\triangle}{100}\xi \qquad z = \frac{\triangle}{100}\zeta \qquad t = \frac{k \cdot \triangle^{\frac{5}{6}}}{L} T$$

wobei $k = \frac{3}{250}\sqrt[6]{5\int_0^{\pi} \frac{\sin^4 \alpha}{[F(\alpha)]^6}\, d\alpha} = 0{,}027408$ ist.

In Fig. 3 sind für Granitkugeln mit evakuierten Zwischenräumen die Laufzeit $\tau$ und die scheinbare Oberflächengeschwindigkeit $\frac{d\triangle}{d\tau}$ einer Störung mit punktförmigem Herd an der Oberfläche als Funktion der Horizontaldistanz $\triangle$ dargestellt. $\tau$ ist der Wert von $t$ für $T = 100$, so daß $\tau = \frac{100\,k}{L} \cdot \triangle^{\frac{5}{6}}$ die Laufzeitfunktion ist.

**5.** F. Gassmann (Zürich) und M. Weber (Wohlen AG). – *Schwingungsmesser mit elektronisch regulierbaren Konstanten.*

$f$ sei eine Funktion der Zeit $t$, $L_i(f) = a_{i0} f + a_{i1} \frac{df}{dt} + \ldots + \ldots + a_{in_i} \frac{d^{n_i} f}{dt^{n_i}}$, $i = 0, 1, 2, \ldots$ seien lineare Operatoren der Ordnungen $n_0, n_1, \ldots$ mit den konstanten Koeffizienten $a_{i0}, a_{i1}, \ldots$ Für den zusammengesetzten Operator $L_i[L_k(f)] = L_k[L_i(f)]$ werde das Produktsymbol $L_i L_k$ verwendet.

Ist $s$ der Ausschlag eines Punktes des Pendels eines mechanischen Seismographen von einem Freiheitsgrad, so gilt die Gleichung

$$(1) \qquad L_0(s) = \nu_0^2 s + 2\gamma \frac{ds}{dt} + \frac{d^2 s}{dt^2} = G(t),$$

wo $\frac{\nu_0}{2\pi} = \frac{1}{2\pi}\sqrt{a_{00}}$ die reduzierte Eigenfrequenz, $\gamma = \frac{1}{2} a_{01}$ eine Dämpfungskonstante und $G$ eine durch die Konstruktion des Seismographen und die Bewegungen seines Gestells bestimmte Funktion der Zeit ist. (Ist z. B. der Seismograph vom ersten Grundtypus mit der Vergrößerung $V_0$ für rasche Schwingungen und macht der Boden translatorische Bewegungen mit dem Ausschlag $\zeta(t)$ in Arbeitsrichtung, so ist $G(t) = -V_0 \frac{d^2\zeta}{dt^2}$.)

Bei einem elektrischen Seismographen werden die Pendelausschläge in elektrische Spannungsschwankungen $u_1(t)$ umgewandelt (z. B. durch

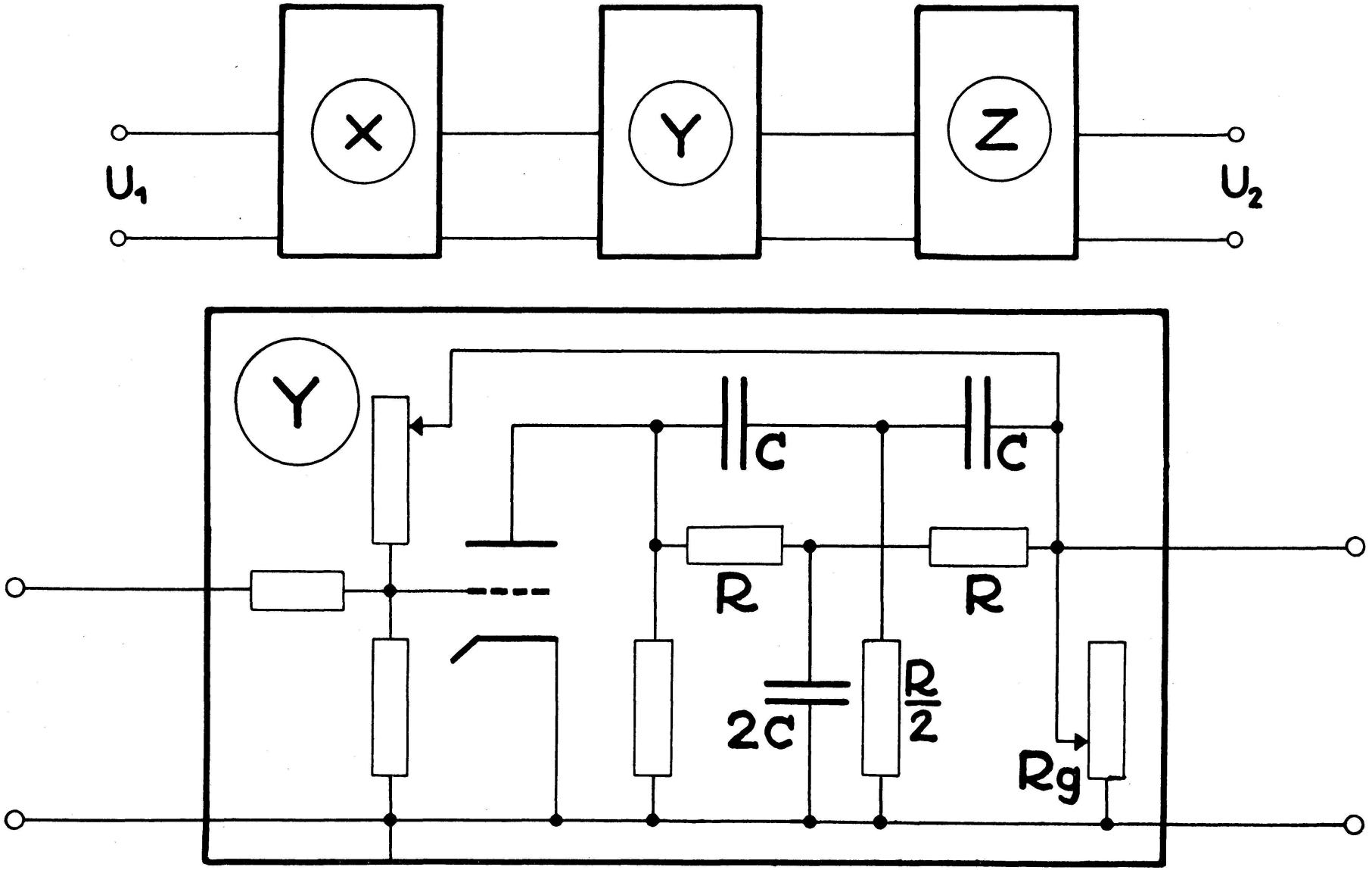



Fig. 1.

einen Piezokristall oder eine Tauchspule), wobei ein Zusammenhang von der Form

$$L_2\,(u_1) = L_1\,(s) \tag{2}$$

angenommen werden kann. Entsprechend kann auch zwischen der Eingangsspannung $u_1$ und der Ausgangsspannung $u_2$ des Verstärkers eine Gleichung

$$L_4\,(u_2) = L_3\,(u_1) \tag{3}$$

angenommen werden. Schließlich werden durch das Registriergerät die Spannungsschwankungen $u_2\,(t)$ in Ausschläge $v\,(t)$ eines Indikators (z. B. eines Lichtpunktes auf dem Registrierpapier) umgewandelt, wofür eine Gleichung

$$L_6\,(v) = L_5\,(u_2) \tag{4}$$

anzunehmen ist. Die Elimination von $s$, $u_1$ und $u_2$ aus den 4 Gleichungen (1) bis (4) ergibt die allgemeine Seismographengleichung

$$L_0\,L_2\,L_4\,L_6\,(v) = L_1\,L_3\,L_5\,(G). \tag{5}$$

Als Anwendungsbeispiel sei ein Seismograph mit vernachlässigbarer Dämpfung betrachtet. Der mechanisch elektrische Umformer sowie das Registriergerät sollen im nutzbaren Frequenzband linear und verzerrungsfrei arbeiten, ebenso die Teilverstärker $X$ und $Z$ des in Fig. 1 dargestellten Verstärkers. $\varepsilon$ sei der Rückkoppelungsfaktor des Teiles $Y$, ferner sei $p = \dfrac{R}{R_g}$ und $\mu$ der Verstärkungsfaktor der in $Y$ enthaltenen Röhre. Der Verstärker sei so dimensioniert, daß die in Gleichung (3*a*) auftretende Konstante $\nu_0$ identisch wird mit $\nu_0$ in Gleichung (1). Die Gleichungen (1) bis (4) gehen dann in folgende spezialisierte Formen (1*a*) bis (4*a*) über:

$$\nu_0^2 s + \frac{d^2 s}{dt^2} = G\,(t). \tag{1a}$$

$$u_1 = C_1 s. \tag{2a}$$

$$\nu_0^2 \left(1 + \frac{2p}{\varepsilon}\right) u_2 + \frac{4\nu_0}{\varepsilon}\left(1 + \frac{p}{2}\right)\frac{du_2}{dt} + \frac{d^2 u_2}{dt^2} = \frac{\mu}{\varepsilon}\left(\nu_0^2 u_1 + \frac{d^2 u_1}{dt^2}\right). \tag{3a}$$

$$v = C_2 u_2. \tag{4a}$$

Man sieht, daß im vorliegenden Falle $L_3 = \dfrac{\mu}{\varepsilon} L_0$ ist und sich die Gleichung (5) daher auf $L_2\,L_4\,L_6\,(v) = \dfrac{\mu}{\varepsilon} L_1\,L_5\,(G)$ reduziert, wodurch sie folgende Form erhält:

$$(5a) \qquad v_0'^2 v + 2\gamma' \frac{dv}{dt} + \frac{d^2v}{dt^2} = C_1 C_2 \frac{\mu}{\varepsilon} G(t)$$

mit $v_0'^2 = v_0^2 \left(1 + \frac{2p}{\varepsilon}\right)$ und $\gamma' = \frac{2v_0}{\varepsilon}\left(1 + \frac{p}{2}\right)$. Man entnimmt daraus, daß die Form der Gleichung (5*a*) des elektrischen Seismographen die gleiche ist wie die Form der Gleichung (1) des mechanischen Pendels, aber mit dem wesentlichen Unterschied, daß die reduzierte Eigenfrequenz $\frac{v_0'}{2\pi}$ und die Dämpfung $\gamma'$ durch entsprechende Wahl von $\varepsilon$ und $p$ auf beliebig vorgeschriebene Werte gebracht werden können. Es sei z. B. auf den Spezialfall $p = 0$ ($R_g = \infty$) hingewiesen, für den der elektrische Seismograph die gleiche Eigenfrequenz wie das mechanische Pendel, aber beliebig einstellbare Dämpfung erhält. Dieser Sonderfall ist in einer demnächst erscheinenden Arbeit (Lit. 4) ausführlicher behandelt. Zur Theorie der Gleichung (1), insbesondere der Form von $G(t)$, sei auf Lit. 1 bis 3 verwiesen.

**Literatur**

(1) *F. Gaßmann:* Zur Bestimmung von Bodenbewegungen aus Registrierungen von Schwingungsmessern und Seismographen. Festschrift SIA der Eidg. Techn. Hochschule, Zürich 1937.

(2) *F. Gaßmann:* Zur Theorie der Schwingungsmesser. Beiträge zur Geophysik, Bd. 52, 1938, S. 1–19.

(3) *M. Weber:* Beitrag zur Messung von Erschütterungen. Dissertation Eidg. Techn. Hochschule, Zürich 1949, und Helvetica Physica Acta, Bd. XXII, 1949, S. 425–456.

(4) *M. Weber:* Eine neue Erschütterungsmeßapparatur und ihre Anwendung. Schweizer Archiv für angewandte Wissenschaft und Technik.

**6.** Zingg Theodor (Davos-Weißfluhjoch). – *Wasserwert und Abbau der Schneedecke.*

Da die Wasserwertbestimmungen der Schneedecke auch oft zur Erfassung der winterlichen Niederschlagsmengen dienen müssen, soll darauf hingewiesen werden, daß dies nur mit großer Vorsicht geschehen darf. Die Untersuchungen an den einzelnen Versuchsfeldern in verschiedenen Höhenlagen des Eidg. Institutes für Schneeforschung auf Weißfluhjoch haben gezeigt, daß unter 2000 m. ü. M. die Schneedecke im Laufe des Winters vom Boden her wegschmelzen kann. Im Winter 1949/50 sind auf diese Weise bis zum März zirka 10–12 % der gesamten Schneemenge vom Boden her abgeschmolzen. Die Unterlage spielt eine nicht unwesentliche Rolle. Jene Gebiete mit großer Kontaktfläche Schnee–Boden, bzw. Pflanzendecke, liefern auf diese Weise mehr Schmelzwasser gegenüber Hochstaudenfluren. Ferner ist die Art des Einschneiens für das spätere Verhalten der Schneedecke von grundsätzlicher Bedeutung. Ein kalter, schneearmer Vorwinter läßt kein Ab-

schmelzen vom Boden her zu. Schneereiche Frühwinter führen hingegen zu einem langsamen, aber steten Abbau, so daß die Quellen anhaltend Zufluß erhalten, was sich auf eine erhöhte Wasserführung unserer Bäche und Flüsse für die Kraftgewinnung auswirkt.

**7.** JOHANN HÄFELIN (MZA Zürich). – *Der Wasseraustausch zwischen der Schneedecke und der Luft im Hochgebirge und in der Ebene.*

Der Wasseraustausch zwischen der Luft und der Schneedecke wurde in zwei Meßreihen im März 1946 und Oktober 1947 auf dem Jungfraujoch durch Wägung von Schneeproben bestimmt. Während im ersteren Falle nur Verdunstung beobachtet wurde, ergaben die Messungen im Oktober 1947 in zwei Nächten für kurze Zeit schwache Kondensation. Die Gesamtbilanz dieser beiden Nächte zeigt jedoch ebenfalls Verdunstung an. Die Messungen wurden benutzt, um die Konstante der Formel von Trabert, die von Westmann (s. auch Annalen der MZA 1918 und 1946) in analoger Weise auf die Verdunstung von Schnee angewandt wurde, zu bestimmen. Mit Hilfe dieser Gleichung wurden dann die Verdunstungsmengen für diejenigen Tage berechnet, an denen keine Wägungen, wohl aber die Messung der Schneetemperaturen ausgeführt werden konnten. Diese Daten erlauben sodann eine rohe Abschätzung der jährlichen Bilanz des Wasseraustausches im Jungfraujochgebiet, die für die Schattenseite etwa 200 mm, für die Sonnenseite etwa 300 mm Verdunstung pro Jahr ergibt.

Die im Winter 1949/50 in Zürich ausgeführten Wägungen ergaben tagsüber immer Verdunstung, nachts jedoch immer Kondensation. Die Tagesbilanz war zum Teil negativ, zum Teil positiv. Während auf dem Jungfraujoch die täglichen Austauschmengen zwischen — 250 und — 1700 g/m² schwanken, variieren sie in Zürich zwischen + 70 und — 120 g/m². Mengenmäßig scheint also der Austausch in der Ebene nicht von Bedeutung zu sein, während er im Hochgebirge den Wasserhaushalt der Firnfelder stark beeinflussen sollte.

Ein Vergleich mit den Messungen von R. Billwiller, A. de Quervain sen. und M. de Quervain jun. zeigt, daß der Austausch stark von der Lage des Ortes abhängt.

**8.** WALTER KUHN (MZA, Zürich). – *Zusammenhang zwischen Firnzuwachs, Sommertemperatur und Niederschlag nach Messungen auf dem Clariden- und Silvrettagletscher.*

Die von der Gletscherkommission der Physikalischen Gesellschaft Zürich (1913–1946) und der Schweizerischen Meteorologischen Zentralanstalt (seit 1947) alljährlich auf dem Clariden- und Silvrettagletscher durchgeführten Firnzuwachsmessungen sind heute umfangreich genug, um eine vorläufige Bearbeitung mit den Mitteln der mathematischen Statistik zuzulassen. Von Clariden liegen 28, von Silvretta 25 vollständige

Jahresergebnisse vor (publiziert in der Vierteljahrsschrift der Naturforschenden Gesellschaft Zürich, vor 1922 im Jahrbuch «Ski»). Die jeweilen im Herbst (meistens im September) gemachte Jahresaufnahme erfaßt in erster Linie den jährlichen Firnzuwachs, wie er anhand senkrecht eingesteckter Stangen (sog. Bojen) und durch Ausgrabung vorjähriger Ockerflecken bestimmt wird; der Firnzuwachs kann negativ werden, wenn der Schnee eines Winters im folgenden Sommer ganz wegschmilzt. Auf beiden genannten Gletschern werden zwei Meßstellen überwacht, deren Lage im Gelände durch Visuren festgelegt ist. Ein Niederschlagstotalisator im Claridengebiet (Geißbützistock 2720 m) und zwei solche in nächster Umgebung des Silvrettagletschers (Silvrettahütte 2375 m und Eckhorn 3145 m) orientieren über den seit der letzten Jahresaufnahme gefallenen Niederschlag. Zur Untersuchung des Temperatureinflusses werden im Folgenden die Sommertemperaturen des Säntis (2500 m) herangezogen, und zwar dient als Grundlage die Summe der Monatsmittel von Juni bis September. So ergeben sich folgende Kk (Korrelationskoeffizienten) zwischen Firnzuwachs einerseits, Sommertemperatur bzw. Niederschlag anderseits:

| | Temperatur (Säntis VI—IX) | Niederschlag (Totalisator) | Totaler *Kk* |
|---|---|---|---|
| Clariden | | | |
| obere B. (2900 m) | $-0{,}70 \pm 0{,}10$ | $0{,}79 \pm 0{,}07$ | 0,88 |
| | (—0,64) | (0,75) | |
| untere B. (2700 m) | $-0{,}68 \pm 0{,}10$ | $0{,}82 \pm 0{,}06$ | 0,89 |
| | (—0,62) | (0,79) | |
| Silvretta | | | |
| obere B. (3000 m) | $-0{,}34 \pm 0{,}18$ | $0{,}53 \pm 0{,}17$ | 0,78 |
| Eckhorntotalisator | (—0,38) | (0,55) | |
| untere B. (2750 m) | $-0{,}57 \pm 0{,}14$ | $0{,}47 \pm 0{,}16$ | 0,76 |
| Hüttentotalisator | (—0,51) | (0,38) | |

(In jedem Feld steht zuerst der einfache *Kk*, dahinter $\pm$ der mittlere Fehler, darunter in Klammern der partielle *Kk* unter Mitberücksichtigung des dritten Elementes; in der letzten Kolonne der totale *Kk* in bezug auf die entsprechende Regressionsgleichung).

Als Beispiel für die Regressionsgleichungen geben wir diejenige der oberen Claridenboje an, und zwar in einer Form, die von den Mittelwerten der 3 Elemente ausgeht:

$$Z = 286 - 21{,}7\ (T_S - 17{,}7) + 1{,}87\ (N - 344)$$

Hierin ist der Firnzuwachs $Z$ und der Jahresniederschlag $N$ in cm, die Temperatursumme $T_S$ in °C auszudrücken.

Als Ergebnis dieser statistischen Untersuchung sei festgehalten, daß mit Ausnahme der am wenigsten repräsentativen unteren Silvrettaboje überall der Einfluß des Jahresniederschlages denjenigen der Sommertemperatur etwas überwiegt.

**9.** Gian Alfred Gensler (MZA Kloten). – *Der Firnschwund im Berninagebiet.*

Von einzelnen Firnfeldern, die vom Oberengadiner Talboden um Samedan herum sichtbar sind, stehen seit 1833 Rundsichten und ab 1866 Photographien zur Hand, an welchen sich die Schwankungen der Höhenlage der Firnoberflächen gut verfolgen lassen. Seit 1947 wird dies vornehmlich an Felsgräten, -inseln und -fenstern durch Winkelmessungen an einem 45fach vergrößernden Fernrohr genauer festgestellt, indem die Überragungen dieser Felsen über den Firn gemessen werden. Eine Begehung des geeignetsten Raumes hierfür, des Vadretin Misaun (LK Nr. 268, 788,5/145) legte auf Grund der Gesteinsverwitterung und Bodenbewachsung den höchsten Firnstand der Glazialepoche 1550–1850 fest. Dieser Stand um 1600 als Ausgangshöhe 0 m (= 2960 m. ü. M.) genommen, führt zu folgenden Absenkungen in Metern an einem Nunatakfelsen in NW-Exposition und 35° Hangneigung; die Zahlen in Klammern stellen mutmaßliche sekundäre Extreme dar:

| Jahr | Schwund | Jahr | Schwund | Jahr | Schwund | Jahr | Schwund |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1600 | 0 | 1866 | 19 | 1905 | 32 | 1928 | 49 |
| 1833 | 9 | (1870 | 18) | 1907 | 41 | 1935 | 60 |
| 1836 | 18 | 1877 | 29 | 1917 | 34 | 1938 | 61 |
| (1845 | 9) | (1885 | 21) | 1920 | 29 | ausgeapert | |
| 1855 | 7 | (1896 | 17) | 1923 | 34 | | |
| (1860 | 20) | 1901 | 30 | 1927 | 44 | | |

Der Firngrat des Vadret Rosatsch senkt sich ebenfalls gegenüber dem 50 m hinter ihm liegenden, 30 m höheren Gipfelfelsengrat;

Ausgangshöhe von 1899 (erste Photo) = 0 m (3127 m ü. M.) genommen:

| Jahr | 1901 | 1906 | 1917 | 1920 | 1923 | 1935 | 1945 | 1947 | 1948 | 1949 | 1950 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Schwund | 6 | 13 | 5 | 0 | 7 | 11 | 14 | 19 | 16 | 20 | 21 |

Im Jahre 1850 oder 1875 erstmals und 1935 erneut vermessene Firnkuppen oder -gipfel zeigen einen Firnverlust, der in ihrer abnehmenden Gipfelhöhe zum Ausdruck kommt, unterhalb 3400 m ergänzt durch den Misaun- und den Aletschgletscher (approx.):

| (Gipfel-)Höhe | 3900 | 3600–3400 | 3000 | 2750 m ü. M. |
|---|---|---|---|---|
| Absenkung | 2–4 | 6–21 | 20–22 | 40 m |
| Anzahl | 4 | 5 | 2 | 1 |

Diese Firnüberschußdefizite bewirkten notgedrungen ein Ansteigen der Firnlinie (auf Eis) von 2920 m ü. M. Anno 1875 auf 3050 m 1943 und 3080 m 1949 (von 2830 auf 3000 m in NW-Exposition). Infolge des Retardierungseffektes der Gletscher liegt die eigentliche klimatische Schneegrenze (auf eisfreiem Boden) bereits nahe bei 3400 m ü. M.

**10.** JOHANN HÄFELIN (MZA Zürich). – *Anwendung der Baurschen Hochsommerregel und der Siebenschläferregel auf das Wetter in der Schweiz.*

Es wurde untersucht, ob die von Baur aufgestellte Regel: «Auf trockene, überhitzte erste Junihälfte folgt in Deutschland nasser Hochsommer» auch auf die nördlich der Alpen liegenden Gegenden der Schweiz angewandt werden kann. Zu diesem Zwecke wurden alle Jahre seit 1865 herausgesucht, die in Zürich für die Zeit vom 1. bis 15. Juni ein um 2,3° oder mehr über dem langjährigen Durchschnitt liegendes Tagesmittel der Temperatur aufweisen. Von den 12 Fällen, die dieser Bedingung genügen, entsprachen 10 der Regel. Tatsächlich lag in diesen 10 Jahren die mittlere Regenmenge von 16 Stationen der Alpennordseite in den Monaten Juli und August zusammen jeweils mindestens um 20 mm über dem Normalwert. Im Mittel beträgt der Überschuß in allen 12 Fällen, also einschließlich der beiden, die nicht der Regel entsprachen, 45 mm. Baur fand für den Zeitraum 1848–1943 ebenfalls 12 Fälle, von denen 11 der Regel entsprachen. Man kann also sagen, daß diese Regel mit fast gleich großer Wahrscheinlichkeit auf die nördlich der Alpen gelegenen Gegenden der Schweiz angewandt werden kann.

Eine zweite Regel wurde im Juniheft 1948 der Großwetterlagen Europas vom Deutschen Wetterdienst, Bad Kissingen, veröffentlicht. Darnach soll für Südwestdeutschland gelten: «Je häufiger und verbreiteter zwischen dem 26. und 30. Juni Regen fällt, um so niederschlagsreicher wird der Juli». Da nach alter Bauerregel das Wetter des 27. Juni, des Siebenschläfertages, den Wettercharakter des Juli bestimmen soll, wird diese Regel Siebenschläferregel genannt. Betrug nun die Häufigkeit der Niederschlagstage der sechs Stationen Bern, Neuchâtel, Genève, Altdorf, Zürich und Basel in der Zeit vom 26. Juni bis 30. Juni weniger als 40%, so wiesen von den insgesamt 42 Fällen, die in den Jahren 1865 bis 1949 auftraten, 24 eine unternormale Niederschlagsmenge auf, was also einer Wahrscheinlichkeit von 57% entspricht. Das Mittel der Abweichungen aller 42 Fälle beträgt nur —1 mm. Anderseits war die Häufigkeit der Niederschläge in 14 Jahren größer als 60%. Acht dieser zwölf Fälle ergaben eine positive Abweichung der Juliregenmengen, also wiederum eine Wahrscheinlichkeit von 57%. Die mittlere Abweichung aller 14 Fälle beträgt + 5 mm. Diese Regel ist also in der Schweiz kaum anwendbar.

**11.** JOHANN HÄFELIN und WALTER KUHN (MZA Zürich). – *Untersuchungen über die Wirkung verschiedener Frostschutzschirme an Reben. (Vorversuche.)*

Von landwirtschaftlicher Seite wurde die MZA ersucht, die Wirksamkeit verschiedener Frostschutzschirme an Rebstöcken zu prüfen und miteinander zu vergleichen. Für die Schutzwirkung ist, neben andern Faktoren, vor allem die Temperatur unter dem Schirm maßgebend. Als Meßkörper wurden, da es nur auf die Differenz der Temperatur unter-

und außerhalb des Schirmes ankommt, Thermoelemente gewählt, deren Angaben mittels eines Sechsfarbenschreibers registriert wurden. Der Nullpunkt war in die Mitte des Schreibbandes gelegt, so daß sowohl positive wie negative Abweichungen abgelesen werden konnten. Der halben Skalenbreite von 75 mm entsprach eine Temperaturdifferenz von 7,6 Grad, so daß das Zehntelsgrad gut beobachtet werden konnte.

Die Messungen ergaben in klaren und windschwachen Nächten der Monate April und Mai 1950 folgende Resultate:

| Strohschirme | | | | Papier- | Karton- |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | schirm | schirm |
| + 0,94° C | + 0,90° C | + 0,89° C | + 1,10° C | — 0,70° C | — 0,34° C |

Es zeigt sich also, daß die Papier- und Kartonschirme, wohl infolge verstärkter Ausstrahlung des Materials, unter dem Schirm tiefere Temperaturen aufweisen als außerhalb. Von den Strohschirmen ergab ein von privater Seite erstellter und nicht im Handel erhältlicher Schirm, bei dem die Halme besonders dick angeordnet sind, ein etwas besseres Resultat als die andern. Um den Strahlungseinfluß, dem die Thermoelemente unterworfen sind, zu überprüfen, wurde zeitweise die äußere Lötstelle beim Schirm 1 mit einem Karton nach oben abgeschirmt. Der Mittelwert dieser Messungen ergab eine Abweichung von nur + 0,40°. Ebenso wurde während längerer Zeit beim Schirm 1 ein Zehnfach-Element angebracht, dessen 10 Lötstellen fächerartig angeordnet und nicht mit Wachs zusammengehalten waren. Der Mittelwert der Temperaturdifferenzen betrug mit diesem Meßkörper + 0,60°.

Es ist geplant, die definitiven Messungen nächstes Jahr auszuführen und dabei auch andere Elemente wie Feuchte, Verdunstung, Reifbildung usw. zu bestimmen, um die Frage nach der Güte der verschiedenen Frostschirme genauer abklären zu können.

**12.** Karl Frey (Olten). – *Die Druckgradienten bei Föhn.*

Entlang des Süd-Nord-Profils Lugano–Airolo–Gotthard–Göschenen–Altdorf–Pilatus–Zürich wurden auf Grund der Beobachtungen der Jahre 1938/39 die 24stündigen Änderungen des Nord-Süd-Gradienten des Luftdruckes (— = Föhngradientänderung; + = Staugradientänderung) in mb gebildet und mit Hilfe der entsprechenden Temperaturänderungen auf 500 m ü. M. und für das Stationspaar Gotthard/Pilatus auf 2000 m ü. M. reduziert. Diese Werte sind in Tab. 1 zusammengestellt und zeigen als wichtigstes Ergebnis, daß der Hauptanteil der Gradientänderungen zwischen den rund 16 km entfernten Stationen Airolo und Göschenen liegt. Den Gradientänderungen entsprechen auf der Alpennordseite Temperaturänderungen umgekehrten Vorzeichens, die ihr größtes Ausmaß auf den Bergstationen erreichen.

*Tab. 1*

| Fälle | Gradientänderungen in mb | | | | | | Temperaturänderungen | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Lu-Al | Lu-Ai | Ai-Gö | Gö-Al | Al-Zü | Go-Pi | Lu | Go | Pi | Al |
| 40 | — 8,3 | — 2,6 | — 4,4 | — 1,3 | — 0,9 | — 2,8 | — 2,4 | + 1,3 | + 4,1 | + 0,5 |
| 30 | + 10,2 | + 2,2 | + 6,3 | + 1,7 | + 0,3 | + 3,6 | + 1,3 | — 3,1 | — 5,9 | — 3,7 |

In entsprechender Weise wurden nun bei den typischen Föhn- und Staulagen der Jahre 1938/39 die Luftdruckgradienten (Gr) berechnet und auf 500 m ü. M. und für die Bergstationen auf 2000 m ü. M. reduziert.

Unter $\triangle \delta$ ist die Differenz der potentiellen Temperaturen der betreffenden Stationen angegeben, wobei die Vorzeichen angeben, ob die nördlich gelegene Station eine höhere oder tiefere Temperatur aufweist. Diese Werte sind in Tab. 2 zusammengestellt.

*Tab. 2*

| Wetterlage | Fälle | Lu-Al | | Lu-Ai | Ai-Gö | | Gö-Al | Al-Zü | | Go-Pi | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Gr | $\triangle \delta$ | Gr | Gr | $\triangle \delta$ | Gr | Gr | $\triangle \delta$ | Gr | $\triangle \delta$ |
| Föhnlagen | 21 | — 8,7 | + 8,3 | — 1,3 | — 5,0 | + 5,5 | — 2,4 | — 0,4 | — 3,7 | — 4,2 | + 6,3 |
| Staulagen | 25 | + 7,8 | — 5,6 | + 2,4 | + 3,8 | — 2,4 | + 1,6 | + 0,2 | + 0,4 | + 2,3 | 0,0 |
| Föhnbeginn | 17 | + 1,6 | — 0,9 | + 0,2 | + 0,4 | — 0,1 | + 1,0 | — 0,4 | + 0,8 | — 0,4 | + 1,2 |
| Föhnende | 23 | — 0,2 | + 2,5 | — 0,9 | + 0,2 | 0,0 | + 0,5 | 0,0 | — 0,5 | — 0,9 | — 1,2 |

Die Stationen Göschenen und Airolo haben eine rund zehnmal kleinere Entfernung als die Stationen Zürich und Lugano. Doch macht der Gradientanteil zwischen diesen 16 km entfernten Stationen bei Föhnlagen mit 5 mb 55 % und bei Staulagen mit 3,8 mb 47 % des gesamten Luftdruckgradienten zwischen Zürich und Lugano aus. Diese eigenartige Verteilung der Luftdruckgradienten, die mit derjenigen der Gradientänderungen sehr ähnlich ist, läßt sich mit Hilfe der angegebenen Differenzen der potentiellen Temperaturen fast vollständig erklären. Verwenden wir letztere, um den Druckgradienten in 2000 m ü. M. zu berechnen, so finden wir eine weitgehende Übereinstimmung mit dem Druckgradienten zwischen Gotthard und Pilatus. Dieser ist besonders bei Südföhn mit 4,2 mb (Entfernung: rund 50 km) verhältnismäßig groß. Doch ist zu berücksichtigen, daß die Stromlinien gegen die isobaren Flächen geneigt sind. Dieser große Druckgradient und das barokline Solenoidfeld sind die Hauptenergiequellen der Föhnströmung.

Im weiteren wurde noch die mittlere Gradient- und Temperaturverteilung bei «Föhnbeginn» und «Föhnende» bestimmt.

**13.** Max Bider (Basel) und J. C. Thams (Locarno-Monti). – *Die Schwüle meteorologisch betrachtet.*

Vielfache experimentelle Untersuchungen haben ergeben, daß der sich in Ruhe in einem Zimmer befindende Mensch im allgemeinen dessen Schwüle empfindet, wenn der Dampfdruck der Luft 14,1 mm Hg überschreitet[1]. Man kann darnach einen Tag als «schwül» bezeichnen, an dem zu irgend einer Terminbeobachtung ein Dampfdruck $\geqq$ 14,1 mm Hg gemessen wurde. Für Basel (1930–1949) ergab sich die folgende mittlere jährliche Anzahl von Tagen, an denen ein bestimmter Stufenwert des Dampfdruckes von mindestens 14,1 mm Hg zu irgend einer Terminbeobachtung erreicht wurde.

| Dampfdruck mm Hg | 14,1–14,5 | 14,6–15,0 | 15,1–15,5 | 15,6–16,0 | 16,1–17,0 | 17,1–18,0 | 18,1–19,0 | 1,1 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Anzahl Tage | 7,6 | 5,3 | 4,2 | 3,2 | 3,0 | 0,8 | 0,4 | 0,4 |

Man erkennt daraus, daß rund die Hälfte aller schwülen Tage in Basel auf den kleinen Bereich von 14,1 bis 15,0 mm Hg Dampfdruck fallen. Relativ kleine Unsicherheiten in der Bestimmung des Dampfdruckes werden also die Zahl der schwülen Tage sehr stark beeinflussen. Da die Messung der Feuchtigkeit nicht überall in gleicher Weise vorgenommen wird (Hygrometer, ventilierte und unventilierte Psychrometer u. a. m.), wobei sehr beträchtliche Unterschiede auftreten können (in Locarno-Monti wurden in den zwei Jahren 1948 und 1949 mit dem ventilierten Psychrometer 62, mit dem Hygrometer 15 und mit Hygrographen 28 schwüle Tage bestimmt!), wurde mit Nachdruck auf die Wichtigkeit einwandfreier Feuchtigkeitsmessungen hingewiesen. (Wahrscheinlich sind auch die von W. Mörikofer angegebenen Zahlen der schwülen Tage Basel 28, Zürich 14 und Bern 11 zum Teil durch instrumentelle Fehler gefälscht). Interessant und wohl eindeutig ist der Vergleich der mittleren monatlichen Zahl der schwülen Tage in Basel (1930–1949) und Mailand (1903–1947)

| | Schwüle Tage | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Mai | Juni | Juli | August | September | Oktober | Jahr |
| Basel | 0,7 | 5,1 | 7,1 | 7,8 | 4,0 | 0,2 | 24,9 |
| Mailand | 1,2 | 6,1 | 16,4 | 17,3 | 8,2 | 0,5 | 49,7 |
| | Tage mit einem Dampfdruck $\geqq$ 14,1 mm Hg an allen drei Terminen | | | | | | |
| Basel | 0,1 | 0,3 | 0,8 | 0,8 | 0,2 | — | 2,2 |
| Mailand | 0,1 | 1,2 | 5,3 | 6,5 | 2,5 | — | 15,6 |

Eine Auszählung der Dampfdruckwerte $\geqq$ 14,1 mm Hg nach einzelnen Terminen ergab

für Basel um 7.30 h: 4,5, 13.30 h: 18,1 21.30 h: 13,5
für Mailand um 9.00 h: 27,4 15.00 h: 30,1 21.00 h: 38,1

[1] Vgl. z. B. *K. Scharlau:* Die Schwüle als meßbare Größe. Bioklimat. Beiblätter Bd. 10, S. 19, 1943.

so daß also in Basel der Mittagstermin stark überwiegt, in Mailand dadagegen bei einem Maximum am Abendtermin die Häufigkeit viel ausgeglichener ist. Naturgemäß ist die ununterbrochene Aufeinanderfolge schwüler Tage in Mailand viel größer als in Basel. (In Basel beträgt die durchschnittliche jährliche Zahl von Perioden mit 5 und mehr Tagen 1,0, in Mailand dagegen 4,4.) Eine Untersuchung über den Zusammenhang zwischen Temperatur und Dampfdruckwerten $\geq$ 14,1 mm Hg am Mittagstermin ergab für Basel (1931–1948) folgendes Resultat:

| Temperatur | $<20°$ | 20°–22° | 22°–24° | 24°–26° | 26°–28° | 28°–30° | 30°–32° | 32°–34° | 34°–36° | 36°–38° |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Anzahl Tage $\geq$ 14,1 mm Hg | 1,1 | 1,3 | 1,9 | 3,5 | 4,2 | 3,8 | 2,6 | 1,0 | 0,2 | — |
| Prozentuale Häufigkeit | | | | | 28 | 39 | 49 | 40 | 19 | 0 |

Es zeigt sich, daß in Basel Schwüle am häufigsten bei Mittagstemperaturen von 26–28° vorkommt, daß aber selbst bei Temperaturen von 28–30° nur knapp die Hälfte dieser Tage schwül ist, und daß die relative Häufigkeit sogar mit zunehmender Temperatur wieder abnimmt. Weiterhin wurde für Basel festgestellt, daß im Sommer 22 % aller Niederschlagstage, 49 % aller Gewittertage und 83 % aller Tage mit Hagel schwül waren. Dagegen ließ sich am Basler Material die von Scherhag[1] für Potsdam gefundene enge Beziehung zwischen Dampfdruck und Gewitterhäufigkeit nicht nachweisen, indem in Basel die Gewitterhaftigkeit bei 14–16 mm Hg 37 % und auch bei Werten über 16 mm Hg Dampfdruck nur 38 % erreicht.

**14.** Peter Courvoisier (Davos). – *Über einen neuen Strahlungsbilanzmesser.*

F. Albrecht hat 1933 ein Meßgerät zur Bestimmung der Energiebilanz aller elektromagnetischen Strahlungsströme beschrieben, die auf eine Fläche auftreffen oder von ihr wegfließen. Ohne Zweifel ist diese Strahlungsbilanz die wichtigste Größe, die von der meteorologischen Strahlungsforschung an die thermodynamisch orientierte Meteorologie und Geophysik weitergegeben werden kann; denn die durch Strahlung zugeführte oder wieder verlorene Leistung bedingt Richtung und Umfang aller großräumigen thermodynamischen Vorgänge in der Atmosphäre. Die Konstruktion von einwandfrei, zuverlässig und übersichtlich arbeitenden Meßgeräten für die Messung der Strahlungsbilanz muß daher als eine wesentliche Aufgabe der experimentellen Technik auf dem Gebiet der Strahlungsempfänger angesehen werden. Das Davoser Observatorium hat sich nun dieser Aufgabe zugewandt und die neuen Methoden, die zur Lösung von theoretischen wie von technischen Problemen auf dem Gebiet des Baues von Strahlungsmeßinstrumenten in den letzten Jahren dort entwickelt worden sind, für die Konstruktion eines verbesserten Strahlungsbilanzmessers eingesetzt. Im Gegensatz zur bisherigen Praxis bei derartigen Meßgeräten sollte jedoch nicht ein

[1] *R. Scherhag:* Wetteranalyse und Wetterprognose, Berlin/Heidelberg 1948, S. 279.

«einfaches» Instrument entstehen, wobei dann die Schwierigkeiten der Methode erst in der Handhabung auftauchen; es sollte im Gegenteil die Messung mit dem Instrument möglichst einfach und übersichtlich sein, wozu die Probleme der ganzen Meßmethode schon bei der bis ins Detail vorausberechneten Konstruktion des Instrumentes durch geeignete Maßnahmen zu lösen waren. Diese Schwierigkeiten bestehen zur Hauptsache in einer Beeinflussung der Temperaturen der geschwärzten und völlig frei exponierten Meßflächen des Instrumentes durch den natürlichen Wind und die aus der Mikroklimaforschung bekannten raschen Schwankungen der Lufttemperatur um 1° C und mehr, sowie bei den bisher gebauten Strahlungsbilanzmessern in einer viel zu großen Einstelldauer, einer großen Temperaturabhängigkeit ihrer Empfindlichkeit und der Notwendigkeit zu zeitraubenden Eichmessungen bei jeder einzelnen Ablesung. Die beiden ersten Schwierigkeiten konnten durch eine hydrodynamisch möglichst sorgfältig durchgearbeitete Ventilationsvorrichtung mit optimal kleiner Störung der Bestrahlungsverhältnisse der Meßplatten sowie wärmeströmungstechnisch mit einer Brückenmethode überwunden werden. Die Temperaturabhängigkeit und die Einstelldauer konnten durch Wahl geeigneter Legierungen für die Teile der ganz aus Metall gebauten Meßplattensysteme so klein gehalten werden, daß sie keine Rolle mehr spielen. Zuletzt wurde die elektrische Schaltung des Instrumentes eingehend bearbeitet, so daß alle Ablesungen, die mit mehreren Empfindlichkeiten an einem Lichtmarken-Galvanometer (Nachtablesungen!) als einzigem Anzeigeinstrument gemacht werden können, direkt und ohne zeitraubende Rechnungen die gesuchten Strahlungsintensitäten in cal/min/cm² ergeben. Die in die Meßplatten eingebauten Heizvorrichtungen (Netzanschluß) gestatten die Entwicklung einer genau bekannten und gleichmäßig verteilten Heizleistung und damit eine Kontrolle der Einstellung der mit vielgliedrigen Thermosäulen arbeitenden Meßvorrichtung für die Temperaturdifferenzen. Das Instrument besitzt zwei Thermosäulen, mit denen einzeln die Teilbilanzen der nach oben oder nach unten freien Meßflächen gemessen werden können oder in einer Differenzschaltung die Strahlungsbilanz des Bodens unter dem Meßinstrument.

**15.** H. Wierzejewski (Observatorium Davos). – *Erweiterung des Frigorimetermeßbereiches zur Miterfassung der Aufwärmungsgröße.*

Die Messung des Wärmeaustausches zwischen der Frigorimeterkugel mit der Temperatur 36,5° C und ihrer Umgebung ist mit dem gewöhnlichen Frigorimeter nur möglich, wenn Abkühlungsverhältnisse herrschen, d. h. wenn die Frigorimeterkugel durch die thermischen Umgebungseinflüsse einen Wärme*verlust* erleidet. Wenn dagegen infolge hoher Lufttemperatur oder starker Einstrahlung die Gesamtwärmebilanz eine Wärme*zufuhr* zur Kugel ergibt, d. h. wenn «Aufwärmungsverhältnisse» herrschen, versagt das Frigorimeter. Man kann aber diese Wärmezufuhr (pro Zeiteinheit und pro Oberflächeneinheit) zur Frigori-

meterkugel mit der konstanten Temperatur 36,5°, die man sinngemäß als «Aufwärmungsgröße» bezeichnen müßte, auf einem Umweg bestimmen. Da nämlich die Wärmeaustauschgröße A[1]

$$A = h_K (\vartheta - \vartheta_L) + \alpha_l \sigma (T^4 - T_u^4) - \alpha_k J = f(\vartheta)$$

einer Frigorimeterkugel eine eindeutige, monoton wachsende Funktion $f(\vartheta)$ der Kugeltemperatur ist, kann bei nicht zu großen Temperaturdifferenzen $\vartheta_1 - \vartheta_0$ und $\vartheta_2 - \vartheta_0$ aus den Werten $A_1 = f(\vartheta_1)$ und $A_2 = f(\vartheta_2)$ der Wert $A_0 = f(\vartheta_0)$ für die Frigorimeterkugel mit der Temperatur $\vartheta_0 = 36{,}5°$ durch lineare Extrapolation gefunden werden. $\vartheta_1$ und $\vartheta_2$ wählt man hierbei so groß, daß $A_1$ und $A_2$ positiv sind, d. h. Abkühlungen darstellen, so daß diese Werte mit 2 gewöhnlichen Frigorimetern mit den Kugeltemperaturen $\vartheta_1$ und $\vartheta_2$ gemessen werden können. Am einfachsten wird die Extrapolationsformel für $\vartheta_2 - \vartheta_1 = \vartheta_1 - \vartheta_0$, dann gilt nämlich $A_0 = 2A_1 - A_2$. Ergibt sich hierbei die Größe $A_0$ negativ, so ist sie identisch mit der oben definierten Aufwärmungsgröße, ergibt sich dagegen die Größe $A_0$ positiv, so ist sie identisch mit der Abkühlungsgröße, die auch mit einer einzigen Frigorimeterkugel der Temperatur 36,5° gemessen werden könnte. Eine vorläufige Fehlerabschätzung läßt erwarten, daß die vorgeschlagene Meßmethode gestatten wird, Aufwärmungsgrößen mit ausreichender Genauigkeit zu ermitteln. Eine experimentelle Untersuchung darüber ist beabsichtigt.

**16.** Walter Mörikofer (Observatorium Davos). – *Übersicht über die Arbeiten des Davoser Observatoriums auf den Gebieten der Strahlungsforschung und der medizinischen Klimatologie.*

Einleitendes Referat zur Führung der GMA durch das strahlungsklimatische Observatorium Davos.

**17.** H. G. Cannegieter (De Bilt, Holland). – *Der jährliche Gang des Wetters in West- und Zentraleuropa nach Tagesmitteln.*

In zwei früheren Vorträgen[2] wurden die Abweichungen von Dekaden und Tagesmitteln einiger meteorologischer Elemente von dem kontinuierlichen Verlauf nach Monatsmitteln besprochen. Eine Arbeit von Rethly über das Klima von Budapest[3], nach Beobachtungen einer 75jährigen Reihe (1871–1946), enthält Tabellen mit Tagesmitteln des Luftdruckes, der Temperatur und des Niederschlags. Diese Tabellen gestatten den jährlichen Gang dieser Elemente in derselben Weise zu behandeln wie für die Station De Bilt. Der Vergleich der erhaltenen Kurven führt zu dem überraschenden Resultat, daß die Abweichungen für die beiden Stationen vom kontinuierlichen Verlauf nach Monatsmitteln das ganze Jahr hindurch im gleichen Sinne verlaufen und daß die Einzelheiten zu

---

[1] Vgl. H. Wierzejewski: Theoretisches und Konstruktives zur Messung der Abkühlungsgröße. Arch. Met. Geoph. Biokl., Serie B, Bd. 2, Heft 1/2, 65 (1950).

[2] Verh. d. S. N. G. 1947, S. 68, und 1949, S. 117.

[3] Rethly Antal, Budapest 1947. Budapest eghaslata (The clima of Budapest).

praktisch denselben Daten oder Pentaden eintreten. Diese Untersuchungen des jährlichen Wetterverlaufs sollten an mehreren Stationen Europas unternommen werden.

Der Vergleich der beiden Stationen weist darauf hin, daß in unserem Weltteil in der Großwetterlage Schwankungen vorkommen, welche in allen Jahreszeiten an gleichen Daten den Gang des Wetters in einer ganz bestimmten Weise beeinflussen, wobei Abweichungen von den kontinuierlichen Mittelwerten im positiven wie auch im negativen Sinne vorkommen.

**18.** Robert Haefeli (Zürich). – *Beobachtungen im Eisstollen.*

In der Zeit vom Herbst 1948 bis Frühsommer 1949 wurden im Zusammenhang mit den Vorarbeiten für das Kraftwerk Grande-Dixence von der S. A. l'Energie de l'Ouest-Suisse (EOS) zwei Eisstollen im Mont-Collon-Gletscher vorgetrieben und in ihrem Auftrage glaziologische Untersuchungen durchgeführt. Die diesbezüglichen Messungen wurden dem Beauftragten der EOS, Herrn Grosjean, übertragen. .

Der *obere Eisstollen* wurde am Fuße des Eissturzes auf zirka 2400 m mit einer ursprünglichen Neigung nach außen von 5 % angelegt. Nach einem Vortrieb von zirka 202 m wurde der Fels angetroffen, der sich hier in einer zirka 60 m hohen, annähernd vertikalen Steilstufe über den Stollen erhob. An der Oberkante der Steilstufe hatte sich der Eisstrom ähnlich einem belüfteten Wasserstrahl vom Fels losgelöst, wobei zwischen Eis und Fels eine Hohlkehle von zirka 2–4 m Lichtweite entstand. Dagegen wurde in den anschließend ausgeführten Querstollen in der Regel nur ein schmaler Spalt zwischen Fels und Eis angetroffen. Die Schichtung des Eises verlief hier genau parallel der glatten Felsoberfläche. In Felsnähe waren einzelne Schichten stark von Sand durchsetzt.

Im Hauptstollen ließ die von den geologischen Experten aufgenommene Eisschichtung eine ausgesprochene Synklinale mit Axe in zirka 150 m ab Stollenausgang erkennen, was wohl darauf zurückgeführt werden darf, daß in dieser Zone die Vertikalkomponente der Geschwindigkeit ein Maximum erreichte. Die Gleitgeschwindigkeit auf dem Felsuntergrund hatte die Größenordnung von 3 cm/Tag, die Geschwindigkeit beim Stolleneingang (Gletscheroberfläche) zirka 15 cm/Tag. Das längs der Stollenaxe aufgenommene Geschwindigkeitsprofil der Gletscherbewegung, bei dem die horizontalen Komponenten wesentlich genauer festgestellt werden konnten als die vertikalen, zeigt dementsprechend eine ähnliche Form wie die Eisschichtung. Im Laufe von 2 Monaten erfuhr deshalb der Stollen eine erhebliche Durchbiegung, welche zu Schwierigkeiten in der Entwässerung führte.

Überraschend war die außerordentlich starke Dehnung des Eises in Stollenrichtung bei der hintersten, ursprünglich 20 m langen Meßstrecke, die sich in 40 Tagen um zirka 20 %, bzw. rund 4 m dehnte, ohne die geringste Rißbildung zu erfahren. Diese stetige Verlängerung von im Mittel 0,5 % pro Tag kann im wesentlichen als plastische Querdehnung

infolge der starken vertikalen Belastung durch den darüberliegenden Steilhang angesprochen werden.

Um die relativ rasche plastische Verformung im Stollenquerschnitt genauer zu studieren, wurde bei hm 1,25 ein 5 m langer Kreiszylinder von 220 cm Durchmesser ausgebrochen und dessen fortschreitende Verengung im Laufe eines Monats gemessen. Die Tatsache, daß das verformte Stollenprofil nur wenig von der Kreisform abwich, deutet darauf hin, daß in der Ebene quer zur Stollenaxe ein annähernd hydrostatischer Spannungszustand vorherrscht. Die Kontraktionsgeschwindigkeit des Stollendurchmessers betrug rund 0,82 % pro Tag. Dieser relativ hohe Wert läßt darauf schließen, daß hier eine Druckzone vorliegt, in welcher der Stollen wesentlich größeren Drücken als der vertikale Überlagerungsdruck ausgesetzt ist.

Bei einfacheren Randbedingungen, wie sie z. B. im Stollen des Zmuttgletschers vorlagen, bietet die Messung der Kontraktionsgeschwindigkeit von Kreisstollen die Möglichkeit, die mittlere Zähigkeit des Eises zu berechnen. Dabei zeigt sich, daß die Kontraktionsgeschwindigkeit eines vertikalen Kreisschachtes proportional mit dem Radius abnimmt, so daß ein vollständiges Schließen der Öffnung theoretisch unendlich lange Zeit erfordern würde. Das Schließen von Stollen und Schächten erfolgt aber nicht allein durch plastische Kontraktion, sondern durch die Auspressung der in den Korngrenzen enthaltenen flüssigen Phase in der Richtung des Hohlraumes und deren Regelation infolge Druckabfalls. Dieses Ausfüllen des Hohlraumes mit porenfreiem Eis kann in der letzten Phase des Schließprozesses eine maßgebende Rolle spielen und zur Folge haben, daß eine Blauader entsteht. Eine entsprechende Bildung eines Blaubandes beim Schließen einer künstlich erzeugten Kerbe konnte später in einem Stollen des Zmuttgletschers beobachtet werden.

**19.** Robert Haefeli (Zürich). – *Morphologische Beobachtungen an einer Gletscherzunge.*

In Ergänzung des oben beschriebenen Stollens wurde der untere Eisstollen im Frühjahr 1949, ausgehend vom Tor des Bas-Glacier d'Arolla – wie die Bezeichnung der Zunge des Mt.-Collon-Gletschers in der neuen Karte lautet –, auf 2120 m längs des Gletscherbaches zirka 340 m weit vorgetrieben. Die Neigung der in der Moräne eingeschnittenen Bachsohle, unter der A. Süßtrunk auf Grund seiner seismischen Aufnahmen noch eine mächtige Schicht von Toteis vermutet, zeigte vom Gletschertor gegen das Stollenende ein stetiges Abklingen von zirka 10–6 %.

Auffallenderweise war die untere Begrenzung des Eises über dem Gletscherbach nicht gewölbeartig ausgebildet, sondern horizontal. Das Eis fließt hier im wesentlichen vertikal nach unten, ohne Gleiten auf der Unterlage. Dabei taucht der Gletscher unter den Wasserspiegel und wird bei höheren Wasserständen in horizontalen Schichten abgeschmolzen. Steigt die Wassermenge nach einer längeren Niederwasserperiode

plötzlich an, so kann es vorkommen, daß das Gerinne als Druckstollen arbeitet, wobei die Schleppkraft um ein Vielfaches erhöht wird. Gleichzeitig werden die Widerlager der Eisbrücke abgeschmolzen, was zu Einbrüchen führen kann.

Auf Grund des Verlaufes der Spannungstrajektorien und der starken Konzentration der Kräfte in den Widerlagern des unsichtbaren Gewölbes wird der Verformungsprozeß des Gletschers über dem Gletscherbach einigermaßen durchsichtig. Die lokal starke Vertikalbewegung kann sich bis an die Gletscheroberfläche auswirken und zur Folge haben, daß über dem subglazialen Bach ein oberflächlicher Talweg mit einer entsprechenden Rinne entsteht. In diesem Falle gibt die Projektion des oberflächlichen Gerinnes wertvolle Anhaltspunkte über den Verlauf des subglazialen Wasserlaufes, so daß ein enger Zusammenhang zwischen der Morphologie von Ober- und Unterfläche des Gletschers besteht. Dies gilt insbesondere dann, wenn der Lauf des subglazialen Gletscherbaches genügend stabil ist.

Beim Mt.-Collon-Gletscher ist obige Bedingung weitgehend erfüllt, obschon der Gletscherbach in einem wahrscheinlich von Eis unterlagerten Moränehorizont eingeschnitten ist. Daher die ausgesprochene Talbildung an der Gletscheroberfläche, die auch in der talwärts spitzeren Form der Ogiven zum Ausdruck kommt.

Eine durch ähnliche Ursachen hervorgerufene örtliche Vertikalbewegung des Gletschereises dürfte auch bei der Bildung von gewissen muldenförmigen Vertiefungen der Gletscheroberfläche in der Umgebung von Strudellöchern mitspielen, so z. B. bei den «Entonnoirs» auf dem Gornergletscher. Beim Zmuttgletscher konnte der skizzierte Verformungsprozeß ferner an der lokalen Krümmung der Eisschichtung beim Gletschertor festgestellt werden.

**20.** August Süsstrunk (Zürich). – *Seismische Gletscheruntersuchungen 1948–1950.*

In Weiterentwicklung der durch deutsche Geophysiker (im besondern durch H. Mothes) erstmals angewendeten Meßtechnik hat Professor A. Kreis, Chur, durch seine Arbeiten im Rahmen der Schweizerischen Gletscherkommission die Grundlagen geschaffen für die zuverlässige Anwendbarkeit der seismischen Sondiermethode (Reflexionsverfahren) zur Eisdickenmessung und zur Ermittlung der Topographie der Trennfläche Eis-Fels unter Gletschern.

Ein großes Anwendungsgebiet für diese Gletscherseismik eröffnete sich 1948 im Zusammenhang mit den Studien zum Kraftwerkprojekt «Grande-Dixence» im Wallis. Es stellte sich die Aufgabe, den Verlauf der subglazialen Felsoberfläche unter verschiedenen Gletschern rasch und möglichst genau zu ermitteln (für die Projektierung subglazialer Wasserfassungen, Wahl von Stollentrasses usw.). Es wurden folgende Gletscher untersucht: Gornergletscher mit Bodengletscher, inkl. alle Seitengletscher des Gornergletschers bis zirka 2800 m ü. M, Zmutt-

gletscher, Glacier du Mt. Collon (Bas-Glacier d'Arolla), Glacier de Tsidjiore Nouve. Insgesamt wurden damit nahezu 12 km² Gletscheruntergrund seismisch abgetastet; die ermittelten Eismächtigkeiten (in Gletscherachse) liegen zwischen 80 und 500 m. Diese ausgedehnten Untersuchungen wurden von der Firma Dr. H. Knecht und A. Süßtrunk, Zürich, ausgeführt, im Auftrage der S. A. L'Energie de l'Ouest-Suisse, Lausanne. Ab 1949 wurde mit einer modernen, mit elektrischen Seismometern und Verstärkern ausgerüsteten Apparatur gearbeitet, welche sich sehr gut bewährt und welche ein wesentlich rascheres und genaueres Arbeiten gestattet als die früher verwendete Ausrüstung der Schweizerischen Gletscherkommission. Für die Auswertung (dreidimensional, nach Dreipunktprinzip) konnte ein praktisches und schnell arbeitendes graphisches Verfahren ausgearbeitet werden, wodurch die Verarbeitung des bei diesen Untersuchungen anfallenden gewaltigen Seismogrammmaterials erst eigentlich ermöglicht wurde.

Auf dem Gornergletscher wurden unsere Messungen erstmals durch thermische Bohrungen (System Calciati-EOS) nachkontrolliert, wobei sich eine Übereinstimmung innerhalb $\pm$ 2–5 % der angegebenen Tiefen ergab. Beim Glacier du Mt. Collon und beim Zmuttgletscher traten u. a. sehr interessante seismologische und glazialogische Probleme auf (Innenmoränen, Eisschichten mit erhöhter Geschwindigkeit für Longitudinalwellen, Wechselwellen), welche die Auswertung der Daten teilweise sehr komplizierten und erschwerten. Eine ausführliche Diskussion der Resultate wird in einer späteren Veröffentlichung erfolgen.

1949 und 1950 führten wir ferner (im Auftrag der Electricité de France) Sonderungen aus auf der Mer-de-Glace im Mont-Blanc-Gebiet. Diesen Untersuchungen war die Aufgabe gestellt, den Verlauf eines tiefeingeschnittenen Grabens unter der Gletscherzunge festzustellen, dessen Sohle im Zusammenhang mit dem Projekt einer subglazialen Wasserfassung im weiteren durch Bohrungen noch genauer abgetastet werden soll. Schließlich wurde 1950 in Zusammenarbeit zwischen der Gletscherkommission und der Firma Dr. H. Knecht und A. Süßtrunk eine die langjährige Sondierarbeit auf dem Unteraargletscher abschließende Untersuchung auf dem Strahlegg-, Finsteraar- und Unteraargletscher ausgeführt. Es zeigte sich, daß dieser Gletscher sich für seismische Sondierungen besonders gut eignet, indem die Qualität der Seismogramme vom Unteraargletscher (inkl. Seitengletschern) im Vergleich zu den auf andern Gletschern gewonnenen außerordentlich gut ist (die Schweizerische Gletscherkommission hatte also viel Glück in der Wahl dieses Gletschers als Experimentierfeld für das seismische Sondierverfahren). So war es bei dieser Sondierung wiederholt möglich, aus einem Seismogramm verschiedene deutlich voneinander getrennte und von verschiedenen Talflanken stammende Reflexionseinsätze zu gewinnen und auszuwerten.

## 4. Sektion für Chemie

Sitzung der Schweizerischen Chemischen Gesellschaft

**Sonntag, den 27. August 1950**

*Präsident:* Prof. Dr. L. CHARDONNENS (Fribourg)
Sekretär: Dr. E. KURTH (Fribourg)

**1.** WILHELM BUSER (Bern). – *Ein Schnellverfahren zur Trennung von Alkaliionen.*

Die Trennung von Alkaliionen kann mit Hilfe von Ionenaustauschern durch stufenweises Auswaschen mit Säuren durchgeführt werden (E. W. Cohn und H. N. Kohn, J. Am. Chem. Soc. 70, 1986, 1948; G. Kayas, Compt. rend. 228, 1002, 1949). Dieses sehr zeitraubende Verfahren kann stark abgekürzt werden durch Komplexbindung einzelner Bestandteile des zu trennenden Gemisches. Nach G. Schwarzenbach (Helv. 19, 364, 1948) bildet die Uramildiessigsäure mit Lithium und Natrium stabile Komplexe. Kalium wird dagegen nicht komplex gebunden.

Zur Trennung von Li, Na und K wird der Ionenaustauscher mit Dimethylamin auf ein *p*H von 8 gebracht. Darauf wird das Gemisch der Alkalisalze auf der Austauschersäule adsorbiert. Beim Auswaschen mit einer ca. 0,05-m-Lösung des Dimethylammoniumsalzes der Uramildiessigsäure vom *p*H 8 kann das Li allein von der Säule heruntergeholt werden, da es in diesem *p*H-Bereich schon stark komplex gebunden vorliegt. Bei weiterem Auswaschen mit stärker alkalischer Lösung vom $pH > 10$ wird auch das Na komplex gebunden und läßt sich eluieren, während das K auf der Säule bleibt. Die Durchflußgeschwindigkeit beträgt bei einem Säulendurchmesser von 10–12 mm zirka 3 ccm in der Minute. Eine Trennung zweier Ionen läßt sich bei Mengen in der Größenordnung von 0,1 maeq in 10 bis 20 Minuten ausführen. Damit die Trennung sauber ausfällt, müssen die groben und die feinen Anteile des Ionenaustauschers ausgesiebt werden. Sehr gut geeignet ist ein Austauscher mit schwach sauren Gruppen, wie z. B. Amberlit IRC 50. Der auf der Säule zurückbleibende Anteil läßt sich in diesem Fall mit sehr wenig Säure eluieren. Zur Isolierung der ausgewaschenen, komplex gebundenen Ionen wird durch einen Anionenaustauscher filtriert. Das beigemischte Dimethylammoniumsalz läßt sich nach dem Eindampfen

leicht verflüchtigen. Die Uramildiessigsäure wird ohne Verluste zurückgewonnen.

Die Anwendung dieses Verfahrens wird sich besonders dort lohnen, wo wiederholt solche Trennungen auszuführen sind und wo ein rasches Vorgehen erwünscht ist, wie z. B. bei der Abtrennung von $^{24}Na^*$ oder $^{42}K^*$. In gleicher Weise lassen sich auch Rb und Cs vom Na und Li trennen.

**2.** Walter Feitknecht und Hans W. Buser (Bern). – *Über den Bau der plättchenförmigen Calciumaluminathydrate.*

Die plättchenförmigen hexagonalen oder pseudohexagonalen Calciumaluminathydrate und die morphologisch gleich ausgebildeten Calciumaluminiumhydroxysalze gehören zu einer Gruppe strukturverwandter Verbindungen. Tilley und Megaw haben von einem natürlich vorkommenden Calciumaluminathydrat, dem Hydrocalumit, eine Strukturbestimmung durchgeführt. Auf Grund chemischer, morphologischer und röntgenographischer Untersuchungen einer großen Zahl von Hydroxysalzen und Präparaten von Calciumaluminathydraten und unter Berücksichtigung des Strukturvorschlags von Tilley und Megaw ergibt sich das folgende Bauprinzip für diese Kristallverbindungen: Schichten von Calciumhydroxyd, in denen jedes dritte Calciumion fehlt, sind unterteilt von Zwischenschichten, die die Aluminiumionen, die weitern Hydroxyl- oder andere Anionen und die Wassermolekeln enthalten. Die Konstitutionsformel kann geschrieben werden $Ca_2(OH)_6AlX(H_2O)_m$; X kann irgendein ein-, $\frac{1}{2}$ eines zwei- oder $\frac{1}{3}$ eines dreiwertigen Anions sein.

Bei den sogenannten Tetracalciumaluminathydraten (in der früher üblichen Schreibweise $4CaO, Al_2O_3, nH_2O$) ist X das Hydroxylion, $m$ kann verschiedene Werte annehmen, mit abnehmendem Wassergehalt nimmt der Schichtenabstand diskontinuierlich ab. Diese Verbindungen sind als Dicalciumaluminiumhydroxyde zu bezeichnen und wie folgt zu formulieren: $Ca_2(OH)_6AlOH(H_2O)_2$.

Das sogenannte Dicalciumaluminathydrat ($2CaO, Al_2O_3, nH_2O$) erweist sich als ein Hydroxydoppelsalz, bei dem $X = Al(OH)_4$ ist; der Schichtenabstand entspricht ungefähr demjenigen der Hydroxydoppelsalze mit Anionen $XO_4'$. Die Verbindung ist demnach als Dicalciumaluminiumhydroxyaluminat zu bezeichnen und wie folgt zu formulieren: $Ca_2(OH)_6AlAl(OH)_4(H_2O)_m$.

Dieser Strukturvorschlag findet eine Stütze in der umkehrbaren und streng topochemisch verlaufenden Umwandlung des Aluminates in das Hydroxyd nach folgender Gleichung:

$$Ca_2(OH)_6Al\,[Al(OH)_4](H_2O)_m + OH' \leftrightarrows Ca_2(OH)_6AlOH(H_2O)_m + [Al(OH)_4]'.$$

Zu der hier diskutierten Verbindungsklasse gehören auch die sogenannten Calciumferrithydrate und die Calciumeisenhydroxysalze.

**3.** KARL WIELAND und M. HEISE (Zürich). – *AlCl-Radikale im homogenen und heterogenen Gleichgewicht.*

Nach einer früheren qualitativen Untersuchung über das Auftreten von AlBr-Radikalen[1] haben wir nun das Auftreten von AlCl-Radikalen zufolge der beiden Gleichgewichte:

$$\text{I. (homogen) } (AlCl_3)_g \rightleftarrows (AlCl)_g + (Cl_2)_g$$
$$\text{II. (heterogen) } (AlCl_3)_g + [Al]\ \text{cond} \rightleftarrows 3\ (AlCl)_g$$

quantitativ untersucht[2]. Der Nachweis der AlCl-Radikale erfolgte auf Grund der Absorptionsbanden (0,0-Bande bei 2624 Å), deren Intensitätszunahme einerseits mit steigender Temperatur und andererseits mit steigendem Druck des $AlCl_3$ photometrisch gemessen wurde.

Die beiden Gleichgewichte lassen sich thermodynamisch-statistisch hinreichend genau berechnen[3]. Man erhält so:

I. (homogen): bei 700° K: $K_p = 3 \cdot 10^{-33}$, $p_{AlCl} = 4 \cdot 10^{-14}$ mm
bei 1500° K: $K_p = 2 \cdot 10^{-12}$; $p_{AlCl} = 1 \cdot 10^{-3}$ mm

II. (heterogen): bei 700° K: $K_p = 4 \cdot 10^{-17}$; $p_{AlCl} = 3 \cdot 10^{-3}$ mm
bei 1500° K: $K_p = 4 \cdot 10^{-1}$; $p_{AlCl} = 560$ mm
(alles bezogen auf $p_{AlCl_3} = 760$ mm)

Bei gleicher Temperatur ist also der Partialdruck des AlCl in der heterogenen Reaktion $10^6$–$10^{11}$ mal größer (je nach Temperatur) als in der homogenen Reaktion.

Unter Benutzung der so berechneten Partialdrucke bzw. Konzentrationen (c) des AlCl läßt sich aus unseren gemessenen Extinktionswerten (E) gemäß $\varepsilon = \log \frac{I_o}{I} / c \cdot d = E/c \cdot d$ der Extinktionskoeffizient $\varepsilon$ berechnen. Wir erhalten für die 2,2-Bande:

für die homogene Reaktion: $\varepsilon_I = 9{,}8 \cdot 10^6$
für die heterogene Reaktion: $\varepsilon_{II} = 1{,}1 \cdot 10^6$

Die Diskrepanz des Extinktionskoeffizienten um den Faktor 10 kann entweder darauf zurückgeführt werden, daß die berechneten AlCl-Drucke nicht richtig sind, daß also das berechnete Verhältnis der AlCl-Drucke um den Faktor 10 zu groß sein müßte, oder aber – was wir für wahrscheinlicher halten – daß wir in der heterogenen Reaktion, zufolge einer Sekundärreaktion an der Quarzwand, zu kleine Extinktionswerte gemessen haben. Eine sehr ähnliche Diskrepanz zwischen Rechnung und Experiment finden übrigens auch Foster und Mitarbeiter[2].

---

[1] K. Wieland und M. Heise, Chimia 3, 151 (1949).

[2] L. M. Foster, A. S. Russell und C. N. Cochran, J. Am. Chem. Soc. 72, 2580 (1950).

[3] Siehe P. Cross, C. S. Campbell, P. J. C. Kent und D. L. Levi, Discuss. Farad. Soc. 4, 206 (1948) deren Daten wir im wesentlichen benützt haben.

**4.** Charles Haenny – Jean-Pierre Gehret – Charles Tschappat (Lausanne). – *Potentiels critiques de dépôt du zinc aux grandes dilutions.*

Ce travail fait suite à celui entrepris par Ch. Hænny et P. Mivelaz (Helv. *31*, 633, 1948). Les solutions étudiées sont à *p*H 5,0. Jusqu'à des normalités en ions zinc de $10^{-4}$, le potentiel critique de dépôt ne présente pas d'anomalies apparentes avec diverses électrodes. Pour des dilutions plus grandes, en solutions $10^{-6}$, $10^{-8}$ et $10^{-10}$ normales, le potentiel critique de dépôt du zinc correspond à celui prévu par l'équation de Nernst pour des électrodes de plomb (forte surtension pour l'hydrogène). Pour des électrodes de cuivre, il est constant à $\pm$ 0,02 V près et dans le cas des électrodes de platine la variation du potentiel critique de dépôt est de sens inverse à celui prévu théoriquement. Des phénomènes associés sont décrits, les interprétations possibles suggérées. Les mesures ont été faites en utilisant le radio-zinc de 250 jours (Cyclotron, Zurich) comme indicateur, en traçant les courbes de seconde espèce (v. Hevesy et Paneth).

**5.** H. M. Wuest (New York) und N. Ercoli (Milano). – *Activity and biological behaviour of synthetic Vitamin A.* – Kein Manuskript eingegangen.

**6.** Kurt Leu (London). – *Zum Mechanismus der Oxydation von Kupfer.* (Eine Untersuchung an Einkristallen). – Kein Manuskript eingegangen.

Es haben noch gesprochen: Werner Deuschel, Fribourg; Oscar Klement, Fribourg; Pl. A. Plattner, Zürich.

## 5. Sektion für Geologie

Sitzung der Schweizerischen Geologischen Gesellschaft

**Sonntag und Montag, den 27. und 28. August 1950**

*Präsident:* Prof. Dr. L. VONDERSCHMITT (Basel)

**1.** JOOS CADISCH (Bern). – *Das Prättigauer Halbfenster und das Unterengadiner Fenster, ein Vergleich.**

**2.** RUDOLF STAUB (Zürich). – *Tektonische Beziehungen zwischen Alpen und Apennin.**

**3.** LÉON MORNOD (Bulle). – *Découverte du Cénomanien à Rotalipora apenninica aux Pléiades* (Préalpes externes vaudoises).

Le Cénomanien que nous avons reconnu (Eclog. geol. Helv. vol. 42 1949) dans la série crétacique du Montsalvens (Fribourg) se retrouve aux Pléiades, dans la chaîne bordière vaudoise.

Il se présente sous un même faciès et renferme, entre autres Foraminifères, des espèces de Globorotalidés caractéristiques: *Rotalipora apenninica* (Renz 1936), *Rot. reicheli* Mornod 1949, *Globotruncana stephani* Gandolfi 1942.

Malgré l'intensité des accidents tectoniques, la série stratigraphique à Champ Luet (coord. géogr. 559,44 × 146,57), en allant de la grand'route sur un petit sentier, s'établit ainsi: schistes arénacés et grès glauconieux (probablement aptiens), schistes et calcaires très semblables au Barrémien, un peu arénacés, tachetés, puis schistes et rares bancs calcaires, noirâtres ou gris foncé, micacés, tachetés, épais de 30 m. environ, représentant l'Albien. Le Cénomanien y fait suite normale et comprend une alternance de schistes et de calcaires marneux tachetés, gris ou verdâtres, visibles sur quelques mètres, surmontés tectoniquement par des couches aptiennes-albiennes.

Aux Pléiades, le Cénomanien clôt ainsi la série stratigraphique des grandes écailles jurassiques et crétaciques qui représentent si bien, sur le bord préalpin, la Nappe de la Tour d'Anzeinde.

Bien que formant de gros complexes, le Turonien-Maestrichtien se confine à la base de la chaîne, enserré dans la masse du Flysch ou Wildflysch d'âge priabonien (Nappe de la Plaine Morte).

L'hypothèse d'une émersion probable au Cénomanien du géosynclinal helvétique dans sa partie la plus profonde et la plus centrale que nous connaissions, émise par E. Gagnebin (Mém. Soc. vaud. Sc. nat. nº 1, 1924), doit être abandonnée. Nous pensons que cet étage existe aussi dans les Préalpes internes, compris dans l'ensemble Aptien-Albien.

**4.** Léon Mornod (Bulle). – *Une surface de transgression du Pliensbachien sur le Trias dans la zone frontale des Préalpes médianes.*

E. Gagnebin avait signalé, en 1918 (Proc. verb. Soc. vaud. Sc. nat., vol. 52), des lacunes assez étendues dans la série liasique des Préalpes médianes, entre Montreux et le Moléson.

Des publications récentes sur le domaine préalpin fribourgeois ont mis en doute l'existence du phénomène car elles ont pu montrer qu'ailleurs celui-ci procédait de simples écrasements ou réductions tectoniques.

Il existe incontestablement des lacunes sur le territoire levé par E. Gagnebin (Carte géol. Préalpes Montreux-Moléson, 1922) et je n'en donnerai pour preuve, aujourd'hui, que la description d'une surface de transgression.

La Veveyse de Feygire entaille profondément un premier pli anticlinal déversé, au S.-E. du lac des Joncs, entre 1100 et 1150 m. Sur rive gauche, les calcaires siliceux du Pliensbachien surmontent immédiatement les calcaires dolomitiques du Trias. L'observation directe du contact stratigraphique exclut toute réduction d'origine tectonique.

En effet, la surface du dernier banc dolomitique apparaît irrégulière et présente des corrosions profondes de quelques centimètres comblées par un sédiment grossier, spathique, noirâtre, à petits galets dolomitiques et restes organiques. Puis, viennent des calcaires noirâtres, spathiques, où pullulent les Belemnites (une vraie brèche à Belemnites), chargés de petits amas et concrétions phosphatés. Il s'y intercale des argiles noires. Toutes ces couches de base ont une épaisseur de 10 à 20 cm. et passent rapidement mais graduellement au gros ensemble des calcaires siliceux dont l'extrême base contient encore des Belemnites.

En admettant que la brèche à Belemnites, si caractéristique dans la zone frontale des Médianes, se situe à la base des calcaires siliceux du Pliensbachien, la lacune embrasse ici toutes les séries de l'Infralias et du Lias inférieur.

**5.** Toni Hagen (Rapperswil). – *Über den geologischen Bau des Mont-Pleureur* (Val de Bagnes, Wallis.)*

* Ausführliches Referat in der Eclogae Geologicae Helv., Bd. 43, Nr. 2, 1950.

Es haben noch gesprochen: Charles Chenevart, Lausanne; Franz Allemann und Rudolf Blaser, Bern.

## 6. Sektion für Mineralogie und Petrographie

Sitzung der Schweizerischen Gesellschaft für Mineralogie und Petrographie

**Samstag und Sonntag, den 26. und 27. September 1950**

*Präsident:* Dr. R. Galopin (Genève)
*Sekretär:* Dr. M. Vuagnat (Genève)

**1.** Werner Nowacki (Bern). – *Beziehungen zwischen der Symmetrie des Kristall-, Fourier- und Patterson-Raumes.* – Siehe Schweiz. Mineralogische Mitteilungen 30 (1950) 147–160.

**2.** Ernst Niggli (Leiden). – *Zur Entstehung der Aplit- und Pegmatitgänge im Belledonne-Massiv.**

**3.** G. Deicha (Paris). – *Contribution à l'étude de quelques veines de quartz dans les Grisons.**

**4.** Paul Michot (Liège). – *La géologie de la catazone.**

**5.** R. Weil (Strasbourg). – *Méthode simple de détection de traces de matières organiques dans les espèces minérales et les roches.**

**6.** G. Deicha (Paris). – *Resultate einer neuen Forschungsmethode der flüssigen Einschlüsse.**

**7.** Armin von Moos (Zürich). – *Konsistenzgrenzen schweizerischer bindiger Lockergesteine.**

**8.** Conrad Burri (Zürich). – *Berechnung der Auslöschungsschiefe und Lichtbrechung für beliebige Schnitte zweiachsiger Kristalle.**

**9.** W. Uytenbogaardt (Stockholm). – *A method to simplify the microscopic identification of ore minerals.**

* Siehe Schweiz. Mineralog. und Petrograph. Mitteilungen, Bd. XXX, Heft II.

Es hat noch gesprochen: Robert L. Parker, Zürich.

## 7. Sektion für Paläontologie

Sitzung der Schweizerischen Paläontologischen Gesellschaft

**Sonntag, den 27. August 1950**

*Präsident:* Prof. Dr. M. REICHEL (Basel)
*Sekretär:* Dr. J. HÜRZELER (Basel)

**1.** PAUL BRÖNNIMANN (Trinidad).[1] – *Weitere Beobachtungen an Hantkeninen* (Abstract).

The early ontogenetic stages of *Hantkenina (Hantkeninella) primitiva* Cushman and Jarvis and of *Hantkenina (Hantkenina) liebusi* Shokhina from the Upper Eocene Mount Moriah formation of Trinidad, B.W.I., and of *Hantkenina (Hantkenina) alabamensis* Cushman from the Upper Eocene Cocoa Sand, Alabama, U.S.A., are investigated. The features of the young stages of these species appear to be identical. The early spiral consists of a number of subglobular spineless chambers, later followed by the typical Hantkenina-chambers with spines. The length of the spineless spiral varies and finds its maximum development in *H. (Hantkeninella) primitiva* Cushman and Jarvis. The Upper Eocene *Hantkeninae* are therefore taken to represent a closely related group. *Hantkenina liebusi* with occasional sutural spine in the last chamber of the adult has been referred to the subgenus *Hantkenina s. s.*

**2.** PAUL BRÖNNIMANN (Trinidad). – *Tremastegina, ein neues Genus der Familie Asterigerinidae d'Orbigny* (Abstract).

*Tremastegina*, a new genus of the family *Asterigerinidae* d'Orbigny is defined. Generotype is *Tremastegina senni* (Cushman), from the Middle Eocene Upper Scotland formation of Barbados. The new genus differs from *Amphistegina* d'Orbigny essentially by the presence of rows of basal pores through the ventral septa, by the difference in ornamentation and by the occurrence of alternating arcuate chambers on the ventral side.

---

[1] Micropaleontologist, Trinidad leaseholds Ltd., Pointe à Pierre, Trinidad B. W. I.

**3.** Paul Brönnimann (Trinidad). – *Bemerkungen über den Bau von Amphistegina d'Orbigny* (Abstract).

The apertures of representatives of the genus *Amphistegina* d'Orbigny from the Lower Miocene and Upper Oligocene of Trinidad, B.W.I., are described. The dorsal or spiral chambers communicate with primary apertures in the frontal portions of the dorsal septa. The ventral or stellar chambers are connected with the dorsal chambers through secondary apertures in the lateral portions of the walls of the dorsal chambers. No direct connection exists between the ventral chambers. This system of apertures is probably identical with that in the genus *Asterigerina* d'Orbigny. Reference has also been made to Asterigerina byramensis Cushman and Todd from the Oligocene Cipero Silt, Cipero Coast, Trinidad, B.W.I.

The detailed publications will follow in the «Eclogae geologicae Helvetiae», vol. 43, No. 2.

**4.** Jean Viret (Lyon). – *Meles Thorali n. sp. du loess villafranchien de St-Vallier (Drôme).* – Pas reçu de manuscrit.

**5.** Frédéric-Edouard Koby (Bâle). – *Les variations de longueur des grands os d'ursus spelaeus.*

Plusieurs auteurs ont déjà donné des dimensions des os longs de l'ours des cavernes. Les anciens, Cuvier, Schmerling, etc. se sont surtout intéressés aux longueurs maxima. Plus récemment Ehrenberg a fait des comparaisons plus étendues. En étudiant notre matériel et celui de nos collaborateurs, nous avons constaté que la variation spécifique d'*u. spelaeus* est encore plus étendue qu'on ne l'admettait jusqu'à présent, d'une part parce qu'il y a des os plus grands encore que ceux qu'on a décrits, de l'autre, parce que les longueurs minima sont encore plus basses que celles qu'on a indiquées. Nous avons mesuré comme minima inédits: cubitus 29,9 cm., radius 26,5 cm., tibia 25,5 cm., péroné 22,5 cm. et comme maxima: humérus 50 cm., cubitus 44,1 cm., radius 37,6 cm., fémur 52 cm., tibia 34,2 cm., péroné 31,2 cm. En moyenne les plus petits os ont 70 % de la longueur des plus grands. Tous les ossements mesurés proviennent des cavernes du Jura.

**6.** Frédéric-Edouard Koby et Ernest Fritz (Bâle). – *Les proportions des métacarpiens et des phalanges de la main d'ursus spelaeus.*

On sait que chez les ours, au contraire de l'homme, le 5e doigt est plus fort que le premier. Cette prédominance du côté cubital est surtout prononcée chez les ours des cavernes. En 1945, en précisant la diagnose de cette espèce, l'un de nous attirait l'attention sur les «métapodes trapus, de longueur rapidement atténuée du 5e au 1er». Cette disposition aurait aussi été constatée par von Sivers dans un travail qui nous est resté inaccessible. La dimension des éléments des pattes est surtout connue par des moyennes.

L'un de nous ayant eu la chance rare de trouver une main complète d'*u. spelaeus*, sauf l'os crochu, il nous a été possible de vérifier que les 4e et 5e métacarpiens sont les plus longs, mesurant tous deux 97 mm., alors que le 1er, le plus court, ne mesure que 71 mm., soit 73 % de la longueur du 5e. Un ours brun de comparaison donne 85 %. Qu'aux premières phalanges la plus longue est la 4e et la plus courte la 1re, alors que chez l'ours brun c'est la 1re la plus longue et la 3e la plus courte. Qu'aux phalangines la 4e est la plus longue et la 5e la plus courte, comme chez l'ours brun. Qu'aux phalangettes la 3e est la plus longue chez les deux espèces. Que chez *u. spelaeus* la plus courte est au premier rayon et chez l'ours brun au cinquième. La longueur totale du pouce dans la première espèce est de 71 % de celle du 5e doigt, alors que dans la seconde espèce elle n'est que de 80 %. Il s'agit là d'un caractère important du diagnostic différentiel.

**7.** Hans Schaub und Jakob Schweighauser (Basel). – *Nummuliten und Discocyclinen aus dem tiefsten Untereocaen des Profils von Gan (Basses-Pyrénées).*

Das Alter der klassischen Eocaenaufschlüsse von Gan, südlich Pau, mit ihrer reichen und schön erhaltenen Nummulitenfauna, war bis vor kurzer Zeit noch umstritten. H. Douvillé hat ihnen teilweise paleocaenes Alter zugeschrieben (1919). P. Arni hat 1939 angenommen, daß alle dem Untereocaen angehören. Nach den Neuuntersuchungen von Y. Gubler und R. Pomeyrol (1946) gehören die Nummulitenvorkommen von Gan zum Yprésien (Berdoulou, Tuilerie, Bos d'Arros) oder zum untersten Lutétien (Gare de Gan). Ein neuentdeckter Aufschluß in der Propriété Encot bei Gan soll die Transgression des Yprésien von Berdoulou über älteres Paleocaen beweisen.

Im Zusammenhang mit einer soeben abgeschlossenen Bearbeitung paleocaener und untereocaener Nummuliten, einer 1950 erfolgten Besichtigung der Aufschlüsse von Gan und der Bearbeitung der dabei gesammelten Faunen gelangen wir zu folgenden Ergebnissen:

1. Die Aufschlüsse von Berdoulou, Tuilerie und Gare de Gan enthalten Nummuliten, Assilinen und Discocyclinen, die oberes Yprésien anzeigen.
2. Die Faunen von Berdoulou und der Tuilerie zeigen faciesbedingte Unterschiede: Bei Berdoulou dominiert N. partschi de la Harpe, während in der Tongrube der Tuilerie, die in einem höheren Niveau des oberen Yprésien liegt, N. burdigalensis de la Harpe die häufigste Nummulitenart darstellt. In anderen gleichaltrigen Aufschlüssen, z. B. in den Schweizer Alpen, kommen N. partschi und N. burdigalensis miteinander vor.
3. Der Aufschluß in der Propriété Encot bei Gan enthält neben zahlreichen Mollusken Discocyclina cf. seunesi, als häufigste Form einen kleinen, flachen Nummuliten der planulatus-Gruppe mit primitiven Merkmalen (N. planulatus bearnensis nov. ssp.), seltener N. cf. burdi-

galensis var. minor de la Harpe sowie zwei Assilinenarten, Ass. aff. nili de la Harpe und Ass. sp., Zwischenform pustulosa-placentula, ferner Alveolina sp. Die Fauna spricht für unterstes Yprésien. In Anbetracht des Erhaltungszustandes ist Aufarbeitung unwahrscheinlich. Diese sandige Einlagerung in die grauen Globigerinenmergel muß lithologisch nicht unbedingt als Transgressionssediment gedeutet werden. Sie kann nicht mehr als Beweis für die Transgression des oberen Yprésien über das Paleocaen gelten.

Eine ausführlichere Darstellung erscheint in Band 44 der «Eclogae geol. Helv.».

**Literatur**

Douvillé, H.: L'éocène inférieur en Aquitaine et dans les Pyrénées. 1919.

Arni, P.: Über die Nummuliten und die Gliederung des Untereocaens. Ecl. geol. Helv., Vol. 32, 1939.

Gubler, Y., und Pomeyrol, R.: Nouvelles observations stratigraphiques dans l'éocène au sud de Pau (Basses-Pyrénées). Bull. soc. géol. France, 1946.

Schaub, H.: Stratigraphie und Paläontologie des Schlierenflysches mit besonderer Berücksichtigung der paleocaenen und untereocaenen Nummuliten und Assilinen. Schweiz. Pal. Abh., Bd. 68, 1951.

**8.** Hans Schaub (Basel). – *Über die Zugehörigkeit der paleocaenen und untereocaenen Nummuliten zu Entwicklungsreihen.*

Die Aufstellung von phylogenetischen Entwicklungsreihen für Nummuliten und Assilinen hatte bis vor kurzem nur spekulativen Charakter, da aus dem Paleocaen, der Zeit des Auftretens der ersten Nummuliten, und aus dem Untereocaen, der Zeit der Entfaltung der Nummuliten, keine zusammenhängenden, ungestörten, durchgehend nummulitenführenden Profile ohne Sedimentationslücken und ohne Faciesveränderungen bekannt waren. Ein Profil, das die genannten Bedingungen erfüllt, liegt im Schlierenflysch vor, der lückenlos von der obersten Kreide bis zum oberen Yprésien überleitet. Die Darstellung der Stratigraphie und der Nummuliten- und Assilinenfaunen erscheint demnächst als Band 68 der Schweizerischen Paläontologischen Abhandlungen (H. Schaub: Stratigraphie und Paläontologie des Schlierenflysches). Auf Grund dieser Darstellung lassen sich innerhalb jeder Nummulitengruppe gewisse Entwicklunsgprinzipien erkennen: Zunahme der Schalengröße und der Megalosphäre, Vergröberung der Spirale und in den meisten Fällen Verlängerung der Kammern, Ausbildung einer für die betreffende Gruppe typischen Granulation. Es werden unterschieden:

1. die Gruppe des N. burdigalensis mit den Reihen N. deserti-subplanulatus-globulus und N. solitarius-pernotus-burdigalensis (Fortsetzung im Lutétien: -gallensis-uroniensis-aturicus);
2. die Gruppe des N. pustulosus mit der Reihe N. subramondi-pustulosus;
3. die Gruppe des N. partschi mit den Reihen N. praecursor-partschi (-lorioli) und N. silvanus-praelucasi-leupoldi;
4. die Gruppe des N. distans mit den Reihen N. spileccensis-subdistans und N. bolcensis-pratti-distans;

5. die Gruppe des N. planulatus mit der Reihe N. fraasi-nitidus-exilis-planulatus-aquitanicus-laevigatus und den von ihr abzweigenden Reihen N. exilis-vonderschmitti und N. planulatus-jacquoti und buxtorfi.
6. Die Assilinen enthalten die besonders schöne Entwicklungsreihe Ass. nili-pustulosa-placentula-douvilléi-reicheli, an welche im Lutétien Ass. spira und Ass. exponens anschließen.

Das vorgelegte Entwicklungsschema, das sich ganz auf die Tabelle der stratigraphischen Verbreitung der Nummuliten des Schlierenflysches aus der oben genannten Publikation stützt, läßt die Annahme berechtigt erscheinen, es habe sich jeweils nicht eine ganze Art in eine neue umgewandelt, sondern nur einzelne Exemplare hätten sich weiter entwickelt, während die ältere Art noch eine Zeitlang weiterbestanden habe.

Eine ausführlichere Darstellung sowie das genannte Entwicklungsschema erscheinen in Bd. 44 der «Eclogae geol. Helv.».

**9.** Eduard Koechlin (Münchenstein). – *Demonstration einiger neuer oder wenig bekannter Fossilien aus dem Basler Jura.*

1. Montivaultia oolitica nov. spec.

Am Abhang des Schleifenberges bei Liestal wurden im unteren Hauptrogenstein zwei Exemplare einer Montivaultia gefunden, welche sich von den aus dieser Formation von Koby beschriebenen großen Montivaultien, Montivaultia moeschii, mülleri und ducreti, durch die Anzahl und Form der Lamellen wesentlich unterscheidet. Aus diesem Grunde wurde für dieselbe eine neue Spezies aufgestellt.

2. Ostrea eduliformis Schlotheim.

Ein besonders gut erhaltenes Exemplar aus den Humphriesischichten des Schleifenberges dieser bei Knorr und Walch, Zieten und Goldfuß abgebildeten, in der Gegend von Liestal nicht seltenen Auster wurde zum erstenmal in photographischer Abbildung wiedergegeben.

3. Astarte maxima Quenstedt.

Der Steinkern dieses bisher in der Literatur des Basler Jura nicht erwähnten Fossils wurde in den Humphriesischichten der Paßwangstraße gefunden.

4. Mehrere Holothurienkalkkörper aus den Variansmergeln von Lörrach werden als Beitrag zum Vortrag von Herrn Peyer demonstriert.

Ausführlicher Bericht erfolgt in den «Eclogae geologica Helveticae».

**10.** Bernhard Peyer (Zürich). – *Über fossile Holothurien.* – Kein Manuskript erhalten.

**11.** Emil Kuhn (Zürich). – *Über zwei Fische aus der Trias von Perledo am Comersee.* – Kein Manuskript erhalten.

**12.** Jakob Schweighauser (Basel). – *Spirillinen aus dem Lias von Arzo (Tessin).*

Die rötlichen fossilreichen Kalke aus dem Domérien von Arzo enthalten Lagen, die außerordentlich reich an Foraminiferen des Genus *Spirillina* Ehrenberg sind.

Unsere Untersuchung stützte sich zum Teil auf isolierte Exemplare, zum Teil auf eine große Zahl von Gesteinsschliffen des erwähnten Kalkes. Es zeigte sich, daß die vorhandenen Spirillinen zwei Arten angehören.

*Spirillina liassica* (Jones): Der Durchmesser beträgt 1,7–2,2 mm. Das Proloculum ist groß, kugelförmig (der Durchmesser kann 0,3 mm erreichen). Darauf folgen 3–4 Windungen, die gegen außen an Höhe und Breite rasch zunehmen. Die Wände sind von einer großen Zahl grober Poren durchsetzt. Septen fehlen vollständig. Die gleiche Art wurde von Bornemann abgebildet und beschrieben unter dem Namen Involutina liasina. Der Gattungsname Involutina kann aber für diese Art nicht beibehalten werden, denn alle Merkmale stimmen mit denjenigen von Spirillina vollkommen überein.

*Spirillina ticinensis n. sp.:* Der Durchmesser beträgt 1,0–1,7 mm. Das Proloculum ist sehr klein (ca, 0,01 mm). Die Zahl der Windungen beträgt 7–8, die inneren sind sehr eng, die äußeren nehmen an Breite und Höhe rasch zu. Die inneren Umgänge sind wie bei *Sp. liassica* oft von Pfeilern verdeckt.

Vorkommen: *Spirillina liassica* wurde außerdem im unteren Lias des Berner Jura gefunden, ebenso im Gryphitenkalk der Umgebung von Basel. *Spirillina ticinensis* konnten wir bis jetzt nur aus dem Lias von Arzo feststellen. Eine ausführliche Beschreibung mit Abbildungen wird in den «Eclogae geologicae Helvetiae», Vol. 43, Nr. 2, erfolgen.

**13.** Carl Renz (Basel) und Otto Renz (Maracaibo). – *Die Paroniceraten im südfranzösischen Toarcien von Aveyron.*

Die Angehörigen der Gattung *Paroniceras Bonar.* liefern nach den bisherigen Untersuchungen im Mediterrangebiet ganz ausgezeichnete oberliassische Leitfossilien und lassen sich hier auch für eine subtilere Zonengliederung verwenden. Beeinträchtigt wird ihr Wert als Leitfossilien nur durch ihr dortiges individuell seltenes Vorkommen.

Wir haben jetzt unsere diesbezüglichen Untersuchungen auf den südfranzösischen Toarcien von Aveyron[1] ausgedehnt, dessen unvergleichlicher Reichtum an prächtig erhaltenen Ammoniten auch ein häufigeres Vorkommen der Paroniceraten erwarten ließ. Unsere Aufsammlungen an den renommiertesten Aufschlüssen im südöstlichen Teil des Departements Aveyron haben nun ein reiches Paroniceratenmaterial

[1] Vergl. hierzu J. Monestier: Le Toarcien supérieur dans la région sud-est de l'Aveyron. Bull. soc. géol. de France 1920, T. 20 (4e série), p. 280 und J. Monestier: Ammonites rares ou peu connues et Ammonites nouvelles du Toarcien supérieur du SE de l'Aveyron. Mém. Soc. géol. de France, Paléontologie 1921, T. 23 (Mém. 54).

ergeben, das neben einigen sonst noch nicht bekannten Formen den Großteil aller bisher beschriebenen Paroniceratentypen umfaßt und zugleich auch ihre Brauchbarkeit als zonare Leitformen bestätigt.

In Anbetracht einer auf einem ungleich mächtigeren Sedimentkomplex verteilten Ammonitenfülle sind im südfranzösischen Oberlias die Vorbedingungen für eine schärfere Trennung der kurzlebigen Zonenfossilien durch zwischengeschichtetes Gesteinsmaterial günstiger als im Mediterrangebiet.

Wir können im Gebiet von Aveyron anhand der Paroniceraten zwei Zonen ausscheiden, nämlich eine ältere mit *Paroniceras sternale* und eine nachfolgende mit *Paroniceras buckmani* (= Zone des *Hammatoceras insigne* auct.).

In der Zone mit *Paroniceras sternale* treten auf:

*Paroniceras sternale (Buch)*
*Paroniceras sternale (Buch)* var. *levantina Renz*
*Paroniceras sternale (Buch)* var. *graeca Renz*
*Paroniceras helveticum Renz*
*Paroniceras helveticum Renz* var.

In der Zone mit *Paroniceras buckmani* wird diese Leitform begleitet von

*Paroniceras buckmani Bonar.* var. *suevica Renz*
*Paroniceras telemachi Renz*
*Paroniceras lusitanicum Renz*
*Paroniceras lusitanicum Renz* var. *undulosa (Monestier)*
*Paroniceras evolutum Monestier* und
*Paroniceras sulcatum Monestier.*

Getrennt werden diese beiden Paroniceratenzonen durch eine Kalkbank, in der erstmals *Paroniceras buckmani* und *Paroniceras telemachi* erscheinen (wie an den Aufschlüssen von Le Clapier).

Im mediterranen Oberlias folgt das Lager mit *Paroniceras sternale* über den Bifronschichten, während *Paroniceras buckmani* in Westgriechenland und im Zentralapennin noch in den obersten Grenzschichten des Oberlias angetroffen wurde.

## 8. Sektion für Botanik

Sitzung der Schweizerischen Botanischen Gesellschaft

**Sonntag und Montag, den 27. und 28. August 1950**

*Präsident:* Prof. Dr. W. Vischer (Basel)

**1.** Otto Schüepp (Reinach, Baselland). – *Über die Wachstumsverteilung in Stammspitzen.*

An Hand von Ansichten, Schnittbildern und Wachstumskurven wird das Wachstum in der Scheitelknospe von Nolina recurvata, einer baumförmigen Liliacee, dargestellt. Anschließend wird durch zwei Konstruktionen der Zusammenhang von Wachstumsverteilung innerhalb der Stammoberfläche (Oberfläche des Vegetationskegels und Stammoberfläche nach Abschneiden der Blätter) und von räumlicher Form des Stammgipfels (Vegetationskegels in einer flachen Scheitelgrube) erläutert.

Schema A setzt sich zusammen aus fünf Kegelflächen mit willkürlich gewählter Neigung. Die Fläche ist durchgehend in 13 Längsstreifen aufgeteilt, aus denen Parallelkreise trapezförmige Stücke herausschneiden. Das Wachstum dieser Trapeze ist vom Scheitelpunkt bis zum Zylinder der ausgewachsenen Stammteile zu überblicken. Je nach den Annahmen über das Höhenwachstum der Trapeze berechnet sich das Breitenwachstum auf der gewählten Kegelfläche. Es ist nacheinander isometrisch, allometrisch mit überwiegendem Längenwachstum, isometrisch, allometrisch mit überwiegendem Breitenwachstum, allometrisch mit überwiegendem Längenwachstum. Auf die entstehende Netzfigur sind Schrägzeilen einer Blattstellung nach 5/13 gezeichnet.

Schema B von ähnlicher Größe und Gestalt entsteht aus Annahmen über wechselndes Breiten- und Höhenwachstum der Trapezfelder, zu denen Berechnung die zugehörige Höhe und Neigung der Kegelzonen ergibt. Ausschneiden und Modellieren macht anschaulich, wie aus freien Annahmen über Breiten- und Höhenwachstum der Oberflächenfelder die körperliche Form notwendig folgt.

Die Scheitelgrube entsteht durch Einstülpung von Kegelzonen, entsprechend der teilweisen Einstülpung eines Handschuhfingers. Das Vorkommen und Ausmaß solcher Einstülpungen ist mit dem antiklinen Dickenwachstum des Stammes in Verbindung zu bringen.

In der Ontogenie der Tiere und der Pflanzen fand man «Keimblätter», von welchen bestimmte Gewebe und Organe abstammen, z. B. «Dermatogen». Entwicklungsphysiologisch bedeuten diese «Blätter» mit ihrem vorwiegenden Flächenwachstum durch die Verteilung dieses Flächenwachstums nach Größe und Richtung ein Mittel zur Gestaltung von Formen im Raum. Der Maßschneider versteht es, durch geschicktes Ausschneiden aus einem ebenen Stück Tuch Kleidungsstücke herzustellen, die sich dem menschlichen Körper und seinen Gliedern genau anpassen. Die Natur übt die Kunst, aus der Verteilung von Flächenwachstum räumliche Formen zu bestimmen.

**2.** Werner Wurgler (Lausanne). – *Disparition de l'amidon à la suite d'une application de 2,4-D sur les tiges de Cirsium arvense L.*

Les acides phénoxyacétiques substitués agissent – comme les autres substances de croissance du type auxine – sur l'hydrolyse de l'amidon dans les tissus végétaux. Nous avons observé cette réaction en particulier chez Cirsium arvense L., plante qui envahit presque toutes les cultures. La jeune tige de Cirsium ne présentant des grains d'amidon que dans une seule assise de cellules nous paraît un objet intéressant pour étudier quantitativement l'effet des acides phénoxyacétiques sur l'amidon.

Des tiges de Cirsium arvense de 30 cm. de haut sont aspergées avec une solution aqueuse de 2,4-dichlorophénoxyacétate de sodium à 0,2 %, cette concentration ayant une action herbicide bien marquée si on l'applique à la quantité de 10 cmc. par plante. Nous avons augmenté la quantité du liquide à environ 15 cmc. par plante, les tiges étant plus développées que celles des essais cités en 1949 (cf. Wurgler: Rev. romande d'Agic., Vitic., Arboric. *5*, 26, 1949).

Les tiges commencent à se courber après 12 heures et dirigent leurs pointes vers la terre environ 72 heures après une application de 2,4-D. Des tiges sont prélevées toutes les 24 heures et fixées à l'alcool. Des coupes transversales minces sont faites à la main avec un rasoir, trempées pendant 5 à 10 minutes dans une solution alcoolique d'iode à 1 %, puis examinées dans l'alcool au microscope. Les grains d'amidon sont contenus dans une seule assise de cellules située à l'extérieur des faisceaux conducteurs de la tige.

Nous n'avons pris en considération que les cellules situées à l'extérieur du liber en omettant celles – pauvres en amidon – qui se trouvent entre les faisceaux. Les grains d'amidon disparaissent assez rapidement ensuite d'une application d'un acide phénoxyacétique halogéné.

La courbure extérieure commençant juste au-dessous du méristème et se déplaçant en peu de jours vers en bas à environ 15 cm. de la pointe, nous avons examiné la réaction de la tige à différents niveaux à partir du point végétatif terminal.

*Diminution du nombre des grains d'amidon par cellule ensuite d'une aspersion des tiges de Cirsium arvense L. au 2,4-D à 0,2 %*

8 juillet (chaque valeur = moyenne d'env. 500 cellules)

| | Niveau de la coupe au-dessous du méristème terminal | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| jours | 1 cm. | 2 cm. | 4 cm. | 10 cm. | 15 cm. |
| 0 | 7,05 ± 0,11 | 7,05 ± 0,11 | 6,99 ± 0,16 | 6,52 ± 0,15 | 5,92 ± 0,14 |
| 1 | 2,40 ± 0,15 | 4,56 ± 0,09 | | | |
| 2 | 1,78 ± 0,14 | 3,90 ± 0,14 | 2,83 ± 0,09 | 3,10 ± 0,12 | 3,62 ± 0,11 |
| 3 | 1,79 ± 0,10 | 1,91 ± 0,11 | 1,89 ± 0,08 | 2,75 ± 0,09 | 3,02 ± 0,10 |
| 5 | 0,04 ± 0,01 | 0,11 ± 0,04 | 0,40 ± 0,05 | 1,82 ± 0,09 | 2,68 ± 0,09 |
| 10 | 0 | 0 | 0,08 ± 0,02 | 0,17 ± 0,04 | 1,91 ± 0,09 |

La méthode permet de saisir quantitativement et d'une façon relativement rapide – sans analyse chimique – l'effet d'une substance de croissance sur l'amidon de la tige. Elle ne peut être appliquée que sur des organes qui renferment l'amidon en petites quantités et localisé dans des cellules bien déterminées. Les chiffres ne doivent pas être considérés comme absolus. Ils varient un peu d'un essai à l'autre, mais le sens général de la réaction reste toujours le même.

Nous pensons que l'action de la substance de croissance sur l'hydrolyse de l'amidon est indirecte, car la réaction n'a été observée jusqu'à présent que dans les tissus. De nouvelles recherches devront nous renseigner sur ce problème ainsi que sur la nature des rapports entre la courbure de la tige, l'action herbicide et l'hydrolyse de l'amidon.

**3.** Albert Frey-Wyssling und C. Agthe (Zürich). – *Nektar ist ausgeschiedener Phloemsaft.*

Die Versorgung der untersuchten Nektarien erfolgt:

| | | |
|---|---|---|
| 1. | ausschließlich durch Phloem | *Euphorbia pulcherrima* (Cyathium) |
| | ausschließlich durch Phloem | *Abutilon striatum* (Blütenboden) |
| | ausschließlich durch Phloem | *Impatiens Roylei* (Blattstiel) |
| 2. | durch Phloem und Xylem | *Ranunculus spec.* div. (Honigblatt) |
| | ↓ | *Ricinus communis* (Kotyledo, Blatt) |
| | vorwiegend durch Xylem | *Fritillaria imperialis* (Perigonblatt) |

Fluorochromiert man das Phloem der drei zuerst genannten Beispiele dieser Reihe nach der Gelatinemethode von *Schumacher* oder der Dochtmethode von *Rouschal* mit Kaliumfluoreszein, wandert dieses Fluorochrom über beträchtliche Abstände in sezernierende Nektarien ein. Bei unreifen, noch nicht tätigen Nektarien wird das Kaliumfluoreszein dagegen am Nektarium vorbei in die wachsenden Blüten- oder Blattorgane geleitet. Im unbehandelten Phloem befindet sich eine hellblau

fluoreszierende Substanz, die mit dem Nektar austritt und ihm eine tiefblaue Fluoreszenz verleiht. Aus den erwähnten Beobachtungen geht hervor, *daß der Nektar ausgeschiedenen Phloemsaft vorstellt.* Damit erscheint die Frage der Nektarausscheidung mit dem Problem der Zuckerwanderung im Phloem gekoppelt.

Der Nektar der 1. Gruppe der obigen Reihe enthält 50–60 % Zukker, ist also wesentlich konzentrierter als die von *Huber* untersuchten Phloemsäfte mit 20–30 % Zuckergehalt (Eindickung durch Wasserverlust). Die 2. Gruppe der erwähnten Nektarien produziert dagegen dünneren Nektar, dessen Konzentration mit zunehmendem Xylemgehalt der versorgenden Leitbündel schließlich so wässerig ist (*Fritillaria* 8 %), daß er von den Bienen in der Regel nicht mehr angenommen wird. Solche Nektarien verhalten sich ähnlich wie Hydathoden (Anregung der Sekretion im dampfgesättigten Raum; auf Wasser schwimmende Nektarien scheiden durch ihr Sekretionsgewebe große zuckerhaltige Wassertropfen aus). Bei solchen Nektarien wird der sezernierte Phloemsaft offenbar durch Guttationswasser verdünnt. Es gibt eine gleitende Übergangsreihe zwischen Phloem-Nektarien und echten Hydathoden, die ausschließlich durch Xylem versorgt werden.

**4.** Wilhelm Vischer (Basel). – *Über atmophytische Algen.*

Über Rinden- und Steinalgen finden sich in der Literatur meistens nur recht summarische Angaben, und die Systematik der einzelnen Gattungen liegt z. T. noch im argen, obschon gerade von schweizerischen Forschern, z. B. R. Chodat, O. Jaag u. a., wichtige Vorarbeit geleistet worden ist. In Reinkultur erweisen sich manche Gattungen als viel reichhaltiger, als allgemein angenommen wird:

*Protococcales:* Die Gattung *Dictyococcus* enthält neben den wenigen bisher bekannten Arten sehr zahlreiche neue Formen, die sich zwar morphologisch sehr wenig, physiologisch aber sehr leicht unterscheiden lassen, je nach Anspruch gegenüber organischer Nahrung: die einen Arten gedeihen besser rein autotroph, andere heterotroph. Dictyococcusarten finden sich in fast allen Böden und auf Rinden. Von Chlorella abzusondern ist ein Formenkreis, der als neue Gattung, *Jaagia*, sich um einen Organismus, der gemeinhin unter dem Sammelnamen Chlorella ellipsoidea aufgeführt wird, mit apfelgrünem, etwas körperlichem Chromatophor, mit und ohne Pyrenoid, mit oder ohne Stärke, oft mit glykogenartigen Assimilationsprodukten, gruppieren läßt. Von Jaagia können etwa 20 Arten unterschieden werden.

*Chaetophorales Leptosireae:* Gattung *Pleurococcus* Naegeli: Zellpakete mit z. T. kurzen Fäden, Chromatophor wandständig, mit oder ohne Pyrenoid. Subgenus *Desmococcus* Brand, mit oder ohne Pyrenoid, mehrere Arten. Subgenus *Apatococcus* Brand, ohne Pyrenoid, bisher nie mit Zellfäden. Subgenus *Diplosphaera* (Bialosuknia) R. Chodat, Zellpakete meist sofort zu Zweier- oder Einergruppen zerfallend, oft etwas schleimbildend, zahlreiche Arten, mit und ohne Pyrenoid. Andere Arten

unsicherer Stellung, z. T. mit Zoosporen. Gattung *Pleurastropsis* nov. gen., pleurastrumartig, bisher aber nie mit Zoosporen.

*Prasiolaceae:* Gattung *Prasiococcus*, Zellpakete ähnlich wie Pleurococcus, Zellen aber mit für Prasiola charakteristischem, sternförmigem, zentralem Chromatophor, mit deutlichem Pyrenoid. Vermehrung durch Aplanosporen (= Pleurococcus calcarius B. Petersen). Gattung *Prasiolopsis*, Zellbau wie Prasiococcus, aber Pflänzchen leptosiraartig, mit Fäden, welche in Aplanosporen zerfallen. Diese neue Gattung wurde offenbar bisher als «Pleurococcus vulgaris Menegh.» bezeichnet und irrtümlich zu den Chaetophorales gestellt.

Außerdem zahlreiche Angehörige der Gattungen Chlamydomonas, Cystococcus, Chlorococcum, Chlorella, Hormidium, Stichococcus usw., deren eingehendes Studium noch aussteht.

**5.** Karl Wuhrmann und Senta Koestler (Zürich). – *Über den Vitaminbedarf des Abwasserbakteriums Sphaerotilus natans Kütz.*

Das Fadenbakterium *S. natans* zeigt in fließenden Gewässern oft riesige Massenentwicklungen in Form ausgedehnter, fellartiger Überzüge auf den Bachsohlen, wenn eine geeignete Gewässerverunreinigung einen günstigen Nährboden für den Organismus bildet. Seine Nährstoffansprüche lassen sich wie folgt charakterisieren: die Stickstoffversorgung ist nur mittels organischer N-Verbindungen (Aminosäuren, Amide und Polypeptide) gewährleistet. Ammoniumstickstoff kann nicht oder nur in bedeutungsloser Geschwindigkeit assimiliert werden, auch wenn eine günstige Kohlenstoffquelle zur Verfügung steht. Als Substrate für den Energie- und Aufbaustoffwechsel (Bildung der dicken Scheiden!) können eine große Zahl von Kohlenstoffverbindungen dienen. Bei ausschließlicher Gabe von Aminosäuren usw. können deren Kohlenstoffreste analog den entsprechenden Karbonsäuren verwertet werden. S. ist ein streng aerobes Bakterium, das in Reinkultur allerdings noch bei sehr niedrigen $O_2$-Spannungen optimal gedeihen kann. Die Nährstoffansprüche charakterisieren S. als typisch heterotrophen Organismus.

Es ist nun zu untersuchen, welche seiner Stoffwechselreaktionen sich nicht oder nur sehr langsam abspielen können, resp. von der äußeren Zufuhr der entsprechenden Metabolite abhängig sind. U. a. wurden die folgenden acht Vitamine: Aneurin, Lactoflavin, Nicotinsäure, Pyridoxin, Pantothensäure, Biotin, Folsäure und p-Aminobenzoesäure daraufhin geprüft, ob sie als unentbehrliche Substanzen von außen aufgenommen werden müssen, d. h. von S. nicht selbständig synthetisiert werden können. Die hauptsächlichsten Schwierigkeiten bei diesen Untersuchungen ergaben sich bei der Herstellung eines vitaminfreien Inokulums, da S. in seinen großen Zellen erhebliche Mengen von Reservestoffen speichert und die stark wasserhaltigen Scheiden eine große Gefahr für das Übertragen von Substanzen von einem Medium ins andere darstellen.

Unsere sehr zahlreichen Experimente zeigten folgendes: Keines der acht Vitamine (für sich allein oder in Kombination) ermöglicht ein

nennenswertes Wachstum bei Ammonium als N-Quelle und den verschiedensten Kohlenstoffverbindungen als Atmungssubstrat. Es kann sich dabei nicht um eine Hemmung bei der Verwertung des letzteren handeln, denn die Messung der $CO_2$-Produktion bei der Vergärung, z. B. von Glukose mit und ohne Zusatz von Aneurin, Nikotinsäure u. a. zeigt, daß auch ohne Zusatz dieser Vitamine eine normale Veratmung des Zuckers erfolgt. Der Zusatz einzelner Aminosäuren zu dieser einfachsten Nährlösung verbessert wohl das Wachstum etwas, jedoch ist kein Zusammenhang mit der Konzentration des gebotenen Ammoniums nachzuweisen, und ferner sind Vitaminzusätze wirkungslos. Auch in komplex zusammengesetzten Nährlösungen (18 Aminosäuren) ist ein wesentliches Wachstum mit Hilfe einzelner oder Kombinationen von Vitaminen nicht zu erreichen. Eine erhebliche Verbesserung der Entwicklung, die allerdings nicht angenähert an diejenige in Peptonlösungen heranreicht, tritt auf, wenn an Stelle oder zusammen mit den Aminosäuren vitaminfreie Gelatine geboten wird. (Diese Präparate wurden durch mehrfache, abwechslungsweise Behandlung verdünnter wässeriger Gelatinelösungen mit Aktivkohle und Kieselgur hergestellt. Ihre Vitaminfreiheit wurde mit Lactobac. arabinosus geprüft.) Das wiederum von der Dosierung der acht Vitamine (einzeln oder kombiniert) unabhängige Wachstum macht sehr wahrscheinlich, daß Sphaerotilus bezüglich der geprüften Wirkstoffe *autotroph* ist.

Es haben noch gesprochen: Claus Agthe, Zürich; Ursula Brodführer, Davos; Sebta Koestler, Zürich.

## 9. Sektion für Zoologie und Entomologie

Sitzung der Schweizerischen Zoologischen Gesellschaft zusammen mit der Schweizerischen Entomologischen Gesellschaft

**Samstag und Sonntag, den 26. und 27. August 1950**

*Präsidenten:* Prof. Dr. H. STEINER (Zürich) und
Dr. PAUL BOVEY (Lausanne).

**1.** HENRI-ALCIDE GUÉNIN (Lausanne). – *Chromosomes et hétérochromosomes de tenebrionidés nord-africains.* – Pas reçu de manuscrits.

**2.** FRITZ ERICH LEHMANN (Bern). – *Elektronenmikroskopische Untersuchungen an den Polplasmen von Tubifex und den Mikromeren von Paracentrotus.* – Die Mitteilung wird in extenso erscheinen in Arch. Jul. Klaus-Stiftung, Band XXV, 1950.

**3.** ADOLF NADIG (Zuoz). – *Zwei tiergeographisch interessante Insektenfunde im Oberengadin.*

An blühenden Büschen von Caragana arborescens konnten in den Gartenanlagen des Lyceum Alpinum Zuoz (1750 m) in den Jahren 1947 bis 1950 regelmäßig mehrere Exemplare von *Xylocopa violacea L.* (Hymen.), einer ausgesprochen mediterranen Bienenart, beobachtet werden. Sie flogen in Gesellschaft von Bombus lapponicus, mendax, alticola, mucidus, also alpiner und boreoalpiner Hummelarten. Wohl ist es bekannt, daß Xylocopa violacea windgeschützten Tälern entlang bis weit in die südlichen Alpenrandgebiete und durch das Rhonetal ins Wallis und die Rheinische Tiefebene bis Bonn, ins Main- und Lahntal vorstoßen konnte. Friese erwähnt auch Funde aus Innsbruck, das jedoch 1200 m tiefer als Zuoz liegt. Aus der alpinen und subalpinen Region waren – wie schon Frey-Geßner betonte – keine Funde bekannt. Eine aktive Einwanderung von Xylocopa über einen der Alpenpässe, welche das Engadin mit der Poebene verbinden, wäre denkbar. Wahrscheinlicher ist es jedoch, daß Xylocopa violacea passiv mit Brennholztransporten aus dem Bergell ins Engadin eingeführt wurde. Die Tatsache, daß sie in vier aufeinanderfolgenden Jahren im engbegrenzten Areal der Gartenanlagen des Lyceum Alpinum gefunden wurde, beweist, daß sie sich hier wenigstens vorübergehend halten und entwickeln konnte. Wenn

dies der Fall war, dann wohl nur deshalb, weil sie in bezug auf Klima, Futterpflanzen und Nistgelegenheit überraschend günstige Bedingungen vorfand: Die Gartenanlagen des Lyceums sind durch Waldparzellen und den sogenannten «Castellhügel» gegen den Malojawind geschützt; Caragana arborescens, eine landesfremde Leguminosenart, ist mit Glycine, Coronilla, Colutea usw., den Hauptfutterpflanzen von Xylocopa im Mittelmeergebiet, verwandt; die sonnedurchwärmten Balken alter Holzhäuser bieten günstige Nistgelegenheit. (Vgl. Jahresb. der Naturf. Ges. Graubündens, Bd. LXXXII.)

*Phasgonura caudata* Charp. (Orth.) ist ein östliches Element, das in Mesopotamien, Serbien, Ungarn, im Wiener Becken und Südtirol verbreitet ist. Carl fand die Art im Unterengadin bei Schuls. Ph. caudata lebt im Gegensatz zu Ph. viridissima mit Vorliebe in Kornfeldern. Eingehende Untersuchungen in den Jahren 1925–1931 ergaben denn auch, daß ihr Verbreitungsgebiet in Graubünden weitgehend mit demjenigen zusammenfällt, in dem in größerer Ausdehnung Korn angebaut wird: dem Etschtal, der Reschenscheideck, dem Münstertal (bis Lü hinauf!), dem Unterengadin bis Zernez. Im Oberengadin, wo nur ausnahmsweise und vereinzelte Kornfelder angebaut wurden, konnte Ph. caudata trotz planmäßiger Nachforschungen nicht gefunden werden. Die Frage nach der Verbreitung dieser Art gewann neues Interesse, als in den Kriegsjahren durch die Mehranbauvorschriften die Oberengadiner Gemeinden gezwungen wurden, Wiesengelände umzubrechen und ausgedehnte Flächen mit Korn anzusäen. Im Herbst des Jahres 1950 wurden zwischen Zuoz und Scanfs 20 Kornfelder abgesucht mit dem Ergebnis, daß in 11 davon Ph. caudata gefunden wurde. Diese Feststellung zeigt, daß wenige Jahre genügten, um dieser Insektenart die Ausbreitung talaufwärts zu ermöglichen, vom Moment an, wo die Lebensbedingungen im neu besiedelten Lebensraum ihren Anforderungen genügten.

Es haben noch gesprochen: Hans Burla, Zürich; Hans Nater, Zürich.

## 10. Sektion für Anthropologie und Ethnologie

Sitzung der Schweizerischen Gesellchaft für Anthropologie und Ethnologie

**Sonntag, den 27. August 1950**

*Präsident:* Mme Dr. M. Lobsiger-Dellenbach (Genève).
*Sekretär:* Prof. Höltker (Fribourg).

**1.** Otto Schlaginhaufen (Zürich). – *Ein Melanesierschädel von ungewöhnlich kleiner Kapazität.* – Erscheint als Originalabhandlung im «Bulletin der Schweizerischen Gesellschaft für Anthropologie und Ethnologie», Jahrg. 27, 1950/51.

**2.** Eugene Pittard (Genève). – *Recherches de la civilisation préhistorique en Anatolie.*

M. Eugène Pittard rappelle à grands traits ce qu'était il y a encore 25 ans l'image préhistorique de l'Asie. Aujourd'hui encore cette image n'est qu'ébauchée. Pour cet immense territoire nous n'avons que de simples aperçus des états de civilisation sans raccords entre eux.

Lorsqu'en 1925 les P. Licent et Teilhard de Chardin firent connaître leur trouvaille du moustérien chinois dans la boucle de l'Ordos, c'était pour la première fois qu'on parlait du Paléolithique chinois.

Les découvertes en Syro-Palestine, en Sibérie, les anciennes trouvailles de l'Indoustan, permettent de croire à l'existence d'une nappe de Paléolithique sur toute l'étendue de l'Asie.

En 1926, l'auteur de la présente communication eut la chance de recueillir en un point du plateau anatolien, appelé Adi-Yaman, quelques outils paléolithiques. Dans les années suivantes les récoltes se multiplièrent. L'outillage en question montre des aspects moustériens et surtout aurignaciens. C'est la première fois que dans la région considérée on signale de telles industries.

D'autre part, au cours de recherches dans les ballastières des environs d'Ankara le même auteur rencontra des outils de caractère levalloisien (détermination de l'abbé Breuil). Cette heureuse trouvaille permet de donner une date à ces graviers où l'absence de faune ne permettait pas cette possibilité chronologique.

**3.** Ernst Büchi (Zürich). – *Besteht eine Beziehung zwischen kongenitalen Mißbildungen und Konzeptionsmonat?*

Ein Material mit 2672 Fällen von Mißbildungen, aus 167 940 Geburtsjournalen der Jahre 1911–1949 von den Reichsfrauenkliniken Ko-

penhagens herausgesucht, wurde unter anderem auch daraufhin untersucht, ob zwischen Konzeption zu einer bestimmten Jahreszeit und der Häufigkeit im Auftreten der Mißbildungen eine Beziehung bestehe. Das Geburtsdatum der anomalen Früchte wurde um die Tragzeit vermindert und so der Konzeptionsmonat bestimmt. Die prozentuale Häufigkeit der Defekt-Konzeptionen je Monat wurde dividiert durch die prozentuale Häufigkeit der Normal-Konzeptionen (berechnet aus den Angaben für die Jahre 1911–1915, 1939, 1947 in: Danmarks Statistik, 5. R, LA Nr. 13; Annuaire statistique 1940, 1948; Kopenhagen 1919, 1940, 1948) desselben Monats. Auf diese Weise resultierten «Relative Häufigkeiten», welche, unabhängig von der wechselnden Zahl der Empfängnisse im Laufe des Jahres, angeben, wievielmal öfters oder seltener im betreffenden Monat Anomale gezeugt wurden, als normalerweise zu erwarten stand.

Da aber im Gesamtmaterial recht verschiedene Mißbildungen vereinigt sind, und sich diese vielleicht unterschiedlich verhalten könnten, wurden die am häufigsten vertretenen Anomalien noch separat untersucht. Dabei zeigte sich, daß offensichtlich eine Beziehung zwischen Jahreszeit und Defekt-Konzeptionen besteht. Wir finden sowohl beim Gesamtmaterial wie auch bei den einzelnen Defektformen Maxima der Empfängnis mißbildeter Individuen im März–April, im Juli–August, im Oktober und vermutlich auch um die Jahreswende. Die Mißbildungen des ZNS allerdings zeigen nur zwei Gipfelwerte, nämlich im April und im Juli–August. Die Abweichung der Defekt-Konzeptionsverteilung von der Normalverteilung ist durch den $\chi^2$-Test statistisch gesichert.

Es frägt sich nun, welche jahreszeitlichgebundenen Momente eine Erhöhung der Mißbildetenzahl hervorzurufen vermögen. Es wurden alle denkbaren für Dänemark geltenden Momente mit dieser Frage in Beziehung gebracht, wie: Festkalender, Verteilung der Heiraten und der außerehelichen Zeugungen, soziale Faktoren usw. Weiter wurden klimatische Faktoren berücksichtigt, und dabei ergab sich etwas Merkwürdiges: Die monatlichen Schwankungen in der Zeugung mißbildeter Individuen laufen ziemlich genau parallel zu den monatlichen Luftdruckänderungen. Auf Zeiten niedern Luftdrucks fallen höhere Raten von Mißbildungs-Konzeptionen. Da sowohl das gesamte Defektmaterial wie auch die überwiegende Mehrzahl der Einzelformen diese Übereinstimmung zeigen, darf ein Zufall mit hoher Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen werden. Wie weit jedoch der Luftdruck selbst, oder aber Begleitfaktoren für diese Erscheinung verantwortlich sind, kann vorläufig nicht entschieden werden.

**4.** Marg. Lobsiger-Dellenbach (Genève). – *L'angle facial.*

Au moyen du goniomètre de Kruse j'ai noté l'angle facial des différents groupes humains mesurés lors de mon séjour à Tahoua, en Afrique occidentale française. L'une des branches du compas était posée sur le point mentonnier, l'autre sur la partie la plus saillante du front, le centre du compas frôlant la pointe du nez.

Les résultats de cette mesure me paraissent aléatoires car celle-ci dépend de l'inclinaison du front, de la récurrence ou de l'avance du menton, de la proéminence du nez.

M. le professeur O. Schlaginhaufen m'avait dit, en 1948, au Congrès de la Société Helvétique des Sciences Naturelles, à St. Gall, l'intérêt qu'il y aurait à prendre cette mesure afin d'avoir les moyens de comparaison qui manquent encore aujourd'hui.

Pour la répartition de cet angle nous avons naturellement utilisé les subdivisions inscrites dans *Anthropologia Helvetica* du professeur Schlaginhaufen:

| | |
|---|---|
| très petit angle ..... | jusqu'à 124° |
| petit angle ..... | de 125° à 132° |
| angle moyen ..... | de 133° à 140° |
| angle ouvert ..... | de 141° à 148° |
| angle très ouvert ... | de 149° et au-delà. |

Le plus grand pourcentage, dans la série suisse, se rencontre dans la catégorie des angles moyens. Il en est de même pour nos séries africaines masculines. Les séries féminines ne se présentent pas de la même façon.

Dans la série suisse les extrêmes s'étendent de 104 à 184. Nos séries africaines ne présentent pas un tel écart. Chez les hommes les extrêmes vont de 120 à 160, chez les femmes de 115 à 168.

| | Les extrêmes | | | |
|---|---|---|---|---|
| | hommes | | femmes | |
| | minimum | maximum | minimum | maximum |
| Haoussas ..... | 121° | 160° | 115° | 168° |
| Bellàhs ..... | 124° | 150° | 115° | 150° |
| Djermas ..... | 125° | 149° | 132° | 144° |
| Peuls ..... | 125° | 148° | 124° | 148° |
| Touaregs ..... | 120° | 148° | 135° | 150° |
| Maures ..... | 127° | 148° | 130° | 150° |

Ce sont les Haoussas, hommes et femmes, qui présentent le plus grand écart entre les extrêmes. Le plus petit écart est offert, chez les hommes, par la série maure, et, chez les femmes par la série Djerma.

Nous nous gardons bien de tirer une conclusion quelconque de ces chiffres. Nous nous contentons de les exposer.

**5.** Marg. Lobsiger-Dellenbach (Genève). – *Comparaisons sexuelles de l'angle facial chez quelques populations de l'A. O. F.*

| | Les hommes | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Moyenne | Haoussas | Bellahs | Djermas | Peuls | Touaregs | Maures |
| du groupe ... | 136° | 136° | 137° | 134° | 137° | 136° |
| Très petit angle . | 2,80 % | 2,66 % | — | — | 4 % | — |
| Petit angle ..... | 21,7 % | 24 % | 23,52 % | 35,7 % | 16 % | 19,23 % |
| Angle moyen ... | 49 % | 57,33 % | 47,06 % | 57,12 % | 44 % | 61,54 % |
| Angle ouvert ... | 25 % | 14,66 % | 23,52 % | 7,14 % | 36 % | 19,23 % |
| Angle très ouvert | 0,7 % | 1,33 % | 5,88 % | — | — | — |

Chaque groupe se classe, par sa moyenne, dans la catégorie des angles moyens, les Peuls avec la moyenne la plus basse, les Djermas et les Touaregs avec la moyenne la plus élevée. Les angles très petits et très ouverts sont peu nombreux. Les 328 hommes étudiés peuvent se classer dans les trois catégories suivantes: petit angle, angle moyen et angle ouvert, avec un maximum pour l'angle moyen et dans des proportions plus ou moins semblables d'angles petits et ouverts dans trois groupes (Haoussas, Djermas, Maures), un plus grand nombre de petits angles que d'angles ouverts chez les Bellahs, et les Peuls; un plus grand nombre d'angles ouverts que petits chez les Touaregs.

| | | | Les femmes | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Moyenne | Haoussas | Bellahs | Djermas | Peuls | Touaregs | Maures |
| du groupe ... | 139° | 136° | 138° | 136° | 141° | 135° |
| Très petit angle . | 1,72 % | 3,57 % | — | 2,44 % | — | — |
| Petit angle ..... | 14,94 % | 32,14 % | 14,3 % | 29,27 % | — | 42,85 % |
| Angle moyen ... | 34,48 % | 28,56 % | 57,14 % | 41,46 % | 42,85 % | 42,85 % |
| Angle ouvert ... | 36,78 % | 32,14 % | 28,6 % | 26,84 % | 42,85 % | — |
| Angle très ouvert | 12,07 % | 3,57 % | — | — | 14,30 % | 14,30 % |

Si, pour ce qui concerne la moyenne du groupe, les femmes présentent les mêmes caractéristiques que les hommes (sauf cependant les femmes touaregs), c'est-à-dire avec un angle moyen, la répartition des pourcentages est très différente. Chez les Haoussas, les Djermas, les Peuls, l'angle moyen s'exprime par un chiffre un peu plus élevé chez les femmes que chez les hommes. Chez les Bellahs il est identique et chez les Maures il est un peu plus petit chez les femmes que chez les hommes. L'angle moyen en proportion maximum ne se rencontre, chez les femmes, que deux fois (Djermas et Peuls) tandis qu'il se rencontrait dans chacune des séries masculines. Les angles ouverts et très ouverts sont beaucoup plus fréquents chez les femmes que chez les hommes.

*Comparaisons des séries africaines et des séries suisses (Schlaginhaufen)*

| | Séries africaines | | Série suisse (Schlaginhaufen) |
|---|---|---|---|
| | Hommes | Femmes | Hommes |
| Très petit angle ..... | 2,1 % | 1,9 % | 0,85 % |
| Petit angle ..... | 23,47 % | 19,31 % | 21,74 % |
| Angle moyen ..... | 52,43 % | 35,97 % | 58,24 % |
| Angle ouvert ..... | 21,02 % | 33,71 % | 17,55 % |
| Angle très ouvert ..... | 0,92 % | 9,09 % | 1,62 % |

Les deux séries masculines offrent une assez grande ressemblance. La série féminine est complètement à part.

**6.** Hélène Kaufmann (Genève). – *Application de la méthode des profils graphiques à l'étude du crâne boschiman.*

L'étude de 64 crânes de Boschimans (35 masculins et 29 féminins) par la méthode des profils graphiques (Leroi-Gourhan 1947) permet de préciser certaines caractéristiques de cette population.

Seuls ont été utilisés ici les profils graphiques abrégés, basés sur l'examen des 8 diamètres suivants, en deux séries: I. Longueur: D. A. P.; hauteurs: face, orbite, nez. II. Largeurs: D. T., face, orbite, ouverture nasale.

Le graphique de fréquence donne pour formule à ces Boschimans: A. 333. 313. 311. Cette série est relativement homogène: $^2/_3$ des sujets ont en commun 9 caractères sur 10 examinés; et $^3/_4$ des sujets ont encore en commun 7 caractères sur 10. Les 7 caractères typiques sont: dolichocéphalie, euryénie, chamaeconquie, chamaerhinie; en outre, la face est basse par rapport à la longueur du crâne, l'orbite large par rapport à la face, l'ouverture nasale large par rapport à l'orbite.

La formule de la série se retrouve comme formule individuelle chez 10 crânes. Le seul caractère qui ne figure juste pas chez $^2/_3$ des sujets, c'est le rapport largeur face/largeur crâne. Chez 42 crânes la face est relativement plus étroite que le crâne, chez 20 elle est légèrement plus large. Pour ces derniers la formule devient: A. 333. 313. 111; c'est celle de trois sujets. Ainsi les deux formules de base: A. 333. 313. 311 et A. 333. 313. 111 se retrouvent chez 13 crânes, donc chez le cinquième des sujets: autre signe d'homogénéité.

Le crâne boschiman, tant masculin que féminin, est relativement de petite dimension. Sur les 8 diamètres examinés, la plupart sont couramment de dimensions inférieures à celles du crâne moyen (= normotype de Leroi-Gourhan); pour les crânes masculins, ce sont un, deux ou trois diamètres qui dépassent le normotype, rarement aucun, quatre ou cinq, jamais davantage; pour les crânes féminins, aucun, un ou deux. C'est le diamètre antéro-postérieur et la largeur d'ouverture nasale qui dépassent fréquemment le normotype.

Nous espérons, par cette méthode, pouvoir comparer, une fois, le crâne boschiman à d'autres types sud-africains.

Es haben noch gesprochen: Albert Böni und Friedrich Hautmann, Zürich; Georg Höltker, Fribourg; Ernst Rohrer, Bern.

## 11. Sektion für Medizinische Biologie

Sitzung der Schweizerischen Medizinisch-Biologischen Gesellschaft

**Samstag und Sonntag, den 26. und 27. August 1950**

*Präsident:* Prof. Dr. F. LEUTHARDT (Zürich)

**1.** ERNST HANHART (Zürich). – *Neue Forschungsergebnisse über die Vererbung des Diabetes mellitus sowie Anhaltspunkte für seine primäre Genese im Stammhirn.*

304 unausgelesene Stammbäume von Diabetikern jeden Alters und verschiedenster Rasse und 110 Sippentafeln gesunder Kontrollpersonen aus USA ergaben in Übereinstimmung mit Erfahrungen aus der Schweiz: starkes Vorwiegen des *einfach-rezessiven* Erbgangs einer *einheitlichen* Erbanlage für *infantilen, juvenilen* sowie *Altersdiabetes.* Diese klinischen Sonderformen sind demnach als Ausdruck verschiedener *Altersdispositionen* aufzufassen. Wegen unzulänglicher Laboratoriumsmethoden *(Glukosetoleranztest)* entstehen große Schwierigkeiten bei der Auszählung und statistischen Verarbeitung, da es heute noch unmöglich ist, heterozygote Erbträger von homozygoten i. e. potentiellen Diabetikern zu unterscheiden. Es muß daher auf die Auswertung der Erfahrungen über möglichst langlebige Sippen mit konjugalen Fällen abgestellt werden. Aus 35 Ehen diabetischer Partner berechnet sich die *Penetranz* des allem nach zugrunde liegenden einfach-rezessiven Erbfaktors auf 34 %. Sieben dieser Diabetikerehen beziehen sich auf nahe blutsverwandte Partner, so daß wenigstens dabei kaum mit *Heterogenie* i. e. genotypisch verschiedenem Ursprung zu rechnen ist. Für das Vorkommen von *Phänokopien* i. e. rein umweltlich verursachten Diabetesfällen, für die es in der Literatur auch nur zwei sichere Beispiele gibt, fanden sich keine Anhaltspunkte. Bei der *großen Diabetesfrequenz in USA* (nach *Joslin* gegen 2 %) sind dort über 30 Millionen rezessiver Heterozygoten anzunehmen und damit deren häufige Verbindungen mit Homozygoten, d. h. manifesten Diabetikern, so daß das Auftreten von Dm. in zwei und drei aufeinanderfolgenden Generationen ohne weiteres zu erwarten und als bloße *Pseudodominanz* zu betrachten ist. Das fast völlige Fehlen von Dm. in vier aufeinanderfolgenden Generationen spricht entschieden gegen eine häufigere Beteiligung dominanter Gene für Dm. Es bestehen zahlreiche erbbiologische Parallelen zwischen Dm. und Schizophrenie, insbesondere ist zu erwähnen, daß die *Manifestation* beider Affektionen durch das

Auftreten einer *Allergiebereitschaft* gehemmt zu werden scheint. Die über die Erbbiologie des Dm. bekannten Tatsachen sprechen für dessen primäre Abhängigkeit von einem zentralen Regulationszentrum, das den Angriffspunkt der Erbänderung (Mutation) bilden dürfte; dies umsomehr wegen des Umstands, daß es keine primäre, hereditäre Krankheiten der Hormondrüsen zu geben scheint.

**2.** Albert Böni und Albert Jung (Zürich). – *Die Ausscheidung von Harnsäure, Kreatin, Kreatinin und Chloriden bei der Rheumatherapie mit hohen Dosen von Testosteronpropionat, Cortison und anderen Hormonen und Medikamenten.*

Um den Wirkungsmechanismus verschiedener Steroide zu untersuchen, wählten wir als «Testobjekt» die primär chronische Polyarthritis (Rheumatoid Arthritis). Zur Anwendung in hohen bis sehr hohen Dosen gelangten: Testosteronpropionat, Pregnenolon und Pregnenolon-Derivate, ferner Cortison. Testosteron in sehr hohen Dosen (300–400 mg täglich) führte in der Mehrzahl der Fälle nach einiger Zeit zu einer erhöhten Kreatin-Ausscheidung. Nur bei einer einzigen weiblichen Patientin ging die Kreatin-Ausscheidung unter Weiterführung der Testosteron-Verabfolgung zurück. Drei Monate nach dem Aussetzen von Testosteronpropionat stieg die Kreatin-Ausscheidung sehr stark an, nach Verabreichung von Testosteronpropionat ging die Kreatin-Ausscheidung wieder zurück. Eine vermehrte Harnsäure-Ausscheidung fand nicht statt, hingegen trat häufig eine NaCl-Retention auf. Therapeutisch konnte bei einer Patientin eine mehrmonatige Besserung erzielt werden. Bei den Männern war der Erfolg gering. Pregnenolon und seine Derivate brachten keine Besserung des klinischen Zustandes. Nach hoher Dosierung trat häufig eine Kreatinurie auf, die jeweils prompt nach Absetzen des Präparates verschwand. Ebenso konnte häufig nach dem Absetzen des Präparates eine Besserung des klinischen Zustandes erreicht werden. Vielleicht wirkt Pregnenolon als «stress». Eine NaCl-Retention wurde fast immer gefunden. Bei der Verabfolgung von Cortison kann es zu Überdosierungserscheinungen kommen, die sich neben der klinischen Verschlechterung des Krankheitszustandes in einer Kreatinurie und einer Zunahme der Lymphozyten im Blute zeigt.

Verabfolgt man ein und demselben Patienten mehrmals Cortison, so können Überdosierungen schon bei relativ geringen Quantitäten auftreten.

Neben der starken Kreatin-Ausscheidung kommt es häufig auch zu einer über das physiologische Maß hinausgehenden Kreatininurie. Wir glauben deshalb, daß der sogenannte Thorn-Quotient Harnsäure: (Kreatin und) Kreatinin nicht ohne weiteres als Grundlage für eine vermehrte Harnsäure-Ausschwemmung angenommen werden kann, da die Kreatinin-Ausscheidung nicht konstant ist. Die Kreatin- und Kreatinin-Ausscheidung scheint bei einer Überdosierung von Steroiden stark vermehrt

zu sein. Bei unseren Fällen wurde die Harnsäure-Ausscheidung trotz der Anwendung der verschiedenen Steroide nicht beeinflußt. In zahlreichen Fällen trat eine Kochsalz-Retention auf.

**3.** Erich Katzenstein-Sutro (Zürich) und Alexander Cerny (Basel). – *Neue Gesichtspunkte zum Problem der paroxysmalen Lähmung.*

Die paroxysmale Lähmung (p. L.) besteht in einem mehr oder weniger plötzlichen Auftreten von schlaffen Paresen bis zur totalen Lähmung der Skelettmuskulatur, begleitet von einer Abschwächung bzw. totalem Verlust der Haut- und Sehnenreflexe sowie der mechanischen und elektrischen Erregbarkeit. Meist ausgenommen sind Schluck-Phonations-Kau-Muskulatur und Zwerchfell. Zudem ist die Darmfunktion, weniger die Miktion, eingeschränkt. Bei mittelschweren bis schweren Lähmungsanfällen ist auch die Herzmuskulatur beteiligt, wobei typische elektrokardiographisch faßbare Veränderungen zu finden sind. Serologisch geht dem Paroxysmus eine Erniedrigung des Serumkaliumspiegels parallel sowie ein weniger ausgeprägter Abfall des Blutkreatins und anorganischen Phosphors. P.-L.-Anfälle treten familiär und sporadisch auf, wobei in den davon befallenen Sippen häufig eine Kombination bzw. Häufung von Myopathien, besonders Dystrophia musculorum progressiva, Migräne, Epilepsie, Schwachsinn und Psychosen zu finden ist. Bei der von uns untersuchten Sippe besteht erstmals ein gemeinsames Vorkommen von p. L. und Morbus Raynaud.

Die sporadischen Fälle sind häufig mit endocrinen Störungen, besonders Hyperthyreosen, kombiniert. Vor allem aus Japan sind solche Fälle mitgeteilt worden, doch berichten in letzter Zeit auch amerikanische Autoren über derartige Kombinationen. Internistische oder chirurgische Behandlung der Hyperthyreose ist mit einer Heilung der p. L. verbunden.

Bei einer weitern Gruppe der sporadischen Fälle besteht ein deutlicher Zusammenhang des Auftretens von p.-L.-Anfällen mit hypophysären Störungen. Besonders instruktiv ist der Fall von Gelbart, der nur insofern sporadisch ist, als dort eine bis dahin trotz erblicher Belastung mit p. L. gesund gebliebene 60jährige Frau im Anschluß an das Auftreten hypophysärer Störungen (Polyurie, Durst, Hyperglykämie und Glykosurie) an schwersten p.-L.-Anfällen zu leiden begann. In andern Fällen stellten sich p.-L.-Anfälle im Anschluß bzw. in nicht genau abzuschätzender zeitlicher Abhängigkeit von tetanischen Symptomen ein. Auch sonst tritt häufig im Anschluß an p.-L.-Anfälle ein positiver Chvostek auf. In der letzten Zeit sind auch vereinzelte p.-L.-Anfälle im Verlaufe der Behandlung diabetischer Azidosen bekannt geworden. Amerikanische Autoren empfehlen daher bei allen Atemstörungen im Verlaufe diabetischer Comata die prophylaktische Darreichung von Kalium, das übrigens das einzige bisher bekannte sichere Mittel ist, um einen p.-L.-Anfall zu coupieren. Weitere Fälle von p.-L.-Anfällen sind infolge Kaliumspiegelsenkung im Verlaufe von Nephritiden bekannt geworden. Schließlich fällt auf, daß in jenen sporadischen Fällen, in denen keine

manifeste endokrine Störung in Kombination mit der p. L. gefunden wurde, die p. L. im Anschluß an Infektionskrankheiten, vor allem Encephalitis, Malaria, Scharlach und Pertussis aufgetreten ist.

Als auslösende Ursachen werden beim p.-L.-Anfall immer wieder drei Faktoren in einer charakteristischen Reihenfolge in den Vordergrund geschoben. Es sind dies: *Kohlehydratexzesse*, nach ungewohnt schwerer Arbeit, mit darauf folgender *Ruhe*, wobei Kälte und Durchnässung, sowie Aufregung in zweiter Linie, mitspielen. In Perioden regelmäßiger Arbeit hingegen, auch wenn diese recht anstrengend ist, doch ein Training besteht, kommt es bei den gleichen Patienten nicht zur p. L.

Nach den Ergebnissen der Untersuchungen an unserer Sippe sind wir geneigt, für die p. L. eine primäre Hypophysenstörung anzunehmen. Wir haben in unserer Sippe Sellabrücken sowie eine starke Unregelmäßigkeit in der Ausscheidung des Follikelreifungsfaktors sowie der Ketosteroide im Urin festgestellt. Doch sind unsere Untersuchungen noch nicht abgeschlossen. Die Hypophysenstörung manifestiert sich unseres Erachtens in der Nebenniere als nächstem Erfolgsorgan in Form einer Störung, die in einer Steigerung der Desoxycorticosteronwirkung besteht. Was das Serumkalium betrifft, dessen Verweilungsort während des Paroxysmus das Hauptinteresse im Schrifttum gilt, so glauben wir, in Anbetracht der Obstipation während des Anfalles und seiner Lösung nach Wiederingangtreten der Darmmotilität sowie aus Gründen, die näher auszuführen hier die Zeit fehlt, an eine Abwanderung in den Darm. Die Verschiedenartigkeit der Muskelbiopsiebefunde im p.-L.-Anfall dürfte dadurch zu erklären sein, daß lediglich das Serumkalium für den p.-L.-Anfall von Bedeutung ist. Es wurden nämlich auch p.-L.-Anfälle bei dazu Disponierten artifiziell durch Ausschwemmung des Kaliums im Urin, z. B. durch einen Wasserstoß, ausgelöst. Da Serumkaliumerniedrigungen ohne p.-L.-Anfälle in der Literatur bekannt sind, halten wir den p.-L.-Anfall nicht für ein Syndrom der Serumkaliumerniedrigung, sondern, wie gesagt, für die Folge einer primären hormonalen Störung.

**4.** Max Weber (Wohlen, Aarg.) und Ulrich A. Corti (Zürich). – *Vorversuche zur energetischen Analyse biodynamischer Phänomene auf erschütterungsmeßtechnischer Grundlage. Die Matrix der Fische. XII* [1].

In Fortsetzung unserer Bewegungsstudien an Regenbogenforellen, Salmo irideus W. Gibbs [2], wurden zunächst weitere Messungen zur Feststellung der maximalen Geschwindigkeiten und Beschleunigungen von Vertretern dieser Fischart durchgeführt. Die Forellen wurden einzeln in das durch die Abb. 1 veranschaulichte Aufnahmegerät eingesetzt und ihre Dislokation durch Zusatz von Ammoniumhydroxyd zum Aufent-

---

[1] XI. Mitt. im Druck, C. R. XI[e] Congr. Assoc. int. de Limnologie théorique et appliquée en Belgique, 1950.

[2] U. A. Corti, M. Weber: Verh. S.N.G., Lausanne, 1949, S. 159—161.

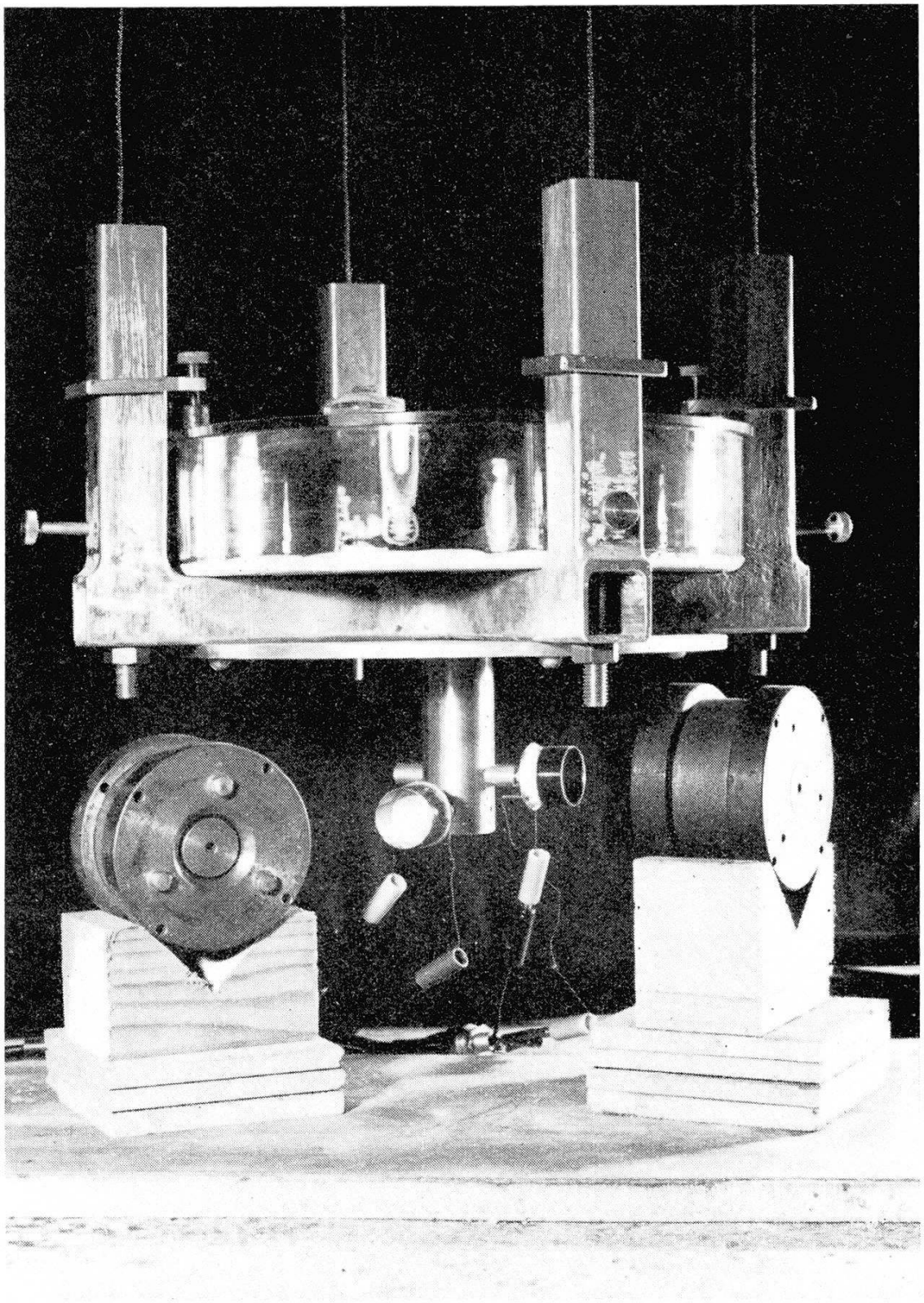


Abb. 1

Eine Kristallisierschale von zirka 25 cm Durchmesser, die als Fischbassin dient und nach vollständiger Füllung mit Wasser und Einsetzen des Fisches mit einer Glasplatte bedeckt wird, ist auf einem Träger an vier Drahtlitzen aufgehängt. Das Bassin wird seitlich an den Träger festgeschraubt, der unter 90° in der $x$- und $y$-Richtung je eine Tauchspule trägt. Jede Tauchspule spielt im Felde eines permanenten Magneten (links gegen den Beschauer gedreht, rechts annähernd in der zur Messung dienenden Stellung).

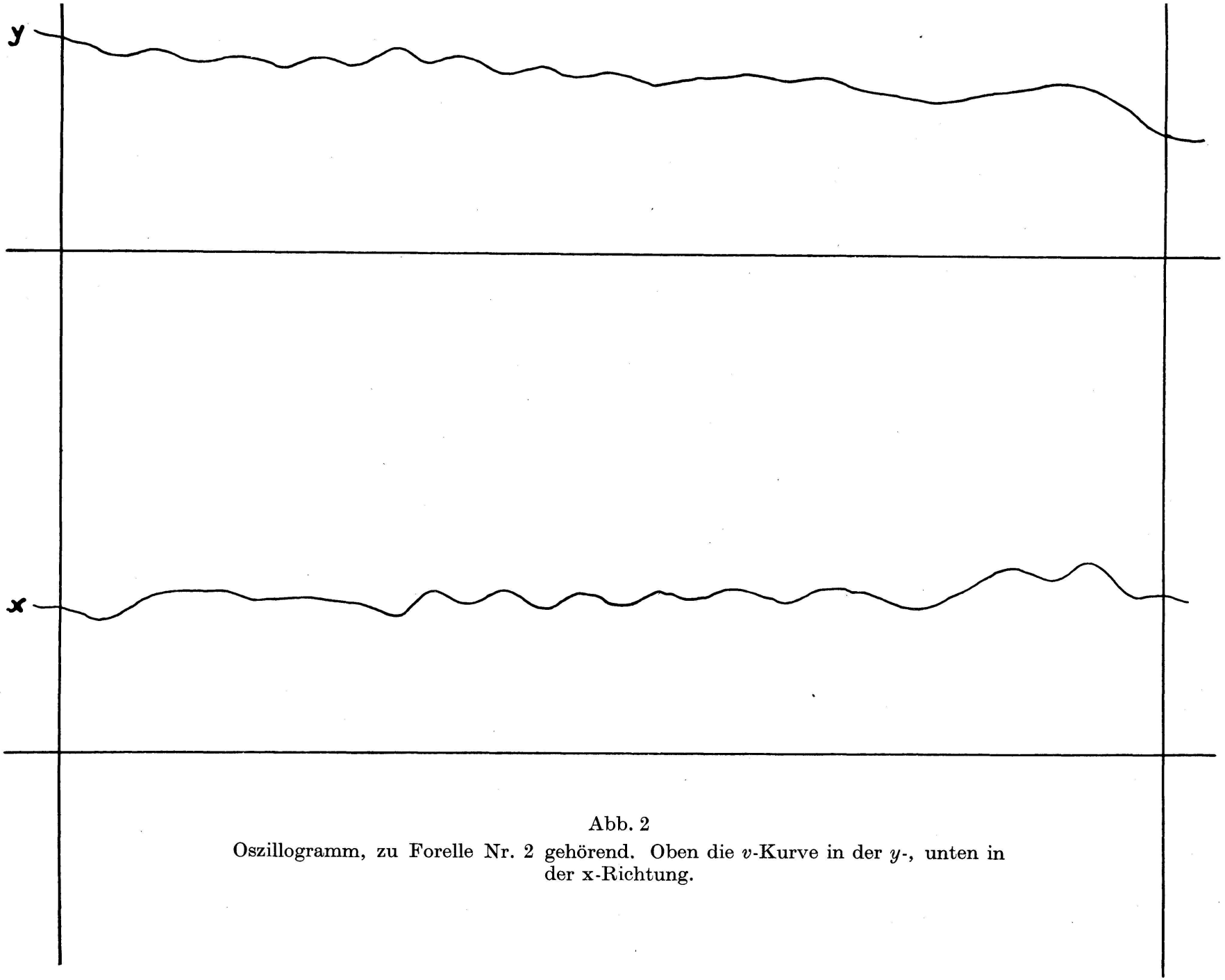



Abb. 2
Oszillogramm, zu Forelle Nr. 2 gehörend. Oben die $v$-Kurve in der $y$-, unten in der x-Richtung.

haltsmedium erzwungen. Die durch die Bewegungen des Fisches hervorgerufenen Erschütterungen (Geschwindigkeiten) des Aquariums wurden erschütterungsmeßtechnisch bzw. oszillographisch registriert (Abb. 2). Im gleichen Zeitintervall wurden die Bewegungen des betreffenden Fisches auch mit der Zeitlupe aufgenommen (Abb. 3) und anhand des Filmes der von der Forelle im Bassin zurückgelegte Weg punktweise herausgezeichnet (vgl. Abb. 4). Die Wegkurve wurde zweimal differenziert, um die Werte für die Geschwindigkeiten und die Beschleunigungen zu bekommen. Es wurden nachstehende Ergebnisse erhalten:

| Nr. | Forelle | | | | $v_{max.}$ cm/sec | $b_{max.}$ cm/sec² |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Gewicht g | Alter * Tage | Länge ** cm | Max. Höhe cm | | |
| 1 | 10,0 | 697 | 10,0 | 2,0 | 96,8 | 44,1 |
| 2 | 12,7 | 711 | 9,8 | 2,4 | 93,6 | 50,1 |
| 3 | ca. 10,0 | 711 | ca. 10,0 | ca. 2,0 | 147,2 | 81,6 |

* ab Schlüpfdatum
** gemessen von der Maulspitze bis zum Ende des beschuppten Körpers

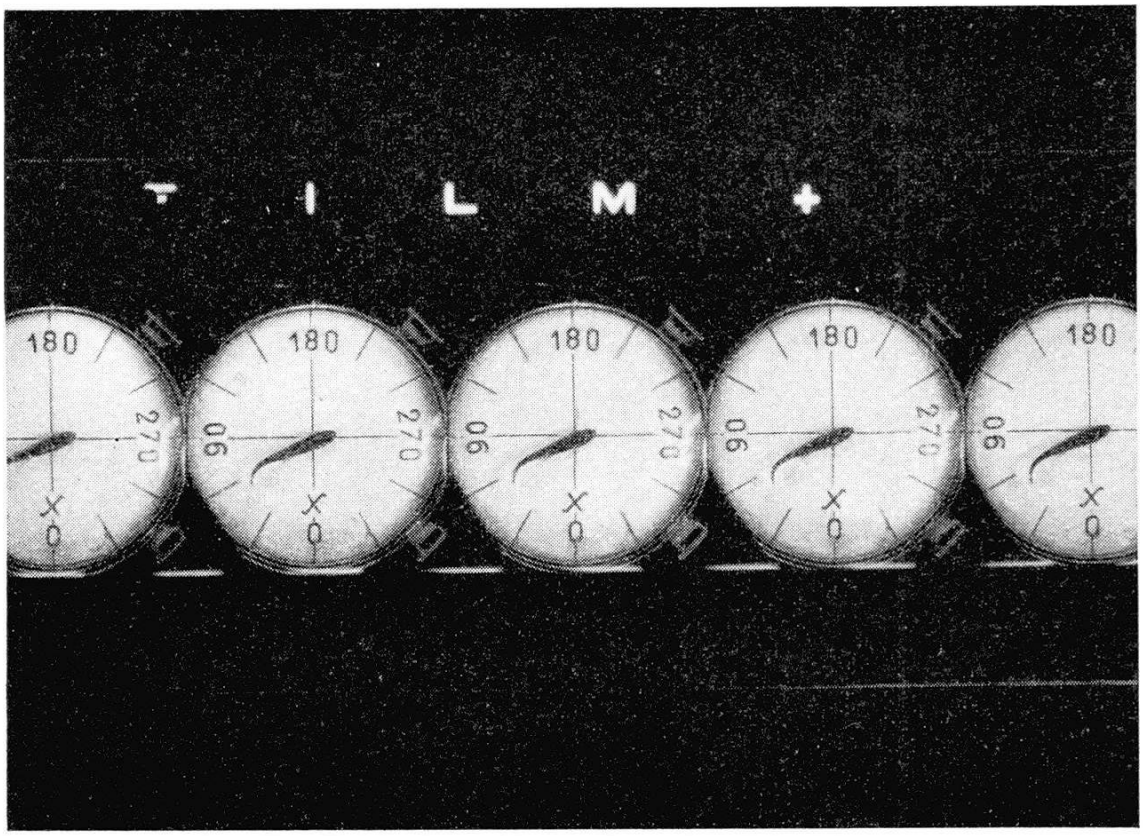



Abb. 3

Ausschnitt aus dem Zeitlupenfilm. Die hellen Linien am untern Rande rühren von einer Zeitmarkierung (1000 Hz) her.

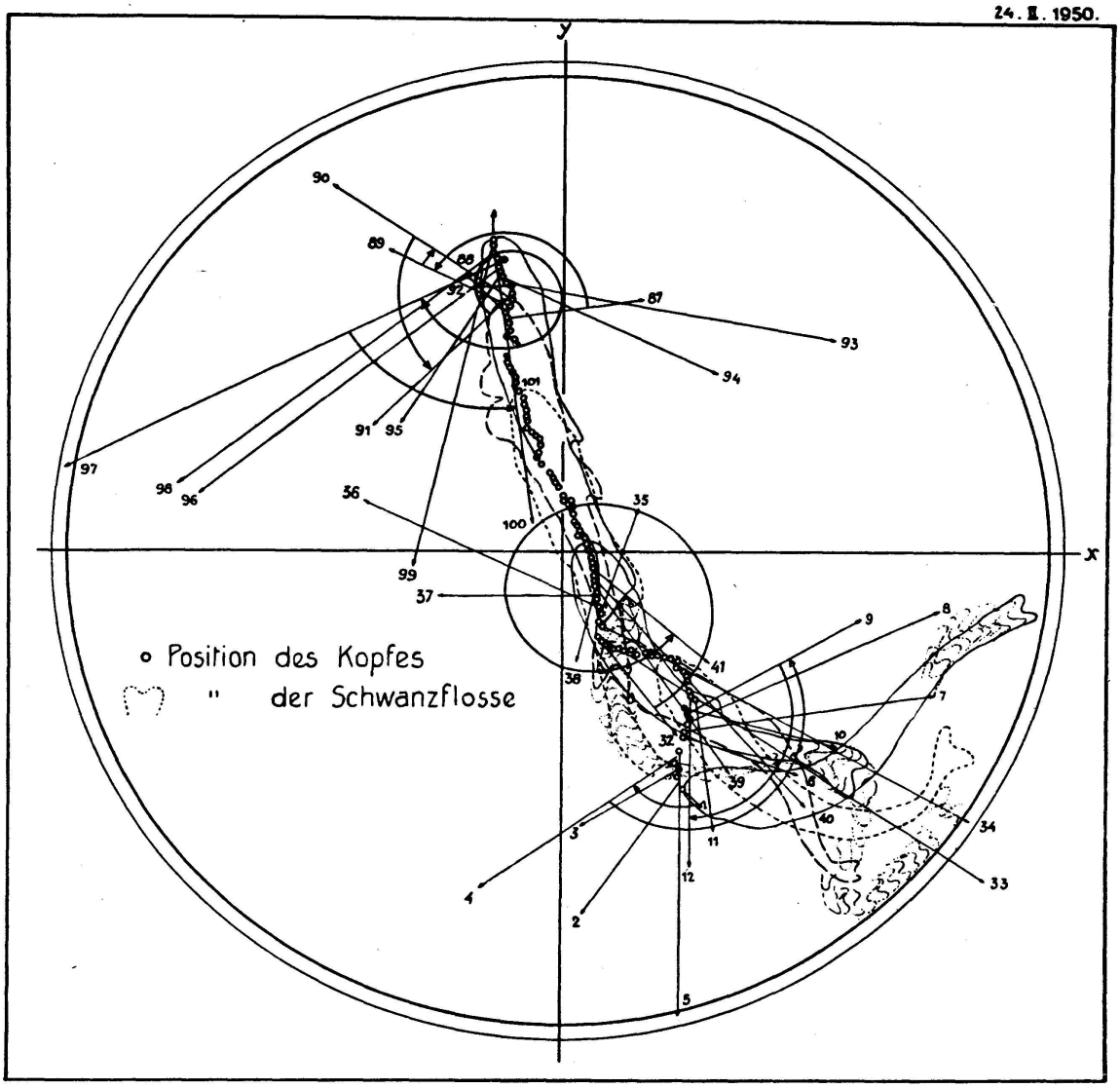



Abb. 4

Wegbild der Forelle Nr. 2, aus Zeitlupenaufnahmen gewonnen, kombiniert mit einigen Kraftvektorgruppen, die durch Differenzierung der $v$-Kurven (Abb. 2) erhalten wurden.

Anderseits wurden die auf oszillographischem Wege in der $x$- und $y$-Achse gewonnenen, mit den Kinoaufnahmen zeitlich korrespondierenden Geschwindigkeitskurven (Abb. 2) mit Hilfe der Slabyschen Methode[1] differenziert. Die auf diese Weise erhaltenen $x$-und $y$-Komponenten der Beschleunigungen wurden einzeln auf das mit der Zeitlupe gewonnene Wegbild des Fisches übertragen und hierauf die Resultierenden der $b_x$- und $b_y$-Komponenten in Funktion der Zeit einge-

[1] R. Slaby, ZS. d. Verh. d. Ing. *58* 821 (1913); O. Prölß: Graphisches Rechnen S. 102; Runge-Willers, Enzyklopädie d. Math. Wissenschaft, Bd. II C2, S. 139. Da uns neuerdings Vorrichtungen zur elektronischen Differenzierung der $v$-Kurve zur Verfügung stehen, kann die Genauigkeit der Messungen noch erhöht werden.

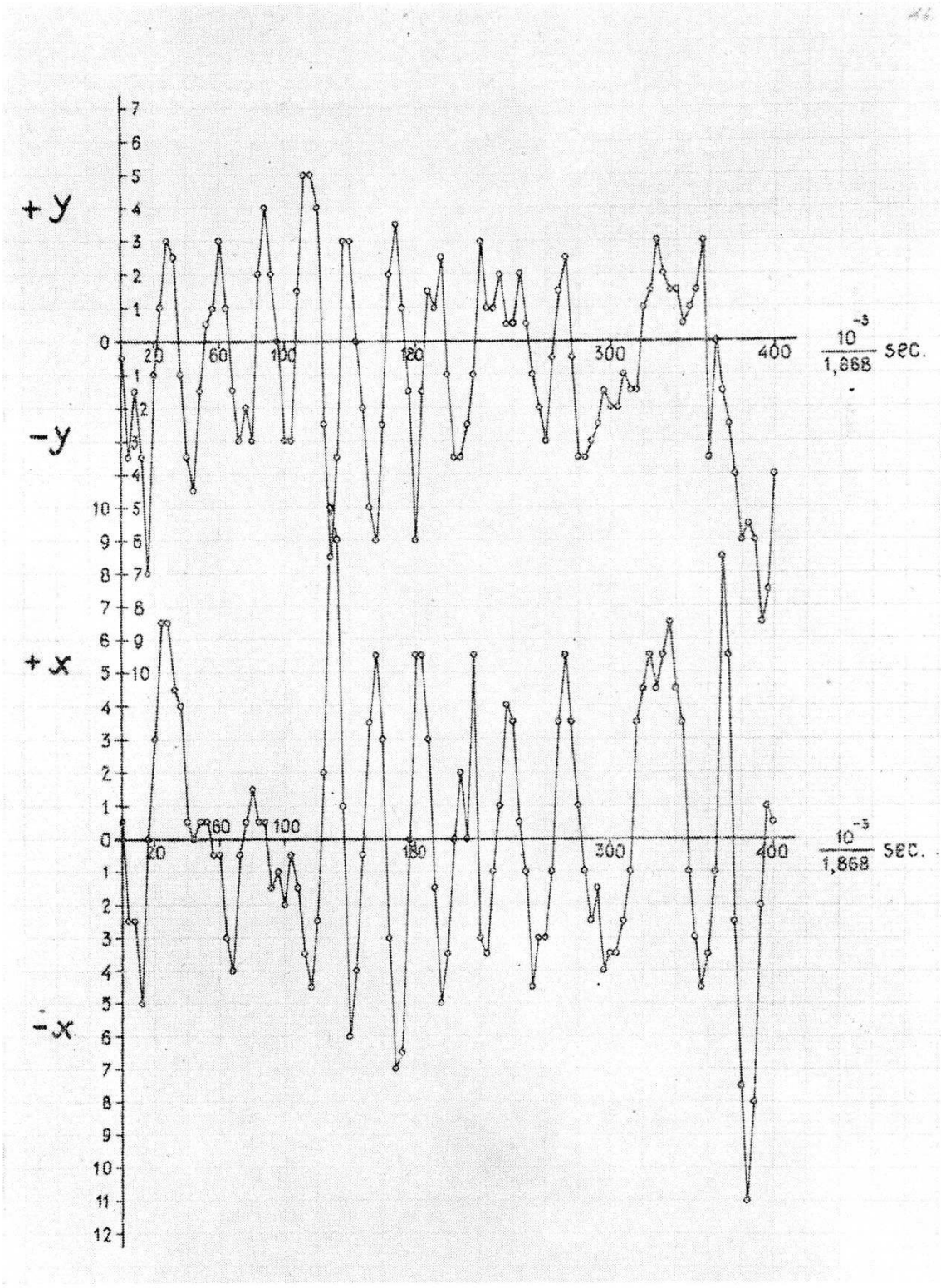



Abb. 5
Diagramm der $b_x$- und $b_y$-Komponenten in Funktion der Zeit.

zeichnet. Da diese Resultierenden die vom Fisch bzw. vom Bassin ausgehenden Kraftrichtungen angeben und da die Beträge der Beschleunigungen, multipliziert mit der (als konstant angenommenen) Masse des Fischbassins den einzelnen Kräften (in Dyn) proportional sind, resultiert aus den vorgenommenen Operationen das Kraftvektorfeld der dislozierenden Forelle (Abb. 4). In dieser Abbildung sind nur einige wenige Kraftvektorgruppen eingezeichnet worden. Man erkennt deutlich den den Körper- bzw. Schwanzbewegungen entsprechenden Wechsel der Kräfte bzw. Kraftrichtungen. Die analysierte Bewegungsphase (Abb. 2) spielte sich innert 0,212 sec ab. – Abb. 5 gibt die durch Differenzierung der $v$-Kurven ermittelten $b_x$- und $b_y$-Komponenten in Funktion der Zeit wieder.

Mittels einer kalorimetrischen Bombe wurde sodann der obere Heizwert von sorgfältig getrocknetem, genau 1,0 % Feuchtigkeit enthaltendem Regenbogenforellen-Muskelfleisch zu 5640 kcal/kg bestimmt. Daraus errechnet sich für 1 g Muskelsubstanz ein Energiewert von $2{,}36 \cdot 10^{11}$ Erg. Bei einer maximalen Geschwindigkeit der dislozierenden Forelle (10 g) von 150 cm/sec ist ihr Energiewert $1{,}13 \cdot 10^5$ Erg, entsprechend $0{,}479 \cdot 10^{-3}$ mg Muskel-Trockensubstanz. Wenn also der Fisch aus der Ruhe heraus auf eine Geschwindigkeit von 150 cm/sec gelangt, so ist seine kinetische Energie $1{,}13 \cdot 10^5$ Erg; entsprechend diesem Vorgange müßten mindestens $0{,}479 \cdot 10^{-3}$ mg Muskel-Trockensubstanz verbrannt werden.

Die hier beschriebenen Versuche dienen zur Orientierung für die von uns vorgesehenen Experimente an Menschen.

**5.** Hans Storck (Zürich). – *Zur Pathogenese der Purpura*

Die hämorrhagischen Diathesen, die sich auf der Haut als Purpura manifestieren, werden allgemein in Diathesen mit nachweislichen Gerinnungsstörungen im Blut, mit Störungen der Thrombocyten und in solche rein vaskulärer Art eingeteilt. Währenddem die ersten zwei Formen pathogenetisch zum Teil schon weitgehend geklärt sind, so daß oft ätiologisch gerichtete Therapie getrieben werden kann, ist die rein vaskuläre Form meist noch ungeklärt, abgesehen z. B. von den Fällen mit Gefäßschädigung bei Skorbut oder nach Benzolintoxikation. Der Vortragende berichtet daher über drei Fälle von Purpura rheumatica, bei welchen die Hautblutungen ohne Gerinnungsstörungen oder Veränderungen der Thrombocyten als allergische Reaktion auf Bakterienfiltrate aufzufassen sind. In allen drei Fällen fand sich auf intracutane Injektion von polyvalenten Staphylococcus aureus- und auch Streptococcus haemolyticus-Filtraten hämorrhagische Reaktion. Diese hämorrhagische Komponente fehlte mit anderen Filtraten, so auch mit Tuberkulin. Hautaktive Staphylokokken konnten in einem Fall tatsächlich aus einer sekundär infizierten Monaldihöhle, in einem andern Fall aus dem Bronchiektasensekret isoliert werden. Ex juvantibus sprach der

Therapieerfolg mit Antibiotica für die pathogenetische Bedeutung der genannten Keime. In zwei daraufhin untersuchten Fällen ergab die histologische Untersuchung der spontanen Purpura-Effloreszenzen und der hämorrhagischen Intracutanreaktionen auf die aktiven Bakterienfiltrate fast identische Bilder, nämlich dichte perivaskuläre Leukocytenemigration mit ausgesprochener Leukoklasie, ferner Ödem, Endothelschwellung und fibrinoide Degeneration des Bindegewebes.

Ein Teil der rein vaskulären Purpura kann also als allergische Reaktion auf Bakterien-Stoffwechselprodukte aufgefaßt werden. Ob diese Reaktion zur anaphylaktischen oder zur infektionsallergischen Überempfindlichkeit, eventuell sogar zum Shwartzman-Phänomen gehört, wird noch weiter tierexperimentell untersucht.

**6.** Udo Pfändler (La Chaux-de-Fonds) et Pierre Cottet (Neuchâtel). – *Une dysplasie osseuse et unguéale héréditaire. Démonstration d'un linkage de facteurs.*

Nous avons examiné 51 membres d'une souche originaire de Sugnens (Vaud). Quinze de ces éléments présentent une dysplasie osseuse et unguéale héréditaire. Les anomalies squelettiques se limitent en général aux manifestations suivantes: Hypoplasie des rotules qui peuvent être bipartites ou multipartites, luxées ou subluxées. Forme anormale des genoux et du bassin, appositions osseuses sur les os du bassin. Tête du fémur déformée et épaississement de la corticale interne. Formation dans les fosses iliaques, de protubérances osseuses massives que nous appelons «cornes iliaques». A ces anomalies osseuses s'associe une dysplasie unguéale avec atteinte prépondérante ou exclusive du pouce. Toutes ces anomalies semblent être conditionnées par un seul gène à effet pléiotrope. Elles se transmettent par voie dominante régulière.

Dans le but de rechercher un linkage éventuel du gène conditionnant ces anomalies, avec d'autres facteurs héréditaires, nous avons procédé chez tous les éléments de la souche à la recherche de 16 marqueurs de chromosomes différents. A l'aide de la *sib-pair method* que *Penrose* exposa en 1935, et par l'application de la méthode dite du $X^2$, nous avons obtenu des valeurs significatives parlant en faveur d'un linkage probable entre les trois facteurs suivants:

association: dysplasie – teinte des cheveux ($X^2 = 6{,}516$)
association: dysplasie – antigène N ($X^2 = 5{,}497$)
association: teinte des cheveux – antigène N ($X^2 = 5{,}856$).

Aucun des éléments de la souche, à l'exclusion des exogames, ne renferme le facteur sanguin B. Comment expliquer ce fait? – Sachant que la fréquence du facteur B est de 11 à 16 % dans la population en général, nous pouvons aussi traiter les groupes sanguins par la méthode du $X^2$ en utilisant une formule différente de la première. Si B = 16 %, $X^2 = 6{,}714$, c'est-à-dire significatif. Mais si B = 11 %, $X^2 = 3{,}708$, c'est-

à-dire juste en dessous du seuil de signification. Cela veut dire que le fait de ne pas trouver de facteur B dans la souche, ne doit pas nécessairement être mis en corrélation avec un phénomène biologique. Il peut s'agir d'une erreur imputable au petit nombre. Il n'y a pas de linkage entre le gène de la dysplasie et l'antigène *A* ($X^2 = 0{,}074$).

En multipliant des recherches de ce genre, nous arriverons à construire, pour l'espèce humaine, des cartes chromosomiques de plus en plus détaillées.[1]

**7.** Erwin Ott (Stuttgart). – *Die Erwerbung der Disposition zur Zahnkaries eine Folge einer C-Avitaminose.*

Auf Grund langjähriger Statistiken hat man geglaubt, die Disposition zur Zahnkaries als Erbanlage ansehen zu müssen. Im Lauf von Beobachtungen, die ich seit 14 Jahren an sechs eigenen Kindern gemacht habe, konnte ich den experimentellen Nachweis erbringen, daß die Erwerbung der Disposition stets als Folge einer C-Avitaminose stattfindet und nach Verlauf von etwa zwei Jahren zum Ausbruch der Karies führt. Die Erwerbung der Disposition kann nach besonders deutlichen Beobachtungen bereits im befruchteten Ei durch eine C-Avitaminose der werdenden Mutter erfolgen und führt dann im dritten Lebensjahr des Kindes zum schlagartigen Ausbruch der Zahnkaries über das ganze Gebiß. Diese Möglichkeit der Früherwerbung hat sehr stark zu dem Trugschluß beigetragen, die Disposition als erblich anzusehen. Es wurde bei den beiden ältesten Kindern infolge sicher nachgewiesener C-Avitaminose der Mutter während der Erwartung der Kinder im ersten Fall der präskorbutische Zustand direkt nach der Geburt beobachtet und durch hohe Vitamin-C-Gaben in sehr kurzer Zeit völlig ausgeheilt. Bei beiden Kindern aber zeigte sich die Erwerbung der Disposition im dritten Lebensjahr durch die schlagartig über das ganze Gebiß auftretende Zahnkaries.

Nach völliger Ausheilung des Skorbuts der Mutter blieben die vier jüngeren Kinder, die alle von der Empfängnis an reichlich mit Vitamin C und glycerinphosphorsaurem Kalk versorgt wurden, völlig frei von der Disposition, so daß der sichere Nachweis erbracht ist, daß die Disposition zur Zahnkaries keine erbliche, sondern eine durch C-Avitaminose erworbene Eigenschaft ist.

Die Disposition wird aber auch bei älteren Kindern durch C-Avitaminose erworben; ihrer Erwerbung kann durch sorgfältige Vermeidung einer solchen von der Empfängnis an mit Sicherheit vorgebeugt werden.

Die experimentellen Beobachtungen sind in der Schrift: «Über die Ursachen und die wirksame Bekämpfung der Disposition zur Zahnkaries» (16 S., Stuttgart 1949, Selbstverlag) beschrieben worden.

---

[1] Paraîtra in extenso dans Radiologia clinica.

**8.** Oscar A.-M. Wyss (Genève). – *Eléments physiologiques de l'électroencéphalogramme.*

L'électroencéphalographie, méthode spécialisée de l'investigation clinique, est basée sur une analyse descriptive détaillée et une interprétation purement empirique des variations électriques d'origine cérébrale et de leurs manifestations pathologiques. La réalité de ces phénomènes bioélectriques et leur valeur pratique sont aujourd'hui hors de discussion. Mais sur la nature et le mécanisme neurophysiologique de ces variations apparemment spontanées et de certains effets provoqués, les physiologistes ne sont guère du même avis.

Tout en admettant que ces activités rythmiques proviennent de la substance grise, c'est-à-dire des cellules nerveuses, les uns les considèrent comme le résultat électrographique d'une superposition de courants d'action, à savoir l'enveloppe d'une fusion d'influx nerveux, les autres y voient des variations lentes de courants de repos, soit de polarisation cellulaire. Dans l'un et l'autre cas, les trois principes suivants doivent être observés: 1. La source de la force électromotrice est constituée par la séparation, des deux côtés de la membrane du soma neuronique, des dendrites et de l'axone, d'un volume conducteur intérieur (intracellulaire) et d'un volume conducteur extérieur (extracellulaire). 2. Chaque unité neuronique crée un champ électrique élémentaire, dont l'orientation est déterminée par la structure morphologique du neurone; de nombreux éléments identiques sont disposés selon un plan géométrique permettant l'extériorisation d'un champ électrique commun, grâce à la structure histologique de la substance grise (écorce cérébrale; noyaux gris) et ses rapports avec la substance blanche. 3. Seule, une synchronisation entre les activités individuelles de nombreux éléments semblables peut expliquer les courants relativement forts que produisent certains centres nerveux.

Quant à l'origine des rythmes cérébraux, deux tentatives d'explication neurophysiologique s'opposent sur le plan d'une conception plus générale. Il s'agirait d'une part d'activité provoquée, en particulier de caractère synaptique, et dépendant en principe d'afférences nerveuses; il s'agirait, d'autre part, d'une activité autonome, d'une autorythmicité des cellules nerveuses inhérente à leur propre métabolisme.

A la lumière des observations faites par de nombreux auteurs au sujet du potentiel synaptique comme variation électrique lente de la cellule nerveuse, sur des phénomènes de synchronisation et d'hypersynchronisation, qui ne s'expliquent que par une induction physiologique au moyen de champs électriques étendus, et l'influence du milieu ionique sur la fréquence et la synchronisation de l'activité électrique des centres nerveux, on arrive à la conclusion que l'élément essentiel, responsable en dernière instance, des rythmes de l'électroencéphalogramme est la variation périodique, d'ordre métabolique et de nature spontanée, des cellules nerveuses.

**9.** Rudolf Hess (Zürich). – *Die Anwendung der Elektroencephalographie in der Neurologie.*

Die klinische Elektroencephalographie basiert noch immer größtenteils auf reiner Empirie. Die Hauptanwendungsgebiete sind die Epilepsien und die groborganischen Läsionen. Die Methode erlaubt auch in klinisch stummen Hirngebieten Herdbefunde aufzudecken. Bei der Epilepsie kann man im Interval zwischen den Anfällen oder Äquivalenten deren hirnelektrische Korrelate registrieren. Es handelt sich um pathologisch gesteigerte Aktivität der Ganglienzellen, welche sich auf das gesunde Cortexgewebe ausbreiten und zu subklinischen oder klinischen, fokalen oder generalisierten Anfällen führen kann. Form und Verteilung dieser «Krampfströme» erlauben einerseits die sichere Diagnose gewisser Arten der idiopathischen Epilepsie, anderseits fokaler Formen, auch wenn sie anamnestisch-klinisch nicht als solche erkennbar sind. Diese Fälle bedürfen der weiteren Abklärung durch die Luftencephalographie, vor allem wegen der Möglichkeit eines raumfordernden Prozesses. Bei anderer Ätiologie ist die chirurgische Therapie nur selten indiziert, dann aber spielt die Ableitung vom freigelegten Cortex (ECG) eine große Rolle. Relativ häufig ist das EEG im Anfallsintervall auch normal. Dann führen verschiedene Methoden der Aktivierung oft zum Erfolg (Hyperventilation, photische Stimulation, Cardiazol i. v., physiologischer und medikamentöser Schlaf).

Nicht epileptogene lokalisierte Läsionen äußern sich durch hohe, langsame Wellen an entsprechender Stelle. Die Ätiologie (Tumor, traumatische oder vasculäre Läsion, meningo-cerebrale Narbe, lokale Entzündung usw.) kann aus dem EEG allein nicht sicher erkannt werden. Seltener zeigt eine umschriebene Verminderung der hirnelektrischen Aktivität einen lokalen Funktionsausfall der Hirnrinde an (z. B. Cortexdefekt, subdurales Hämatom, oberflächliches Meningeom usw.). Bei generalisierten Hirnschädigungen, wie Intoxikationen, Encephalitis, diffusen oder disseminierten Affektionen usw., treten ubiquitäre, langsame Wellen auf. Dieser Befund ist unspezifisch und hat nur diagnostischen Wert, wenn er stark ausgeprägt ist. Leichtere, generalisierte Abnormalitäten kommen in allen möglichen pathologischen Zuständen und auch bei Normalen vor.

Die Elektroencephalographie ist eine Hilfsmethode, die nicht für sich allein verwendet werden soll. Nur in engem Zusammenhang mit der Klinik erhält sie ihren vollen Wert. Dann aber ist sie häufig von großer Bedeutung, bei den Epilepsien sogar von ausschlaggebendem Wert.

**10.** Maurice Remy (Waldau-Bern). – *Über die Anwendung der Elektroencephalographie in der Psychiatrie.*

Die EEG gibt uns vor allem Aufschluß über organische Prozesse, wie Tumoren, posttraumatische Störungen, Epilepsien und ebenso über Störungen, die mit einem Bewußtseinsverlust verbunden sind. Diese Zu-

stände gehören sowohl der Neurologie wie der Psychiatrie an. Sie in einem solchen Referat zu ignorieren, würde deshalb ein ganz falsches Bild von den Möglichkeiten der Anwendung der EEG in der Psychiatrie geben. Da sie aber bereits in den vorhergehenden Referaten behandelt worden sind, haben wir absichtlich davon abgesehen, sie noch einmal zu besprechen. Selbst nach Ausschließung der reinen organischen Zustände sind in der Psychiatrie wichtige Probleme vorhanden, die durch die EEG-Methode untersucht werden können, so z. B. das wichtigste Phänomen: die Individualität der EEG-Abläufe. Tatsächlich gleicht kein EEG dem andern, und schon das allein ist für uns interessant. Nach unsern Erfahrungen scheint zwischen der Form der Kurve in der parietooccipitalen Gegend und der Grundpersönlichkeit eines Menschen ein Zusammenhang zu bestehen. Aktive, extratensive Personen haben ein modulierteres EEG als passive, antriebslose Menschen, bei denen die Abläufe wenig differenziert, öfters flach oder zu regelmäßig sind. Es handelt sich dabei nicht um Unterschiede, welche mit Störungen der intellektuellen Fähigkeiten zusammenhängen. Die Untersuchung der Maturationsprozesse beim Kind ist in dieser Beziehung äußerst interessant. Psychopathische Tendenzen wie Infantilismus, Passivität, Reizbarkeit, Unausgeglichenheit haben sehr oft ihren Ausdruck in der EEG-Kurve. Die Schizophrenie selbst zeigt sich nicht durch typische Zeichen im EEG, sondern durch Affektregungen wie Unruhe und Angst, die sehr gut auf einer EEG-Kurve erkannt werden. Das Verhältnis der Alpha- und Beta-Wellen ist meistens bezeichnend für die Beurteilung der Stimmungslage eines Exploranden, welches sich u. a. bei Versuchen mit Meskalin zeigt. Bewußtseinstrübungen können ebenfalls im EEG verfolgt und die organischen Störungen von den hysterischen Dämmerzuständen unterschieden werden.

Durch tägliche EEG-Untersuchungen von psychiatrischen Fällen gewinnt man den Eindruck, daß die Methode uns mehr bieten kann, als sie es bis jetzt tat. Wir sind aber einerseits durch die Primitivität der EEG-Methode und anderseits durch die Subjektivität der psychiatrischen Untersuchungsmethode eingeschränkt. Möglicherweise wird es mit der Zeit gelingen, durch die vielversprechende EEG-Methode noch aufschlußreichere und weniger subjektive Resultate für die Psychiatrie zu erreichen.

## 12. Sektion für Geschichte der Medizin und der Naturwissenschaften

Sitzung der Schweizerischen Medizinisch-Biologischen Gesellschaft

**Samstag und Sonntag, den 26. und 27. August 1950**

*Präsident:* Prof. Dr. W. H. Schopfer (Bern)
*Sekretär:* Prof. Dr. H. Fischer (Zürich)

**1.** Hubert Erhard (Adelholzen, Bayern, Deutschland). – *Kant und die Schwalben.*

Nach *Wasianski* habe *Kant* erzählt: In einem regenreichen, an Fliegen armen Sommer habe er beobachtet, wie Schwalben einige Junge aus dem Nest geworfen hätten, um dadurch die übrigen am Leben zu erhalten. Dies habe *Kant* mit tiefer Ehrfurcht erfüllt. – Verfasser beobachtete im regenreichen Sommer 1948, wie Rauchschwalben *alle* Jungen noch lebend aus dem Nest warfen. Das widerspricht dem sonstigen Fürsorgeinstinkt der Vögel für die Jungen. – So prinzipiell verschieden es vom Standpunkt der Naturwissenschaft ist, ob die Schwalben ihre ganze oder nur einen Teil ihrer Brut dem Tode weihten, so ist dies für *Kants* Stellung zur Teleologie gleich gültig, denn beides übersteige das menschliche Fassungsvermögen. Dem Verhalten der Schwalben lag nach *Kant* weder eigene Einsicht zugrunde noch «ein dem menschlichen Verstand ähnlicher Geist», sondern «ein anderer möglicher... unsere Fassungskraft übersteigender Verstand». Ihm hat *Kant* seine Verehrung dargebracht.

**2.** Eduard Fueter (Wädenswil). – *Das Geistesleben der freien Reichsstädte Deutschlands und die Naturforschung der Schweiz im 17. und 18. Jahrhundert.*

Schon oft wurde auf die große Bedeutung Frankreichs, vor allem Hollands und Englands für die Entwicklung des Geisteslebens in der reformierten Schweiz des 17. und 18. Jahrhunderts hingewiesen. Selten fand aber bisher die fruchtbare Verknüpfung mit den freien Reichsstädten, vor allem Süddeutschlands, Beachtung. Seit 1580 (Konkordienbuch) bis über die Mitte des 17. Jahrhunderts waren die Beziehungen freilich weitgehend unterbunden infolge des Gegensatzes zwischen Lutheranern und Reformierten. Als aber nach dem Dreißigjährigen Krieg vermehrte Toleranz auftrat und die Aufhebung des Edikts von Nantes

1685 alle Protestanten gleicherweise erschütterte sowie Holland und England vorübergehend im Kriegszustand waren, kamen neue Verbindungen zustande.

Bedeutungsvoll wurde die Mitgliedschaft zahlreicher Schweizer Gelehrter in der kaiserlich-leopoldinischen Akademie der Naturforscher, die sich vornehmlich auf das Geistesleben süddeutscher Reichsstätte stützte, und der Studienaufenthalt *Johann Jakob Scheuchzers* 1692 an der Universität Altdorf im nürnbergischen Gebiet. Dort erhielt er Ermunterung zu seinen Arbeiten über die Versteinerungen und wurde vom «Wiederhersteller der Naturwissenschaften in Deutschland», *Johann Christoph Sturm*, in Bann gezogen. Die 1701 in Zürich erschienene «Physica oder Natur-Wissenschaft» war in ihrem ersten Teil weitgehend eine deutschsprachige Ausgabe von Sturms «Physica hypothetica» (1697) unter Erweiterung auf das organische Naturreich im zweiten Teil. Während das noch 6 Jahre zuvor in neuer Auflage veröffentlichte «Compendium Physicae Aristotelico-Cartesianae» (Amsterdam 1695) von *J. H. Schweizer* ganz der kartesianischen Scholastik angehörte, bedeutete *Scheuchzers* Werk in Zürich den Beginn moderner Naturbetrachtung in eklektizistischer Art auf dem Gebiete der Experimentalphysik. Ein vortreffliches Lehrbuch der Naturwissenschaften in deutscher Sprache und für jene Zeit trotz offensichtlicher Schwächen und unzureichendem mathematischem Rüstzeug bildete die zweite, 1711 erschienene, *Leibniz* und *Johann I Bernoulli* gewidmete Auflage, welche die Optik von *Newton* und die Schwingungslehre von *Huyghens* berücksichtigte. – Durch das Zusammenwirken Scheuchzers mit den berühmten Kupferstechern Augsburgs und Nürnbergs kam das Monumentalwerk der natürlichen Offenbarung, die «Physica sacra» (4 Bde., Augsburg 1731–1735), zustande.

Das Wirken des spezialisierten Instrumentenmachers *Georg Friedrich Brander* (1713–1783), Mechanicus in Augsburg, führte zu verbesserten Thermometern und Barometern von *Micheli* sowie zu vorzüglichen Anfertigungen oder technischen Verbesserungen der vom Mulhusino-Helveticus *J. H. Lambert* entworfenen hydrostatischen Waagen, Hygrometer usf.

**3.** Charles Lichtenthaeler (Leysin). – *Les Hippocratiques et l'héritage présocratique. – La science, la philosophie et la théologie dans le Corpus hippocraticum.*

Les historiens de la médecine parlent généralement trop peu des Présocratiques. L'affirmation de Celse, qu'Hippocrate a séparé la médecine de la philosophie en est-elle la cause ? C'est possible. En revanche, il est certain que cette proposition est mal formulée, pour ne pas dire fausse.

1. Les Présocratiques n'ont pas été seulement des philosophes, mais aussi des scientifiques dont les Hippocratiques se sont beaucoup

inspirés. On peut considérer la doctrine hippocratique comme un prolongement de l'œuvre scientifique des Présocratiques.

2. Les Présocratiques n'ont pas été seulement des philosophes, mais aussi les auteurs de systèmes philosophiques et cosmologiques. C'est de ces systèmes que les Hippocratiques authentiques ont séparé la médecine.

3. Inversement, les Hippocratiques n'ont pas été seulement des médecins, des scientifiques, mais aussi des philosophes, après les Présocratiques. Le Corpus hippocraticum renferme l'ébauche d'une métaphysique et d'une méthodologie. Il existe une méthode *hippocratique* de raisonnement, différente du raisonnement expérimental et complémentaire.

4. Enfin, il faut élargir le débat et reconnaître que les Hippocratiques n'ont pas été seulement des scientifiques et des philosophes, mais des théologiens, comme les Présocratiques. L'unité de la connaissance est aussi manifeste dans le Corpus hippocraticum que dans les œuvres de ces grands précurseurs. Nous avons perdu cette unité.

Les Hippocratiques ne sont donc pas seulement des empiriques, comme on l'a souvent prétendu: ce sont aussi des dogmatiques, auteurs d'une doctrine médicale positive. On peut en effet créer une doctrine scientifique sans tomber pour autant dans la spéculation et la systématisation philosophiques. Et l'on peut aussi être philosophe et théologien sans être victime de ces deux aberrations. L'historien de la médecine rendra hommage à Descartes s'il s'efforce de se faire une idée claire et distincte de tous ces termes avant d'aborder le problème délicat des relations entre les Présocratiques et les Hippocratiques.

**4.** William-H. Schopfer (Berne). – *John Woodward (1665–1728), précurseur des cultures en milieu liquide.*

J. Woodward est connu surtout par ses recherches relatives à la géologie.[1] Il est pourtant l'auteur d'un mémoire de physiologie végétale, insuffisamment connu et très injustement apprécié par J. Sachs dans son Histoire de la Botanique.[2]

Woodward étudie une plante de *Mentha* et constate qu'elle croît fort bien dans de l'eau. Il cultive ce végétal, ainsi que d'autres, dans des bocaux contenant de l'eau à laquelle il ajoute diverses «substances terreuses», du nitre, divers engrais; il ferme les récipients avec du parchemin. Il détermine:

1° le poids de la plante avant et après l'expérience,
2° l'augmentation de poids,

---

[1] Essay toward a natural history of the earth and terrestrial bodies... London 1695. Traduit par J.-J. Scheuchzer en 1704 (Specimen Geographiae physicae qua agitatur de Terra et corporibus terrestris).

[2] Some Thoughts and Experiments concerning Vegetation. Philos. Trans., 1699, *21*, 193–227.

3° la quantité d'eau utilisée au cours du développement,
4° le rapport entre l'augmentation de poids de la plante et la quantité d'eau utilisée, en d'autres termes la quantité d'eau utilisée pour la production d'un poids déterminé de végétal. Cette constante correspond assez bien à notre actuel «coefficient de transpiration» indiquant la quantité d'eau dont l'absorption correspond à la formation de 1 kg. de matière vivante sèche.

L'auteur met nettement l'évaporation de l'eau en évidence et montre que les «substances terreuses» ajoutées à l'eau disparaissent. Il affirme que la plante est plus ou moins nourrie et augmentée en proportion de la quantité de «matières terreuses» contenues dans l'eau; il indique que le végétal n'est pas formé grâce à l'eau qu'il absorbe mais à l'aide d'une certaine «matière terreuse» particulière. L'eau sert uniquement de véhicule aux «matières terreuses». L'eau n'est pas incorporée au végétal; elle n'est pas l'élément nutritif essentiel comme le croyaient van Helmont et Bacon.

On retrouve dans ce mémoire, paru 28 ans avant le «Statical Essay» de S. Hales, l'idée, rudimentaire à vrai dire, d'un bilan basé sur des mesures précises; la comparaison entre le gain de poids de la plante et la quantité d'eau qu'elle absorbe constitue le fait essentiel nouveau. L'auteur n'a pas pesé exactement les substances ajoutées à l'eau; l'affirmation que ces dernières prennent part à l'édification du végétal est d'une portée essentielle.

Compte étant tenu des imperfections expérimentales inhérentes à l'époque et aux connaissances chimiques d'alors, on peut sans contredit considérer J. Woodward comme un précurseur dans le domaine de la nutrition minérale des plantes et de leur culture en milieu liquide.

## 13. Sektion für Geographie und Kartographie

Sitzung des Verbandes Schweizerischer Geographischer Gesellschaften

**Samstag und Sonntag, den 26. und 27. August 1950**

*Präsident:* Prof. Dr. Otmar Widmer (St. Gallen)
*Sekretär:* Dr. Heinz Bächler (St. Gallen)

**1.** Henri Onde (Lausanne). – *Genres de vie et modes de vie. Essai de classification des genres de vie.*

La notion de genre de vie est jugée d'ordinaire mal déterminée et peu actuelle parce qu'elle s'applique à des sociétés marquées d'archaïsme. Les modes de vie, par contre, sont très en honneur dans les monographies de géographie régionale. L'étude des genres de vie doit pourtant occuper une place capitale dans l'enseignement de la géographie; elle oblige à préciser les frontières entre l'ethnographie, la sociologie, l'histoire, la géographie humaine, et elle fait appel à une masse d'observations extrêmement pittoresques qu'il faut critiquer et ordonner.

Un genre de vie est un ensemble de pratiques traditionnelles permettant à un groupe social d'assurer par lui-même et par l'exploitation directe du milieu vivant, son existence matérielle. Il est collectif, autonome et stable. Un mode de vie résulte d'une spécialisation d'un groupe ou d'individus et aboutit au métier, à la profession. Il ne se conçoit que dans une économie d'échange, il est donc frappé de dépendance, enfin il évolue rapidement.

Le classement des genres de vie est délicat. Sa base peut être une pratique fondamentale, la «Raubwirtschaft» (déprédation), par exemple, l'usage d'un instrument comme la houe (Hackbau), d'un moyen de transport comme le chameau ou d'une ressource agricole essentielle (civilisation du riz). Il semble que la mobilité, la stabilité du groupe social soient un meilleur principe de classement en raison de leurs répercussions sur l'habitat (camp volant, campement, village), sur l'outillage, la discipline, la mentalité du groupe humain considéré.

*Les genres de vie errants* comprennent ceux des ramasseurs et collecteurs, ceux des chasseurs et pêcheurs. *Les genres de vie nomades* caractérisés par la présence d'un bétail à lait et une organisation de camp se subdivisent en genres de vie nomades saisonniers à grand ou petit rayon de déplacement et en genres de vie nomades non saisonniers. *Les genres de vie semi-sédentaires* comportent une agriculture, générale-

ment itinérante, et la substitution du village au campement. Mais souvent l'habitat se dédouble et comprend un village instable et des cases d'hivernage plus instables encore. *Les genres de vie sédentaires* sont les plus variés. Il convient de distinguer entre les genres de vie stables avec habitat fixe autour de greniers et habitats saisonniers, parfois nomades, et les genres de vie proprement sédentaires.

Les genres de vie classiques perdent de leur extension géographique. Certains déclinent ou disparaissent. Mais un genre de vie nouveau se développe, *le genre de vie urbain*. Celui-ci n'est à vrai dire qu'un mode de vie en voie de généralisation. C'est en tout cas un genre de vie révolutionnaire, essentiellement dépendant, inconcevable sans échanges internes et externes, en perpétuelle évolution: il est ainsi une image fidèle du monde moderne.

**2.** Heinrich Gutersohn (Zürich). – *Die Grenze Indien-Pakistan in Punjab.*

Punjab erhielt besonders in der zweiten Hälfte des letzten Jahrhunderts Kanalbewässerungs-Systeme, die viel intensivere Bewirtschaftung und demzufolge auch dichtere Besiedlung ermöglichten. Vor der Teilung Indiens bekam eine Kommission den Auftrag, eine Grenze durch Punjab zu legen unter Sicherung der anstoßenden Mehrheitsgebiete von Mohammedanern und Nichtmohammedanern, dabei aber auch andere Faktoren in Rechnung zu stellen. Die festgelegte Grenze folgt dem Ujh-Fluß und dem Ravi, quert zwischen Lahore und Ferozepore das Zwischenstromland und folgt darauf dem Sutlej. Sie trennt wohl die Gebiete mit relativer Mehrheit der Mohammedaner und der Nichtmohammedaner; sie folgt auch den früheren Grenzen von Gemeinden und Distrikten. Dagegen durchschneidet sie ziemlich willkürlich bestehende Hauptstraßen, Eisenbahnstränge und namentlich Haupt-Verteilerkanäle der Bewässerungsanlagen, d. h. Belange, die, wie auch die Standorte von Industrien und großen Siedlungen, alle unter der Konzeption einer einzigen Großlandschaft entstanden waren.

Die Entwicklung sowohl von Wirtschaft, Siedlung und Verkehr als auch der weiteren kulturellen Belange hat dazu geführt, daß ursprünglich voneinander fast unabhängige Einzellandschaften heute stark miteinander verflochten sind. Gewisse administrative Einrichtungen, Teilsysteme von Verkehrsanlagen, Bewässerungskanäle, zentrale Dienste usw. dienen einer Gruppe von Einzellandschaften und fassen diese damit zu einer Landschaft zweiter Ordnung zusammen, und derartige nebeneinander bestehende Landschaften zweiter Ordnung können sich zu solchen dritter Ordnung ergänzen. So eng ist diese gegenseitige Verflechtung, daß es etwelche Mühe bereitet, überhaupt Landschaften verschiedener Ordnung auszuscheiden und damit einer grundsätzlichen Forderung geographischer Arbeit gerecht zu werden. Anstatt nun bei der Trennung auf die ganze Komplexität der Landschaften Rücksicht zu nehmen, beschränkte man sich als Wegleitung auf einen einzelnen Fak-

tor, nämlich auf die relative Stärke der Religionsgemeinschaften, und gab damit diesem Faktor entscheidendes Gewicht, dem gegenüber die andern Faktoren zurückzutreten hatten. Der Entscheid wurde damit simplifiziert und konnte denn auch niemanden befriedigen. Nur wenn man zunächst eine Ausscheidung in Landschaften verschiedener Ordnung vorgenommen, dabei einzelne für die Beziehungen dieser Landschaften maßgebende Faktoren herausgestellt und ihnen bestimmte Gewichte zugebilligt hätte, wäre eine fundierte Lösung erreicht worden.

**3.** Franz Flury (Niedermuhren-Heitenried, Fbg.) – *Neueste Postverkehrskarten.*

Es sind erschienen:

Carte des Lignes aéropostales: Feuille 1: Planisphère. 23e édition, 1950, 1:32 millions;

Feuille 2: Europe et Bassin méditerranéen, 23e édition, 1950, 1:5 millions; ferner Carte des communications postales internationales de surface (Transit terrestre et maritime), 1949, 1:32 millions.

Alle diese Karten sind 8farbig, Format gefalzt 15 × 22,5 cm, offen 91 × 127 cm. Sie wurden herausgegeben vom Bureau international de l'union postale universelle in Bern. Die kartographische Bearbeitung unter Mitwirkung des Bureaus der UPU und der Druck erfolgten durch die Firma Kümmerly & Frey AG. in Bern. Für die beiden Weltkarten (die erste und die dritte) wurde die van der Grintensche Projektion verwendet, die zweite Karte beruht auf Bonnescher Projektion. Zu den beiden Karten der Luftpostlinien gehört als Hilfsmittel der *Annexe aux Cartes des lignes aéropostales 1950*, zu der dritten Karte der postalischen Land- und Seeverbindungen der *Annexe à la Carte des communications postales internationales de surface (Transit terrestre et maritime), 1re édition, 1949.* Die Karten wurden in erster Linie mit Rücksicht auf die Bedürfnisse des internationalen Postverkehrs aufgebaut, für den dieselben ein unentbehrliches Hilfsmittel darstellen. Jedoch auch für Handel und Verkehr dürften die schönen Karten eine wertvolle Stütze bilden, sowie für verkehrsgeographische Studien. Zum Schluß sei noch Herrn Edouard Léchaire, Beamten der UPU in Bern, für die Unterstützung durch Mitteilung von Angaben und Material bestens gedankt.

**4.** Franz Flury (Niedermuhren, Fbg.). – *Über den mittleren Böschungswinkel.*

Die Abhandlung von *Sebastian Finsterwalder* von 1890 über den Gegenstand ist trotz ihres grundlegenden Charakters nur ungenügend beachtet worden. Es wurden sämtliche Rechnungen ausgeführt und der Gedankengang erläutert, um sie zugänglicher zu machen. Es ergab sich dabei, daß zwei unterdessen aufgetauchte Vorschläge, die Hypsographoide von *Romer-Uhorczak* (1930/31) und der Vorschlag zur Bestimmung der wahren Oberfläche von *Slaucitajs* (1936) durch die Ausführungen Finsterwalders bereits zum voraus als unbrauchbar erledigt

worden sind. Prinzipiell wichtig, aber nicht beachtet wurden von der morphometrischen Literatur die Ausführungen über Mittelbildung und das gewogene Mittel, der strenge Beweis für die Formel für die mittlere Böschung und die wichtige Frage der Unstetigkeiten bei der klinographischen Kurve. Vor allem wichtig ist der methodische Hinweis, den *Steiner* unterstützt hat, daß die Morphometrie, als mathematisches Gebiet der Geographie, einwandfreie mathematische Arbeit verlangt. Die Formel für die Berechnung der wahren Oberfläche erfordert weitere Untersuchungen über die wirklich begangenen Fehler, da die Fehlergrenze von 0,5 %, die von *Finsterwalder* gegeben wird, ohne Begründung mitgeteilt wird. Zum Schluß erfüllen wir noch die angenehme Pflicht, Herrn Prof. Dr. *Schürer*, Direktor des Astronomischen Instituts in Bern, für wertvolle Ratschläge zu danken.

**Literatur**

S. Finsterwalder: Über den mittleren Böschungswinkel und das wahre Areal einer topogr. Fläche, Sitzungsber. d. math.-phys. Classe d. Akademie d. Wiss. zu München, Bd. XX, Jahrg. 1890, München 1891.

Alfred Steiner: Morphometrische Studien unter bes. Berücksichtigung d. Aargaus, Diss. Phil. II, Zürich 1939.

Gustav Neuenschwander: Morphometrische Begriffe, Diss. phil. II, Zürich 1944.

E. Romer: Une nouvelle représentation graphique de l'hypsométrie (l'hypsographoïde, d'après Fr. Uhorczak), C. R. du Congrès international de géographie, Paris 1931, Tome premier, Actes du Congrès, Travaux de la Section I.

Leonids Slaucitajs: Begriff der Reliefentwicklung und Berechnung des wahren Areals einer topogr. Fläche, Petermanns Mitt., Bd. 82, 1936.

A. Penck: Morphologie der Erdoberfläche, Bd. I, Stuttgart 1894.

**5.** Otmar Widmer (St. Gallen). – *Kartogramme zur Charakterisierung der Wirtschaftsstruktur.*

Die graphische Darstellung muß die Zahlen der Tabelle übersichtlich und einprägsam zur Anschauung bringen. Die Kombination von Karte und Diagramm (*Kartogramm* bzw. Karte mit eingezeichneten Diagrammen) entspricht der geographischen Betrachtungsweise und ermöglicht die Lokalisierung der Erscheinungen, das Erkennen ihres komplexen Zusammenwirkens und das Aufdecken von Zusammenhängen. Absolute Zahlen werden am besten durch Punkt-, Stäbchen- oder (Rechteck-, Quadrat-, Kreis-)Flächendiagramme, relative Zahlen durch Unterteilung besonders von Kreisdiagrammen in Sektoren, chronologische Entwicklungen durch Treppen- oder Kurvendiagramme dargestellt. Wesentlich ist der Maßstab wegen des beschränkten Raumes zur Einzeichnung, ferner eine geeignete, konventionell zu regelnde Farbgebung. – Die *Wirtschaftsstruktur* von Staaten läßt sich charakterisieren durch 3 Grundtatsachen, dargestellt in Kartogrammen. Hiefür dienen 3 Weltkarten mit ergänzenden Europakarten, geeignet zu synoptischer Betrachtung, da Eintragung auf einer einzigen Karte untunlich. 1. *Bodennutzung.* Das Kartogramm zeigt auf Basis der Gliederung des Internationalen Landwirtschaftsinstituts in Rom die Landesflächen in nach den 6 Hauptgruppen unterteilten Rechteck-(Säulen-)Diagrammen, unter

Anlehnung an das Schema und die allerdings modifizierte Farbskala der Kommission für die Welt-Landnutzungsaufnahme (Prof. van Valkenburg); insbesondere hervorgehoben sind Getreide- und Rebland, möglichst unterschieden Wies- und Weideland. Beachtung erheischt bei Inwertsetzungsprojekten als unproduktiv, unkultiviert-produktiv und brachliegend bezeichnetes Land. 2. Bevölkerungsgliederung nach *Erwerbsklassen.* Die Zahl der Bevölkerung ist durch die Fläche eines äußeren, der Berufstätigen durch die eines inneren Kreises dargestellt, der in Sektoren unterteilt ist, welche die in der Landwirtschaft (grün), im Bergbau (schwarz), in der Industrie (rot), im Verkehr (grau), im Handel (blau) usw. Tätigen laut neuester UNO-Publikation angeben. Es erscheinen, kenntlich durch den betreffenden prozentualen Anteil, konzentriert in Westeuropa die Industriestaaten (bis zu 47,8 % Industriearbeiter in Belgien), in Osteuropa die Agrarstaaten (bis zu 94,3 % Landarbeiter in Weißrußland, nach älterer Zählung). 3. *Außenhandel.* Zur Kennzeichnung der Staaten mit aktiver und passiver Handelsbilanz sind Export (rot) und Import (blau), wertmäßig in einheitlicher Währung gerechnet, durch 2 sich ergänzende Halbkreise mit entsprechenden Radien dargestellt. Unterteilung in Sektoren gibt die Handelspartner oder die Waren an. – Die Synthese der 3 Kartogramme gibt das Wirtschaftspotential und die charakteristischen Beziehungen zwischen Art der Bodennutzung, des Erwerbs und des Außenhandels. – Veränderungen, Zu- und Abnahme, können durch nebeneinander gesetzte Diagramme oder auf getrennten Karten dargestellt werden. – Solche farbige Kartogramme sollten stets die statistischen Publikationen ergänzen.

**6.** Otmar Widmer (St. Gallen). – *Zur Umschriftung geographischer Namen.*

Diese ist ein wichtiges, am Internationalen Toponymie-Kongreß in Brüssel 1949 behandeltes, u. a. in Washington und der deutschen Ostzone eingehend studiertes, wie folgt lösbares Problem. I. Für Gebiete mit Lateinschrift wird die Originalschreibweise unter markanter Wiedergabe aller Besonderheiten übernommen. II. Für Gebiete ohne Schrift (Naturvölker), mit nichtalphabetischer Schrift (chines.) oder untauglichem Alphabet (mongol., tibet.) wird phonetische *Transkription* = lautliche Umschreibung (Substitution der Phoneme) angewendet. III. Für Gebiete mit brauchbarem Alphabet (slaw.-zyrill., griech., arab.) oder Silbenschrift (japan.) wird orthographische *Transliteration* = *Umschriftung,* Buchstabenübertragung (Substitution der Grapheme) angewendet, mit Umschriftungsschema. Ein einfaches, allgemein anerkanntes existiert nicht, denn ein einheitliches muß sehr kompliziert sein, einfache sind nur möglich für beschränkte Sprachgebiete. – Man kann folgende, nicht restlos erfüllbare Prinzipien aufstellen: 1. Eindeutige Zuordnung von Laut (Originalbuchstabe) und (Latein-)Buchstabe. 2. Reversibilität (Rückübertragbarkeit). 3. Minimum an Sonderzeichen. 4. Silbenlängebezeichnung (Strich über dem Vokal). 5. Betonungsbezeichnung, wo-

fern nicht laut Ausspracheregel konstante Betonung (nicht Akzent, sondern Strich, evtl. Punkt darunter). 6. Beachtung orthographischer Einzelheiten (russ. verschiedene e, Mouillierung; arab. ᶜain, ghain, emphatische Laute mit Punkt darunter), doch Weglassung automatisch geregelter (griech. Spiritus lenis; arab. Anlaut-Hamsa). 7. Vermeidung der Verbindung von Transkription und Transliteration, außer zur Auflösung geregelter Besonderheiten (russ. E: Je; Orël: Orjol; arab. Vokalisierung a : e, u : o = Muḥammad: Moḥammed; Artikel-Assimilation = al-, el-, er-Rīf). 8. Wortbilderhaltung. 9. Doppelzeichen-Vermeidung für Einzellaute (zu kompliziert zu erfüllen). 10. Einheitlichkeit für Großgebiete nach der Hauptsprache (russ. für Sowĕt-Union, Mandarin für China). – Neben wissenschaftlich-phonetischen Systemen werden nationale, französische, englische, deutsche u. a., Lautschriften verwendet. Letztere leiden unter dem Mangel eines Zeichens für franz. j (sh, zh, ž) und Unkonsequenz in Unterscheidung von stimmhaftem, weichem s (franz. z) und stimmlosem, scharfen ß, Ss (franz. s): nicht Níschnij, sondern Nishnij, Nizhnij, Nižnij; nicht Kasán, Smolénsk, sondern Kasan', Ssmoljenßk oder Kazaň, Smolènsk. Einzig befriedigend für zyrillisch ist die tschechisch-kroatische wissenschaftliche Transliteration (z, s, ž, š, č, šč, ě, ', ǐ), wenn noch c ersetzt wird, z. B. durch ts oder ç, nicht Carícyn, sondern Tsaritsyn oder Çariçyn (vgl. Asien-Karte von Kümmerly & Frey). – Für das orientalische Sprachgebiet empfiehlt sich teilweise Anlehnung an englische Umschrift.

Es haben noch gesprochen: Hans Carol, Zürich; Ernst Erzinger, Basel; Jost Hösli, Männedorf; Karl Schneider, Bern; Rudolf Tank, Bern.

## 14. Sektion für Vererbungsforschung

Sitzung der Schweizerischen Gesellschaft für Vererbungsforschung

**Sonntag, den 26. August 1950**

*Präsident:* Prof. Dr. OTTO SCHLAGINHAUFEN (Zürich)

**1.** H. NACHTSHEIM (Berlin). – *Genetik der Blutkrankheiten bei Säugetier und Mensch.*

Ein Auszug erscheint in : Zehnter Jahresbericht der Schweizerischen Gesellschaft für Vererbungsforschung, Archiv der Julius-Klaus-Stiftung, Bd. 25, 1950, Heft 3/4.

# Alphabetisches Namenregister der Autoren
# Liste alphabétique des auteurs
# Indice alfabetico degli autori


| | Seite |
|---|---|
| Agthe, C. | 175 |
| Altwegg, M. | 95 |
| Bach, Roman | 78 |
| Baer, Jean-G. | 397 |
| Baeschlin, F. | 429 |
| Bareiß, Erwin | 124 |
| Beaumont, J. de | 77 |
| Biäsch, H. | 99 |
| Bider, Max | 151 |
| Böni, Albert | 187 |
| Brönnimann, Paul | 166, 167 |
| Büchi, Ernst | 181 |
| Burri, Conrad | 165 |
| Buser, Hans W. | 160 |
| Buser, Wilhelm | 159 |
| Cadisch, Joos | 163, 392 |
| Cannegieter, H. G. | 154 |
| Cerny, Alexander | 188 |
| Challand, Albert | 123 |
| Clusius, K. | 33 |
| Corti, Ulrich A. | 189 |
| Cottet, P. | 196 |
| Courvoisier, Peter | 152 |
| Deicha, G. | 165 |
| Ercoli, N. | 162 |
| Erhard, Hubert | 201 |
| Fanconi, G. | 383 |
| Fehr, Henri | 420 |
| Feitknecht, Walter | 160 |
| Fierz, M. | 95 |
| Flury, Franz | 207 |
| Frey, Karl | 149 |
| Frey-Wyßling, Albert | 175 |
| Fritz, Ernest | 167 |
| Fueter, Eduard | 201 |
| Gagnebin, S. | 417 |
| Gaßmann, Fritz | 135, 136, 141 |
| Gehret, J. P. | 162 |
| Gensler, Gian Alfred | 147 |
| Gisin, Hermann | 92 |
| Gonseth, F. | 104 |
| Guénin, Henri-Alcide | 179 |
| Gutersohn, Heinrich | 206 |
| Hadorn, Ernst | 66 |
| Hadwiger, Hugo | 130 |
| Haenny, Charles | 162 |
| Haefeli, Robert | 155, 156 |
| Häfelin, Johann | 145, 148 |
| Hagen, Toni | 164 |
| Hanhart, Ernst | 186 |
| Heise, M. | 161 |
| Heß, Rudolf | 199 |
| Jung, Albert | 187 |
| Katzenstein-Sutro, Erich | 188 |
| Kaufmann, Hélène | 184 |
| Koby, F.-Edouard | 167 |
| Koechlin, Eduard | 170 |
| Koestler, Senta | 177 |
| Kuhn, Emil | 170 |
| Kuhn Walter | 145, 148 |

| | Seite |
|---|---|
| Ledermann, Hugo | 412 |
| Lehmann, Fritz Erich | 179 |
| Leu, Kurt | 162 |
| Lichtenthaeler, Charles | 202 |
| Lobsiger-Dellenbach, Marg. | 182, 183 |
| Locher-Ernst, Louis | 129 |
| Lugeon, Jean | 134 |
| Mercier, André | 132 |
| Michot, Paul | 165 |
| Moos, Armin von | 165 |
| Mörikofer, Walter | 11, 154 |
| Mornod, Léon | 163, 164 |
| Nachtsheim, H. | 211 |
| Nadig, Adolf | 179 |
| Niggli, Ernst | 165 |
| Nowacki, Werner | 165 |
| Onde, Henri | 53, 205 |
| Ott, Erwin | 197 |
| Peyer, Bernhard | 170 |
| Pfändler, Udo | 196 |
| Piccard, Sophie | 126, 127, 128 |
| Pittard, Eugène | 181 |
| Quervain, M. de | 114 |
| Remy, Maurice | 199 |
| Renz, Carl | 171 |
| Renz, Otto | 171 |
| Saxer, F. | 387 |
| Schaub, Hans | 168, 169 |
| Schlaginhaufen, Otto | 181 |
| Schopfer, William-H. | 203 |
| Schüepp, Otto | 173 |
| Schweighauser, Jakob | 168, 171 |
| Speiser, Andreas | 399 |
| Staub, Rudolf | 163 |
| Storck, Hans | 195 |
| Süßtrunk, August | 157 |
| Thams, J. C. | 151 |
| Tschappat, Ch. | 162 |
| Uttinger, Heinrich | 134 |
| Uytenbogaardt, W. | 165 |
| Viret, Jean | 167 |
| Vischer, Wilhelm | 86, 176, 405 |
| Weber, Max | 189, 141 |
| Weil, R. | 165 |
| Widmer, Otmar | 208, 209 |
| Wieland, Karl | 161 |
| Wierzejewski, H. | 153 |
| Wirth, W. | 410 |
| Wuest, H. M. | 162 |
| Wuhrmann, Karl | 177 |
| Würgler, Werner | 174 |
| Wyß, Oscar-A.-M. | 198 |
| Young, Rosalinde | 131 |
| Zingg, Theodor | 144 |